ВИКТОР ЯКОВЛЕВИЧ ХАСИЛЕВ

ВОСПОМИНАНИЯ О ЖИЗНИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ

ЛИДЕРЫ НАУЧНЫХ ШКОЛ СЭИ-ИСЭМ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИКИ им. Л.А. МЕЛЕНТЬЕВА

ВИКТОР ЯКОВЛЕВИЧ ХАСИЛЕВ

Воспоминания о жизни и деятельности
Научное наследие

Редактор-составитель
канд. техн. наук *А.А. Кошелев*

НОВОСИБИРСК
АКАДЕМИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО “ГЕО”
2012

УДК
ББК
В435

Виктор Яковлевич Хасилев: Воспоминания о жизни и деятельности. Научное наследие. – Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т систем энергетики им. Л.А. Мелентьева. – Новосибирск : Академическое изд-во "Гео", 2012. – 000 с., [20] с. ил. – ISBN 978-5-904682-95-8 (в пер.).

Книга посвящена выдающемуся ученому и педагогу, заложившему основы междисциплинарной теории гидравлических цепей (ТГЦ), основателю научной школы по трубопроводным системам – доктору технических наук, профессору Виктору Яковлевичу Хасилеву (1912–1980) и приурочена к 100-летию со дня его рождения.

В книгу вошли воспоминания родных В.Я. Хасилева, его учеников и сотрудников Сибирского энергетического института СО АН СССР (ныне – Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН), а также сведения о тех, с кем он сотрудничал как инженер, ученый и педагог, занимаясь проблемами теплофикации и трубопроводного транспорта в различных организациях. Представлены избранные труды, которые характеризуют широту его научных интересов, отражают становление и развитие основ ТГЦ, оставаясь актуальными в настоящее время.

Книга, снабженная большим количеством иллюстраций, представляет интерес не только для тех, кто контактировал с В.Я. Хасилевым, работает в области трубопроводных систем, но и для молодого поколения инженеров, проектировщиков и исследователей. На его примере они могут получить представление об ученых, которые в конце 1950-х–начале 1960-х годов заложили основы новых научных направлений и научных школ и обеспечили их развитие в сибирских академических институтах и вузах.

Victor Yakovlevich Khasilev: Memoirs of Life and Work. Scientific Legacy. – Novosibirsk : Academic Publishing House "Geo", 2012. – 000 p. + ill.

The book is written to mark the 100th anniversary of the birth of Professor Victor Ya. Khasilev (1912–1980), an outstanding scientist and teacher, who laid the foundations of the inter-disciplinary theory of hydraulic circuits (THC), and created the scientific school of pipeline systems.

This book contains the memoirs by V.Ya. Khasilev's relatives, students and colleagues from the Siberian Energy Institute, Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences (present Melentiev Energy Systems Institute, SB RAS), and the information about people with whom he collaborated as engineer, scientist and teacher. The selected papers are presented to show a wide range of his research interests that reflect the formation and development of the THC principles which are still of high priority.

With its numerous illustrations, this book will be of interest not only to those who communicated with V.Ya. Khasilev and works in the field of pipeline systems but also to a young generation of engineers, designers and researchers. Learning from his example they will have an idea of scientists who established new research directions and founded scientific schools in Siberian academic institutes and higher educational institutions in the late 1950s–early 1960s.

Рецензенты:
д-р техн. наук, профессор *А.В. Петров*,
д-р техн. наук *С.М. Сендеров*,
д-р техн. наук, профессор *А.М. Клер*

© ИСЭМ СО РАН, 2012
© Оформление. Академическое издательство "Гео", 2012

ISBN 978-5-904682-95-8

Память о его благородном облике навсегда останется живым источником вдохновения и силы для тех, кто был настолько счастлив, что знал его лично.

Нильс Бор
(об Альберте Эйнштейне)

История науки не может ограничиться развитием идей – в равной мере она должна касаться живых людей, с их особенностями, талантами, зависимостью от социальных условий, страны и эпохи.

С.И. Вавилов

ОТ СОСТАВИТЕЛЯ

Книга подготовлена к 100-летию со дня рождения доктора технических наук, профессора Виктора Яковлевича Хасилева (1908–1980 гг.), организатора лаборатории теплоснабжения Сибирского энергетического института СО АН СССР – СЭИ (с 1997 г. – Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН – ИСЭМ), основателя междисциплинарной теории гидравлических цепей и научной школы по трубопроводным системам.

Книга состоит из двух основных разделов.

В **первый раздел** включены воспоминания близких и тех, кому довелось непосредственно работать и лично общаться с В.Я. Хасилевым в различной обстановке. Рассказано об этапах его жизненного и творческого пути как ученого, педагога, руководителя коллектива сотрудников и их наставника, о создании теории гидравлических цепей (ТГЦ), дано представление о нем как весьма интересном, многостороннем и глубоко порядочном человеке.

Явный интерес вызывают мало кому известные изображения зданий (с соответствующими описаниями), в которых учился, занимался исследовательской и педагогической деятельностью В.Я. Хасилев.

Иллюстрированное описание объектов, с которыми связан жизненный путь В.Я. Хасилева вне института и вне Иркутска, дополнено творческими портретами ряда видных ученых, его коллег и сподвижников, внесших заметный вклад в развитие отечественной теплофикации и теплоснабжения.

Обе эти линии – объектная и персональная – потребовали весьма кропотливой работы, так как иногда речь шла о “делах давно минувших дней” и людях, которые ушли из жизни. Соответственно, сведения даны зачастую менее подробные, чем хотелось, и не исключены неточности. Несмотря на белые пятна и изъяны, эти иллюстрации с текстами, дополняющие представление о жизненном и творческом пути самого Виктора Яковлевича, позволяют хотя бы в какой-то мере представить путь развития и достижения отечественной теплофикации и централизованного теплоснабжения как основной сферы научно-прикладных разработок В.Я. Хасилева и его школы. Интересной представляется информация о вузах, где готовят инженеров-теплоснабженцев, среди выпускников которых немало сотрудников ИСЭМ. Поиск этой текстовой и иллюстративной информации потребовал больших усилий от составителей книги и тех, кто им помогал.

Оживляет текст подборка материалов из стенгазеты СЭИ “Энергия–Сибири”, касающихся В.Я. Хасилева, в том числе юмористического характера.

Ранее В.Я. Хасилеву были посвящены разделы в трех сборниках:

1. Кошелев А.А. Траектории СЭИ. Очерки и размышления об истории Сибирского энергетического института. В 2 т. – Иркутск: ИСЭМ, 2001. – Т. 1. 669 с. (С. 209–239).

2. Анатолий Петрович Меренков: Научное наследие. Воспоминания близких. Документы. – Иркутск: ИСЭМ, 2006. – 654 с. (С. 430–432).

3. Вехи полувекового пути. Кн. 2. Воспоминания и размышления. – Иркутск: ИСЭМ, 2010. – 468 с. (С. 433–435).

Использован опыт и развиты новации, реализованные при подготовке перечисленных книг, а также при выпуске книги о Л.А. Мелентьеве в серии "Наука Сибири в лицах".

Так же, как в тех книгах, авторские тексты подвергались лишь минимальному смысловому редактированию с сохранением авторского стиля, а иные версии и уточнения при необходимости давались в подстрочных примечаниях. Сохранились и повторы, если без них нарушалась целостность и логика отдельных текстов.

Тексты мемуаров отличаются друг от друга и объемом, и структурой, и стилем изложения. Это в принципе не только естественно, но и хорошо, поскольку формируется разностороннее представление о том, каким был и что сделал В.Я. Хасилев.

Из тех, кто работал в лаборатории Хасилева при нем и контактировал с ним непосредственно, на момент написания книги в ИСЭМ остались лишь О.А. Балышев, С.Ю. Баринова, Б.М. Каганович, Т.Б. Ощепкова, Л.Е. Сидлер и составитель – отсюда трудности в наполнении мемуарной части книги.

Иллюстративный материал о жизнедеятельности Виктора Яковлевича оказался явно недостаточным, несмотря на поиски, по объективным историко-географическим причинам: Хасилев жил сначала в Одессе, потом в Москве, в Иркутске работал недолго – с 1961 по 1968 г., а после его смерти жена и дочь уехали в США – соответственно, многие материалы были утеряны. Иллюстративный вакуум в какой-то мере удалось заполнить представлением памятных объектов (основную работу выполнил И.А. Шер) и портретов людей, с которыми был связан жизненный и научный путь Виктора Яковлевича.

Большая роль в подготовке книги принадлежит К.С. Светлову, первому сотруднику лаборатории теплоснабжения СЭИ, перешедшему на работу в Мосэнерго, – это консультации, поиски текстовых и иллюстративных (в том числе эксклюзивных) материалов с использованием местных – московских – возможностей, идеи и предложения по содержанию книги, уточнение научных и биографических фактов, советы и помощь в установлении связей.

Среди тех, кто помог созданию этой книги, следует отметить В.М. Ройтмана, профессора кафедры технического регулирования факультета теплогазоснабжения и вентиляции Московского государственного строительного университета.

Второй раздел – это подборка публикаций В.Я. Хасилева, персональных и в соавторстве, где изложены постановки концептуальных и методических положений ТГЦ. Среди них – ранние публикации, ставшие библиографической редкостью.

Полностью включен текст автореферата докторской диссертации, который может служить учебно-методическим пособием в данной области.

Приведен список научных трудов В.Я. Хасилева, в том числе написанных с соавторами и вышедших уже после его смерти. Здесь особо важно отметить, что составитель второго раздела Н.Н. Новицкий весьма квалифицированно выполнил серьезный аналитический обзор (с комментариями) этих работ. Это, во-первых, позволяет читателю понять логику и динамику постановки В.Я. Хасилевым методических (теоретических) проблем и прикладных (объектных) задач, требовавших решения по мере развития и усложнения систем трубопроводного транспорта; во-вторых, облегчает использование творческого наследия В.Я. Хасилева и наработок его школы для решения новых задач.

В книгу включены копии документов и факсимильные материалы.

Текст иллюстрирован множеством фотографий, в том числе из шеститомного фотоальбома составителя “Жизнь СЭИ. 1961–1988”, электронного институтского фотоархива, который собрал и ведет председатель клуба “Фотосфера” И.А. Шер (он выполнил основной поиск, подбор и компьютерное редактирование иллюстраций). Использованы материалы из Интернета, различных книг, а также фотографии, предоставленные авторами воспоминаний.

Содержательное, научно-техническое и в какой-то мере литературное редактирование выполнено составителем (ему принадлежат и подстрочные примечания к текстам первого раздела) с участием И.А. Шера.

Сентябрь 2012 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Виктор Яковлевич Хасилев – талантливый ученый, выдающийся инженер, человек широкого мировоззрения и большой души. По формальным канонам он – доктор технических наук, профессор, создатель и руководитель научного направления “теория гидравлических цепей”, автор трех изобретений, более 100 научных работ в области общей энергетики, теплоснабжения, теплофикации, гидравлических систем, математического моделирования. Награжден пятью медалями.

В.Я. Хасилев обладал удивительной широтой мышления, уникальными инженерными способностями, глубоким знанием множества научных дисциплин и предметной области в сфере трубопроводных систем (ТПС) различного назначения и общеэнергетических проблем, даром научного предвидения, аналитическим и творческим умом. Он своевременно почувствовал потребность, а самое главное – увидел необходимость и сформулировал такое уникальное научное направление, как теория гидравлических цепей. Он не только сформулировал эту междисциплинарную, межотраслевую, межаспектную научную дисциплину, но и заложил фундаментальные основы теории как системы взглядов и закономерностей описания гидравлических систем различного назначения.

Создание теории гидравлических цепей как единой научно-технической дисциплины, представляющей самостоятельную область научных исследований, является главным научным достижением В.Я. Хасилева. Основы этой теории были сформулированы им в период работы в Сибирском энергетическом институте (СЭИ) СО АН СССР (в настоящее время Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева (ИСЭМ) СО РАН), куда он пришел, уже имея богатый творческий и практический опыт работы в московских организациях, таких как Теплосетьстрой, Нефтепроект, Коммунэнергопроект, Энергетический институт (ЭНИН), в ряде вузов Москвы, а также в качестве эксперта Наркомнефти, Госпланов СССР и РСФСР. По предложению Л.А. Мелентьева, директора СЭИ, В.Я. Хасилев возглавил в институте лабораторию теплоснабжения (с 1965 г. – лаборатория моделирования аэрогидравлических и трубопроводных систем), а после возвращения в Москву до конца жизни оставался ее научным руководителем. Работая в СЭИ, он подготовил и защитил докторскую диссертацию, в которой были заложены основы ТГЦ.

Творческая деятельность В.Я. Хасилева до СЭИ была связана с теплоснабжением в соответствии с его вузовской специальностью. Общаясь и сотрудничая с большими учеными, среди которых следует выделить В.И. Вейца, Б.Л. Шифринсона, он уже в те годы обратил внимание на ряд новых направлений, которые продолжают оставаться актуальными до настоящего времени. При разработке первой схемы теплоснабжения Москвы встал вопрос о совместной работе теплоисточников на общие тепловые сети. Это очень сложная проблема, методически трудно разрешимая в условиях ручного счета.

В.Я. Хасилев обосновал эффективность, дал графическую интерпретацию такой работы теплоснабжающей системы, разработал технологические схемы для ее реализации, предложил методы расчета. Многие его выводы и рекомендации не потеряли своей ценности и актуальности в наши дни.

Понимая важность задач регулирования отпуска и потребления тепловой энергии в теплоснабжающих системах (ТСС), которые постепенно становились все более масштабными и сложными, В.Я. Хасилев фактически впервые сформулировал проблему автоматизированного управления технологическими процессами в теплоснабжении, которая только в настоящее время начинает приобретать практическую значимость. Он не только поставил задачи регулирования, но и дал их теоретическое обоснование, предложил методы решения и практические способы реализации.

В.Я. Хасилевым совместно с Б.Л. Шифринсоном были предложены получившие дальнейшее развитие в его персональных работах методические подходы к решению задачи о наивыгоднейшей конфигурации тепловой сети. Сложность этих задач подтверждает тот факт, что до настоящего времени они решаются в основном путем сравнения двух-трех подготавливаемых вариантов, что не обеспечивает оптимальности их решения. Практическая и экономическая значимость этих задач связана с тем, что они в большей мере определяют технические параметры (диаметры теплопроводов, наличие насосных станций и т. п.), режимные характеристики и, конечно же, капитальные затраты в систему и ежегодные издержки на их эксплуатацию. Разработка и развитие этих подходов направлены на организацию обоснованного автоматизированного процесса проектирования трубопроводных систем любой сложности и масштабов.

Пионерными являются работы В.Я. Хасилева в области оптимизации параметров тепловых сетей, также одной из основных задач оптимального проектирования ТСС. Они отличаются системностью, охватывают широкий спектр знаний предметной области, смежных наук (технических, физических, экономических, математических и др.). Синтез этих наук и методов оптимизации и оптимального управления позволил успешно формализовать постановку данной задачи, исследовать ее экономико-математические и физико-технические особенности, получить оригинальное ее решение и разработать универсальный методический подход, получивший практическое применение.

Результаты этих исследований, богатый творческий потенциал В.Я. Хасилева послужили хорошим базисом для разработки основ теории гидравлических цепей. Созданию ТГЦ также способствовало множество внешних условий, сложившихся к тому моменту. К их числу могут быть отнесены следующие вызовы времени, проявившиеся наиболее ярко в тот период.

- Рост масштабов, сложности систем, их значительная территориальная распределенность.
- Сохранение ручных методов проектирования, предназначенных для расчета небольших по размерам и простых по структуре и построению систем.

• Разобщенность существующих методов по отдельным задачам и различным системам.

• Появление новых задач при проектировании и функционировании ТПС, связанных, например, с расчетом кольцевых схем, переменных гидравлических режимов, необходимостью учета насосных станций, регуляторов и т. п.

• Появление электронно-вычислительных машин, предоставляющих широкие возможности для моделирования, расчета, оптимизации и требующих разработки новых подходов и методов для расчета ТПС.

Новые условия привели к тому, что трубопроводные системы (прежде всего теплоснабжения) достигли таких масштабов и такого технического уровня (появление кольцевых схем, насосных станций, регуляторов различного назначения и т. д.), что их расчет с помощью методов ручного счета стал практически невозможным. Это во многом затормозило инновационное развитие систем, их совершенствование и технологическое преобразование.

Все эти факторы привели В.Я. Хасилева к идее создания комплексного научного направления, охватывающего широкий спектр вопросов математического моделирования, расчета и оптимизации трубопроводных систем различного типа и назначения, получившего обобщение в виде теории гидравлических цепей.

Эта теория возникла из потребностей практики и связана с решением прикладных задач, хотя является результатом фундаментальных исследований и обобщением закономерностей развития и функционирования ТПС различного назначения. ТГЦ существует и развивается уже на протяжении пятидесяти лет, она получила признание не только в России, но и за рубежом, показала свою жизненность и практическую значимость. Методы теории широко используются в практике проектирования и эксплуатации систем теплоснабжения, водоснабжения, нефтеснабжения, газоснабжения, вентиляции, кондиционирования воздуха и других технических систем. Они реализуются в виде многих программных комплексов, разрабатываемых в ИСЭМ, других организациях, и применяются в практической деятельности при принятии решения.

В.Я. Хасилев умел и любил работать, его отличали глубокие знания многих научных дисциплин и оригинальность мышления и умозаключений. Он умел ставить и решать задачи, чувствовал их важность и полезность для практики и никогда не ошибался в актуальности формулируемых им проблем.

Обладая большим практическим опытом и огромным потенциалом научных знаний, В.Я. Хасилев щедро делился ими с коллегами, он собирал вокруг себя преданных последователей его взглядов, которые впоследствии сами становились большими учеными. Наряду с созданием ТГЦ им были заложены основы научной школы, которая продолжает жить и развиваться, что является важным результатом его творческой деятельности. В книге представлены воспоминания основных участников этой школы. Она постоянно пополняется перспективными молодыми исследователями, которые успешно продолжают созданное им научное направление, а это сви-

детельство жизненности и гениальности творческого наследия В.Я. Хасилева.

Виктор Яковлевич никогда не шел на сделку со своей совестью, он всегда оставался честным и чистым не только в научных и творческих начинаниях, но и в человеческих отношениях, несмотря на то, что жизнь неоднократно подкидывала ему разного рода искушения. Это во многом сказалось на том, что он не имел возможности в полной мере посвятить себя любимой научной деятельности и достигнуть еще больших творческих результатов, а его заслуги не были оценены должным образом. Хочется надеяться на то, что настоящая книга хоть в какой-то степени восполнит эту несправедливость и станет благодарностью ученому за его вклад в отечественную науку и общечеловеческие ценности.

Книга выходит в год столетия со дня рождения В.Я. Хасилева и включает две части. В первую вошли воспоминания о нем не только как об ученом, но и как о неординарном, широкообразованном, интеллигентном человеке. Это воспоминания тех, кто хранит в своей памяти его дух, энергию, мудрость, внимание и заботу. Авторы раскрыли перед читателями многогранную личность В.Я. Хасилева.

Во вторую часть книги вошли избранные труды В.Я. Хасилева, написанные им лично и в соавторстве. Они отражают широту мировоззрения Виктора Яковлевича на рассматриваемые проблемы и представляют его как ученого, внесшего неоценимый вклад в отечественную науку. Их рекомендовали в печать такие крупные специалисты, как Г.М. Кржижановский, А.В. Винтер, В.И. Вейц. Эти статьи продолжают сохранять свою актуальность и практическую значимость. Они позволяют извлекать ценное, развивать и создавать новое.

Издание книги стало возможным благодаря инициативе и кропотливой работе над ее содержанием А.А. Кошелева, И.А. Шера, Н.Н. Новицкого, К.С. Светлова, Л.Е. Сидлер, Э.В. Куртовой, Н.С. Карымовой, О.М. Ковецкой. Огромная всем им благодарность за этот неоценимый труд.

Настоящая книга воссоздает небольшую частичку памяти о В.Я. Хасилеве, многое не удалось восстановить. Она позволяет познакомиться с его творческим наследием и составить представление об этой незаурядной личности.

Заместитель директора по науке,
заведующий отделом трубопроводных систем
Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,
д-р техн. наук, профессор *В.А. Стенников*

В.Я. Хасилев в воспоминаниях

Хасилев Виктор Яковлевич

Фамилия, имя, отчество

Родился в Одессе, 13 декабря 1912 года.
Отец рабочий – печатник. До и после революции он работал наборщиком в одесских типографиях, был членом профсоюза печатников с 1905 г. и гл. КПСС с 1924 года. После войны работал в типографии в Киеве и в возрасте 80 лет перешел на пенсию. Утер в Киеве в 1962 г.
Мать жила со мной в Москве и умерла в 1964 году.
Жена – канд. мед. наук, врач рентгенолог свыше 20 лет работает в НИИ им. Склифосовского.
Дочь Вера в 1978 окончила 1-ый МОЛМИ им. Сеченова и направлена в ординатуру по скорой помощи г. Москвы. Замужем, имеет ребенка 1 год.
К суду и следствию не привлекался.
Братьев и сестер не имею. Родственников за границей не имею.
На военной службе не был, так как был снят с учета по болезни (ст. 30, гр. I).
Годы учебы – в Одессе (школа, электропрофшкола, ВУЗ). Окончил энергофак Од. Инд. института по специальности "ТЭУ и тепловые сети" в 1933...

ВОТ ТАКИМ ОН БЫЛ

А.Ф. Хасилева

Виктор Яковлевич Хасилев родился в г. Одессе 13 декабря 1912 г. Отец его работал в типографии метранпажем, мать занималась мелким шитьем дома.

Одесса была городом очень музыкальным. Вот и Витя тоже приобщился к музыке – учился играть на виолончели. Когда ему было двенадцать лет, родители разошлись, и он остался жить с матерью. Стало еще труднее. Отец не помогал, тем не менее когда он постарел, то сын, уже начавший работать, ежемесячно посылал ему деньги.

Закончив школу, Виктор поступил в Одесский политехнический институт, а по окончании его перебрался в Москву, в оставленную ему теткой небольшую комнату в Калашном переулке на Арбате. Через некоторое время он забрал в Москву мать, которую очень любил и уважал. Это была умная, тактичная женщина, в чем я смогла убедиться позже.

Я не знаю названия учреждения*, в котором Виктор Яковлевич вначале работал в Москве, но работа была связана с генеральной реконструкцией столицы. По-моему, это была большая проектная мастерская, работавшая над так и не построенным Дворцом Советов, который планировалось увенчать гигантской статуей Ленина.

ХАСИЛЕВА Алла Филипповна. Окончила Одесский медицинский институт в 1948 г. Работала в Москве, в НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского. Врач-рентгенолог, кандидат медицинских наук с 1955 г. Выйдя на пенсию, в 1991 г. эмигрировала в США с семьей дочери. Живет в пригороде Детройта, штат Мичиган.

* Подробные сведения о трудовом пути В.Я. Хасилева есть в конце книги, в перечне основных дат его жизни и деятельности из личного дела; ряд биографических фактов приведен в мемуарах С.В. Сумарокова, а здесь сохранена авторская версия.

В первое время живя в Москве, Виктор одевался, как в Одессе, т. е. зимой носил легкую одежду. Результат – тяжелое заболевание с осложнением на сердце. Виолончель пришлось оставить.

Вскоре он перешел на работу в ЭНИН – Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского – старшим научным сотрудником в отдел, которым руководил профессор В.И. Вейц*.

Работал успешно, вскоре защитил кандидатскую диссертацию. К нему очень хорошо относились сотрудники и руководители. Академик Г.М. Кржижановский приглашал его к себе домой, много рассказывал о своих дружеских отношениях с В.И. Лениным и Н.К. Крупской, когда они были в сибирской ссылке, и о многом другом.

Виктор Яковлевич продолжал много работать. Многое знал и много интересного рассказывал. Выходец из простой семьи, Виктор Яковлевич стремительно впитывал культуру Москвы, используя столичные возможности, глубоко познал и полюбил музыку, театр, мировую литературу. Он был настоящий *self-made man*.

В конце 40-х–начале 50-х годов XX в. обстановка в стране изменилась. Во многих учреждениях, в том числе в ЭНИНе, начали увольнять евреев. В отделе, где работал Виктор Яковлевич, одновременно уволили трех научных сотрудников: его, М.Л. Закса и А.Н. Златопольского. (После смерти Сталина уволенных стали частично восстанавливать на работу.) Но Г.М. Кржижановский не мог допустить, что его сотрудников увольня-

В гостях у Светловых, Москва, 2003 г.
Слева направо: К.С. Светлов, А.Ф. Хасилева,
Н.Н. Меренкова, Л.Ф. Светлова

* О нем и о ряде других ученых, с кем В.Я. Хасилев тесно контактировал, развернутые сведения даны отдельно.

ли, как евреев*. Он отправил письмо в суд, где писал, что решение вызвано реорганизацией отдела. Это была филькина грамота, истинную причину понимали все.

В течение нескольких месяцев Виктор Яковлевич оставался без работы. А 30 августа 1953 г. ему позвонил Е.О. Штейнгауз и предложил 1 сентября выйти на работу в Институт народного хозяйства им. Г.В. Плеханова на кафедру энергетики. Виктор Яковлевич это предложение принял и работал доцентом в МИНХ до перехода в Сибирский энергетический институт. Возглавив лабораторию теплоснабжения в СЭИ, по договоренности с академиком Л.А. Мелентьевым он делил время между Иркутском и Москвой.

Виктор Яковлевич очень полюбил Сибирь, руководимый Л.А. Мелентьевым институт, лабораторию, в которой он работал, и ее молодых сотрудников. Работа шла успешно, сотрудники занимались научными изысканиями. В числе первых защитили кандидатские диссертации А.П. Меренков, А.А. Кошелев, К.С. Светлов, Б.М. Каганович, М.К. Такайшвили, С.В. Сумароков... Виктор Яковлевич защитил докторскую диссертацию в Новосибирске по теории гидравлических цепей.

Обстановка в коллективе была дружеской и уважительной. В лабораторию поступало новое оборудование, что расширяло возможности работы.

Я помню, как ко мне домой в Москве пришел Лев Александрович Мелентьев и уговаривал переехать с дочкой в Иркутск, чтобы Виктор Яковлевич не возвращался в Москву. Я все-таки отказалась. Сама я в это время заканчивала диссертацию, причем контингент пациентов был специфический, им делали операции искусственного пищевода при его некрозе после отравления кислотой или щелочью. К нам в НИИ Склифосовского приезжали больные практически со всей России. Кроме дочери Веры, в то время школьницы, с нами жила мама Виктора Яковлевича, старая и слабая. В Одессе жили мои родители, отец очень болел, и я периодически их навещала.

Отец мой и мать Виктора Яковлевича умерли уже после его возвращения. Живя в Москве, Виктор Яковлевич продолжал научные контакты с лабораторией в Иркутске и довольно часто туда ездил, а “ребята” приезжали в Москву.

В конце 1970-х годов самочувствие Виктора Яковлевича ухудшилось, появились признаки сердечной недостаточности. Он попал в больницу, но выйдя оттуда, все-таки собрался поехать в Иркутск. Я боялась, что ему будет плохо, возражала. Но Виктор Яковлевич сказал: “Иркутск – неотъемлемая часть моей жизни. Ты боишься этой поездки, но как будет, так будет”. Вернулся очень довольный, в хорошем настроении. Общался с приезжающими иркутянами – Меренковым, Кошелевым, Такайшвили и Светловым, который к тому времени уже перебрался в Москву.

---

* Вероятно, имеется в виду рассмотрение апелляции В.Я. Хасилева в суде, который признал это увольнение необоснованным, – об этом написано несколько подробнее в мемуарах А.А. Кошелева.

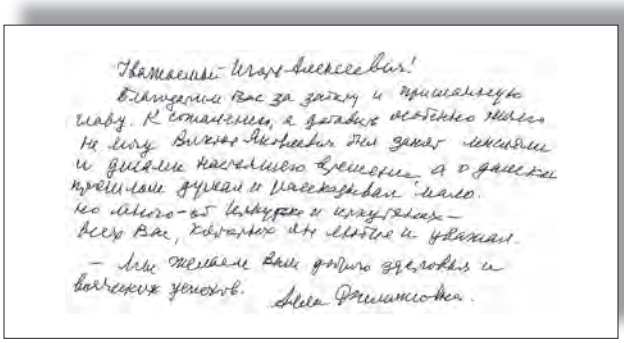
23 апреля 1980 г., сидя в кресле, смотрел по телевизору передачу “Что, где, когда”. Внезапно начался отек легких, и Виктор Яковлевич почти мгновенно скончался. Это было неожиданно, хотя и предсказуемо. Порок сердца, вызванный перенесенным в юности ревматизмом, был неизлечим.

Я не буду писать о нашей реакции на смерть Виктора Яковлевича. Но и приехавшие иркутяне, и Анатолий Петрович Меренков, который вернулся из санатория, и работники кафедры Плехановского института, мои сотрудники – все были потрясены. Были большие поминки.

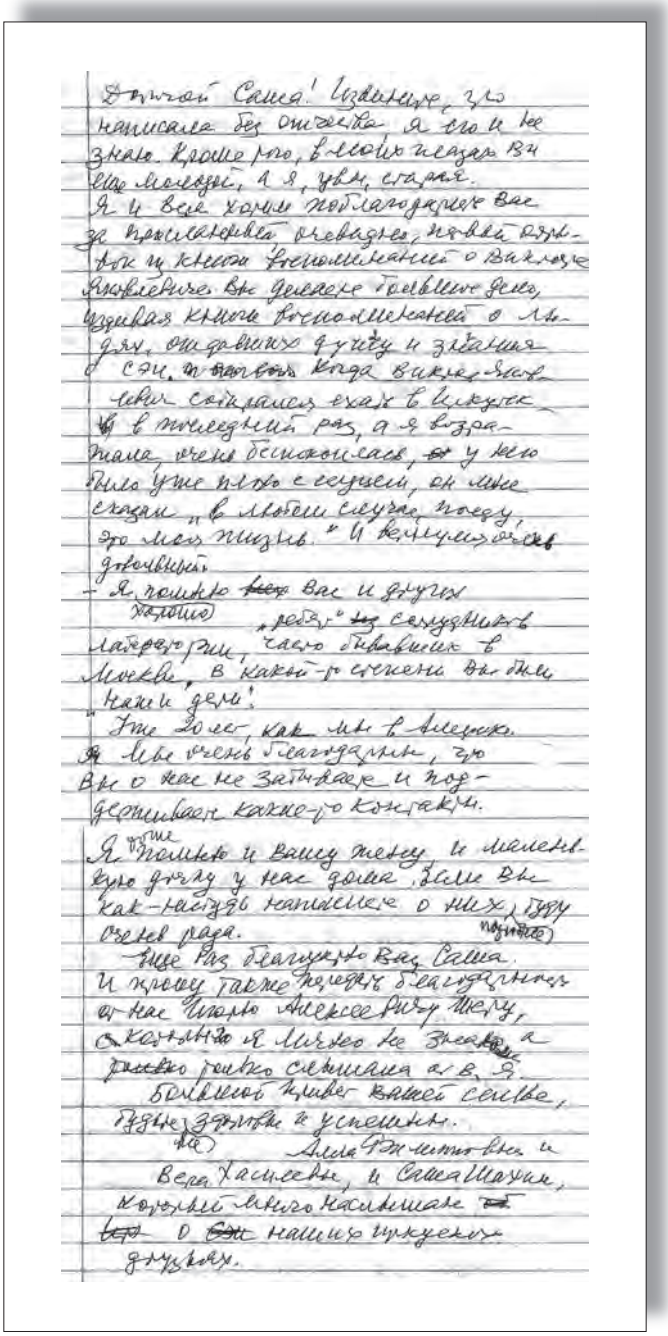
Похоронили Виктора Яковлевича на Востряковском кладбище, в одной ограде с матерью. Я поставила памятник, часто ходила на кладбище и всегда думала, что это будет и мое место упокоения. Однако судьба распорядилась иначе. Я уехала с семьей дочери в Америку, живем здесь уже двадцать лет, а о Викторе Яковлевиче не забываем ни на минуту. Больно, что не можем посещать его могилу. Я была только один раз в Москве и с большой грустью постояла у могилы. Я и Вера всегда помним и говорим о нем, как о живом.

Часто вспоминаем иркутян, говорим, как Виктор Яковлевич полюбил Сибирь, Иркутск, своих друзей в лаборатории и вообще в СЭИ. Я с благодарностью вспоминаю всех близких сотрудников Виктора Яковлевича, которые помнят не только о нем, но и о нас. Спасибо им большое за многолетнюю память о Викторе Яковлевиче.

В публикуемых здесь воспоминаниях и мемуарах отмечается, что рабочие и дружеские контакты сотрудников СЭИ и, в частности, лаборатории трубопроводных систем с В.Я. Хасилевым сохранялись и после его отъезда в Москву. После смерти Виктора Яковлевича ветераны лаборатории регулярно навещали его семью.


Уважаемый Игорь Алексеевич!
Благодарим Вас за заботу и внимательную
память. К сожалению, в данных печальных
по поводу Виктора Яковлевича Вы были заняты
и днями настолько временно, а о данных
прошлых думали и переживали много.
Но много-ль в Иркутске и иркутянах –
всех Вас, хороших и любим и уважаем.
– Мы желаем Вам долго здоровья и
творческих успехов. Алла Фоминская.

Как видно из писем, полученных от жены Виктора Яковлевича в ответ на посланные ей отрывки из этой книги в процессе ее подготовки, эти связи сохранились и после отъезда членов его семьи за океан.



Дорогой Саша! Извините, что написала без отчества. Я его и не знаю. Кроме того, в моих глазах Вы еще молодой, а я, увы, старая.
Я и все хотим поблагодарить Вас за присланный, очевидно, первый отрывок из книги воспоминаний о Викторе Яковлевиче. Вы делаете большое дело, издавая книги воспоминаний о людях, отдавших душу и знания СЭИ. Когда Виктор Яковлевич собирался ехать в Иркутск в последний раз, а я возражала, очень беспокоилась, у него было уже плохо с сердцем, он мне сказал „в любом случае, поеду, это моя жизнь." И вернулся очень довольный.
– Я помню Вас и других хорошо „ребят" сотрудников лаборатории, часто бывавших в Москве, в какой-то степени Вы были „наши дети".
Уже 20 лет, как мы в Америке. Мы очень благодарны, что Вы о нас не забываете и поддерживаете какие-то контакты.
Я отчетливо помню и Вашу жену, и маленькую дочку у нас дома. Если Вы как-нибудь напишете о них, буду очень рада.
Еще раз благодарю Вас, Саша. И прошу также передать благодарность от нас Игорю Алексеевичу Шеру, которого я лично не знаю, а только слышала от В. Я.
Большой привет вашей семье, будьте все здоровы и успешны.
Алла Филипповна и Вера Хасилевы, и Саша Шахим, который много наслышан о наших иркутских друзьях.

ВОСПОМИНАНИЯ ОБ ОТЦЕ

В.В. Хасилева

Я знала с детства, что мой папа – очень интересный человек. На первом месте у отца была его наука: он занимался ей и дома, и тогда в комнате клубился дым, нельзя было шуметь и вообще мешать, иногда бывало даже страшно. Пожалуй, самый главный урок, который дал мне мой отец, это, цитирую Юрия Олешу, “свет под дверью”! Папа мог работать в любое время суток, в выходные и праздники. Зеленая лампа с мраморной белкой горела на его столе и поздно ночью, в том числе под новый год! Его всепоглощающая страсть к работе была для меня примером с детства. Даже не примером, а просто фактом жизни. Но в свободное время папа рассказывал мне совершенно потрясающие вещи, значение которых прояснялось гораздо позже, и теперь я понимаю, что он общался со мной не как с ребенком, а как с человеком.

Рассказывал о великих ученых прошлого: Ньютон, Эйнштейн, Эйлер, Пуанкаре в его рассказах представали живыми и даже знакомыми людьми. Всячески пытался заинтересовать меня физикой и математикой, и не его вина, что моя профессиональная судьба сложилась иначе. Папин рассказ о турбулентных и ламинарных потоках на примере лужи на Ленинском проспекте я помню и сейчас, а было мне тогда лет семь. Позже он пытался втолковать мне цикл Карно и сердился, что я не могла никак вникнуть в тонкости этого процесса.

Но вот папины знания литературы, музыки, истории, живописи, где он прекрасно разбирался, были мне всегда интересны и близки, и многие его рассказы я стараюсь передать своим детям. Следует иметь в виду, что Виктор Яковлевич происходил из простой семьи: бабушка моя была от природы одаренной, но не имела ка-

ХАСИЛЕВА (Шахина) Вера Викторовна, единственная дочь В.Я. и А.Ф. Хасилевых. Закончив Первый московский медицинский институт, работала в городской больнице № 7, затем в ЦКБ АН СССР. В 1991 г. эмигрировала в США. Живет в пригороде Детройта, штат Мичиган. Врач-терапевт высшей категории.
Муж Александр Шахин, инженер-электрик. Сын Евгений живет в пригороде Вашингтона, округ Колумбия, с женой Дженнифер и сыном Натаном Хасилевым; дочь Виктория живет и учится в Нью-Йорке.

кого-либо высшего образования. Мне кажется, что стремление отца к московской культуре после переезда из Одессы, а также умение аналитически ее переработать и сделать своей, отличали его, как это было свойственно людям эпохи Ренессанса, века Просвещения.

Разговоры на разные темы, повседневные беседы и застолья с друзьями и учениками в доме моих родителей помнятся до сих пор, столько там было интересного.

Виктор Яковлевич с Верой в Подмосковье

Папа старался с детства приучать меня к посещению концертов в Доме ученых, в Консерватории. Очень интересно рассказывал о дирижерах и музыкантах прошлого, а в качестве демонстрации и сам пел и дирижировал. Достать хорошие билеты в Консерваторию было трудно, они покупались обычно в дальний ряд, но папа тащил меня вперед на свободные места. Это меня безумно смущало, а папа развеивал мои страдания, убеждая, что в Консерватории это вполне принято (в отличие от, скажем, Большого театра), только не надо садиться ближе третьего ряда. Почему именно третьего, вопрошала я и получала ответ, что там сидят парвеню, выскочки. Теперь я понимаю, что в первых рядах могут быть и вполне достойные люди, но тогда это немного загадочное объяснение срабатывало. Вообще музыка была его любимым видом искусства. В детстве учился играть на виолончели, как и подобало еврейскому одесскому мальчику. А эта замечательная история об участии в массовке Одесского оперного театра при замуровывании Радамеса в последнем акте оперы Верди “Аида” – незабываемый эпизод биографии!

В Одессе папа жил в Театральном переулке, недалеко от Оперного театра. А в Москве – в коммуналке в Калашном переулке, в доме, выходящем на Арбат. Дом этот знаменит двумя фактами. Во-первых, там долго висела реклама, сочиненная Маяковским: “Нигде кроме как в Моссельпроме”. И еще там по сей день находится голландское посольство. В прошлом СССР не имел дипломатических отношений с Израилем, и евреи, желавшие туда уехать, получали визы в посольстве Нидерландов, предоставлявшем Израилю кабинет на своей территории для этих целей. Там всегда стояла очередь на улице. Такие были правила игры.

Впрочем, мы с папой и мамой уехали оттуда году в 1957-м, сначала снимали квартиру на Песчаной (метро “Сокол”), а потом переехали на 1-ю Черемушкинскую, впоследствии Дм. Ульянова.

А известна ли вам фразочка ВЯ: “Хасилев себе не враг”? Мой муж Саша Шахин взял ее на вооружение, добавляя: “даже если он Шахин”...

Виктор Яковлевич, Вера Викторовна и Алла Филипповна в Иркутске у здания СЭИ

Немногие знают, что ВЯ вначале мечтал стать астрономом и собирался поступать в Одесский университет. Однако когда они с товарищем пришли подавать заявления, приемная комиссия была закрыта на обед. Друг сказал: “Витька, ну их в баню, пошли через дорогу подадим в Политехнический и айда купаться на Ланжерон [известный одесский пляж]”. Так решилась судьба будущего “отца теории гидравлических цепей”!

Папа старался заинтересовать меня своей наукой. Когда стало ясно, что к математике и физике у меня склонности нет, хотя я закончила школу № 2 с физико-математическим уклоном, одну из лучших в Москве, я пошла по маминым стопам, в медицину. И никогда не разочаровывалась в своем выборе.

Папа находил аналогию между гидравликой и системой кровообращения, мы много разговаривали с ним на эту тему. Возможно, именно поэтому кардиология всегда казалась мне самой интересной областью медицины.

Будучи изначально одесситом и став “коренным” москвичом, папа глубоко полюбил Сибирь, в частности Иркутск. Уважал сибиряков за их сдержанность и непритязательность. Иркутяне-сотрудники СЭИ стали частью нашей московской жизни, а многие из них – настоящими друзьями, часто приходили к нам домой во время приездов. Помнится банкет по поводу защиты Станислава Сумарокова – в Москве у него никого не было, и мои родители устроили празднование у нас дома.

Я никогда не забуду нашу поездку в Иркутск, посещение Байкала, Тункинской долины… Города, природа, люди в Сибири разительно отличались от привычного в Москве.

Это был еще один урок моего отца: уважать, ценить другое и других. Самые разные люди – разного возраста, профессии, образовательного уровня – вызывали у него искренний интерес. Он сочетал в себе принципиальность и толерантность. Мне кажется, что эти качества – непременный атрибут мудрости.

Как горько, что отцу так мало было отпущено лет… Что мои сын и дочь лишены многого, что мог бы дать им дед.

ЕГО ТРУДОВОЙ ПУТЬ И ПРОСТОР ТВОРЧЕСТВА*

С.В. Сумароков

Виктор Яковлевич Хасилев родился в Одессе 13 декабря 1912 в семье рабочего-печатника. Окончил обычную и электропрофшколу и в 1930 г. поступил в Одесский индустриальный институт. Как многие студенты того времени, учебу совмещал с работой – на ТЭЦ в должности техника (1931–1932 гг.). В 1933 г. окончил энергофак института, получив диплом инженера-энергетика по специальности "теплоэнергетика". Переехав в Москву, он с 1933 по 1936 г. работал в должности инженера в Теплосетьстрое Наркомата энергетического строительства, а с 1936 по 1938 г. – старшим инженером Нефтепроекта. Им и под его руководством выполнены и реализованы многие проекты теплоснабжения и теплового хозяйства. Затем он работал экспертом Наркомнефти, Госпланов СССР и РСФСР, был консультантом и участвовал в работе Энергосетьпроекта и моссоветовских организаций. Во время работы в Нефтепроекте опубликовал две первые научные работы по вопросам теплоэнергетики нефтепроводов.

Систематические научные исследования В.Я. Хасилев начал вести на кафедре теплофикации Московского института инженеров коммунального строительства, где с 1938 г. обучался в аспирантуре и одновременно работал ассистентом. В 1940 г. он защитил кандидатскую диссертацию на те-

СУМАРОКОВ Станислав Викторович (1937–1994). По окончании Ленинградского института точной механики и оптики (ЛИТМО) распределился в СЭИ в 1962 г. Занимался проектированием аналоговой модели тепловой сети на электронных диодах, затем оптимизацией систем водного и коммунального хозяйства. Он называл себя "старейшим хасилевцем", оставшимся в трубопроводном отделе**.

* Здесь приведен текст из первого тома "Траекторий СЭИ" (2001), с. 209, 217, 221 – полностью, в том числе биографические подробности, источник которых неизвестен.

** О нем есть разделы во втором томе "Траекторий СЭИ", в кн. 2 "Воспоминания и размышления", а о его творчестве как художника – на с. 76–87 кн. 3 "Не наукой единой" трехтомника "Вехи полувекового пути".

му “Оптимальная мощность установок районного теплоснабжения” и принял участие в коллективной работе Академии коммунального хозяйства по вопросам теплоснабжения, которая была прервана начавшейся Великой Отечественной войной. В 1956–1960 гг. эта работа была продолжена в институте Генплана Москвы и отмечена бронзовой медалью ВДНХ.

В первые годы войны В.Я. Хасилев работал сначала старшим инженером Нефтезаводпроекта (1941 г.), затем в Коммунэнергопромпроекте прорабом (1941–1942 гг.), затем старшим инженером на строительстве газоубежищ. В 1942 г. он возобновил научную работу на кафедре теплофикации Московского инженерно-строительного института им. В.В. Куйбышева (МИСИ) сначала в должности старшего научного сотрудника и старшего преподавателя, а затем, до 1946 г. – по совместительству.

В 1944 г. он становится старшим научным сотрудником, затем заместителем заведующего отделом общей энергетики ЭНИНа АН СССР, возглавляемого в то время Г.М. Кржижановским. Здесь он плодотворно работал с Б.Л. Шифринсоном, исследуя, в частности, проблему трассировки тепловых сетей, и получил ученое звание старшего научного сотрудника по специальности “теплоэнергетика”.

Поражают масштабы преподавательской деятельности Виктора Яковлевича, говорящие о разносторонности его интересов как ученого. Научную работу он успешно совмещал с преподавательской. С 1948 по 1953 г. он был старшим преподавателем Академии промышленности вооружения, а в 1951–1953 гг. читал курс гидравлики в Нефтяном институте им. И.М. Губкина.

В 1953–1954 гг. В.Я. Хасилев работал старшим научным сотрудником в Московском инженерно-экономическом институте им. Серго Орджоникидзе, где еще в 1946–1948 гг. был по совместительству старшим преподавателем кафедры тепловых установок. Здесь им выполнен ряд работ по режимам тепловых электростанций в энергосистемах Сибири.

С 1954 по 1961 г., до приезда в Иркутск, В.Я. Хасилев работал доцентом кафедры энергетики Московского института народного хозяйства им. Г.В. Плеханова. В 1959 г. он утвержден в ученом звании доцента по специальности “энергетика”. В это время им выполнен ряд важных теоретических работ по технико-экономическому расчету тепловых и других гидравлических сетей и оптимизации их параметров, предложены обобщенные зависимости для решения этой задачи.

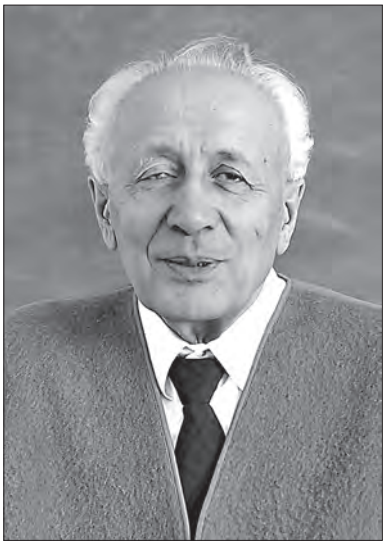
Виктор Яковлевич сумел меня, электронщика по образованию, увлечь своими идеями, и благодаря ему я стал трубопроводчиком. Он научил меня представлять задачи оптимизации и расчета трубопроводных сетей геометрическими образами. До сих пор у меня сохранилась слабость к таким "картинкам". Кто бы до ВЯ мог додуматься, что параллельная работа двух ТЭЦ на общую нагрузку интерпретируется пересечением эллиптических цилиндров с эллипсоидом? Старые сэишники помнят эту порожденную воображением ВЯ знаменитую фигуру, достойную кисти Пикассо, изображенную мной и отраженную Кошелевым в оде "Хасилиада"*.

О ВИКТОРЕ ЯКОВЛЕВИЧЕ — УЧЕНОМ, МЫСЛИТЕЛЕ, ЧЕЛОВЕКЕ И О ЕГО НАСЛЕДИИ

Б.М. Каганович

О ценности наследий

Чтобы жить не напрасно, успешно продолжать и развивать сделанное предшественниками, нужно сохранять память о них; постоянно и разносторонне переосмысливать накопленный ими опыт, их мастерство в решении ставящихся жизнью задач. Анализ мастерства, конечно, особенно важен, когда предполагается использование наследия людей творческих профессий, сама деятельность которых по определению связана с созданием нового. Одной из обязательных составляющих анализа творчес-



КАГАНОВИЧ Борис Моисеевич. Окончил Московский текстильный институт по специальности "Энергетика промышленных предприятий", работал на ряде промышленных предприятий, в Иркутском отделении ГСПИ "Промэнергопроект", с 1965 г. — в лаборатории теплоснабжения СЭИ. В 1971 г. защитил кандидатскую диссертацию "Методы оптимизации тепловых сетей при совместной работе ТЭЦ и котельных", в 1991 г. — докторскую по теме "Исследование энергетических технологий на основе методов термодинамики и теории цепей". Главный научный сотрудник, лидер термодинамического направления исследований ИСЭМ.

* Подробнее об этом есть в воспоминаниях А.А. Кошелева.

кого наследия является раскрытие интеллектуальных и нравственных качеств его создателя. Правда широко распространено мнение, что в науке в отличие от искусства роль отдельной личности не очень значительна, что, например, если бы не было Эйнштейна, все равно кто-нибудь додумался бы до теории относительности; что, кроме того, теории ученых со временем заменяются более точными и теряют свое значение.

Я с этим мнением категорически не согласен. На мой взгляд, труды Галилея и Ньютона, Эйлера и Лагранжа, Кирхгофа и Максвелла, Планка и Эйнштейна – это такие же вечные ценности, как создания Шекспира и Гёте, Рафаэля и Рембрандта, Моцарта и Чайковского, Пушкина и Толстого. Главным в работах классиков науки являются культура восприятия внешнего мира, мастерство его моделирования, создания "научных образов". Классические "научные образы" – вот творения ученых, такие же бессмертные, как и великие художественные образы, созданные деятелями искусства. Мне кажется, что с моим несогласием в значительной мере были согласны многие неизмеримо бóльшие, чем автор данного очерка, величины в науке.

Планк сразу же после установления им квантового закона излучения заявил, что его открытие никоим образом не опровергает теорию непрерывного электромагнитного поля Максвелла, что он просто придумал прием, позволяющий определять согласующиеся с опытом уравнения излучаемой энергии и распределения частот в излучаемом поле. Таким образом, он признал жизнеспособность созданного Максвеллом "образа" процесса излучения как непрерывного распространения волн и тем самым признал сохранение ценности его наследия. Эйнштейн, распространивший обнаруженные Планком квантовые закономерности на движение и поглощение света, говорил о невозможности вывода из факта, что мы пьем пиво кружками, заключения о его (пива) квантовом характере, т. е. поддержал планковскую идею о неуничтожимости непрерывных моделей. Вводя в квантовую физику статистические закономерности (распределение Бозе–Эйнштейна), он в то же время шутливо заметил, что господь не играет в кости, т. е. что вероятностный подход не может отменить вечные, основанные на предположении о причинной обусловленности всех явлений детерминистические описания. Консерватизм, заботу о сохранении старых ценностей Эйнштейн, конечно, проявлял и занимаясь своим любимым детищем – теорией относительности. В отличие от многих популяризаторов своего творчества, он никогда не утверждал, что его релятивистская механика опровергает классическую, с восхищением писал о создателях последней – Галилее и Ньютоне – и с великим искусством использовал их наследие. Согласно общей теории относительности, в ничтожно малых областях пространства и времени соблюдается принцип относительности Галилея, и только при расширении этих областей осуществляется переход к формулам, отображающим зависимость времени от выбора системы координат. Составной частью теории относительности стал анализ использования применительно к релятивистским системам общих принципов равновесия и экстремальности, развиваемых Эйлером, Лагранжем, Гамильтоном и другими учеными в рамках классической механики.

Роль нравственной, этической составляющей в научном творчестве также удобно проиллюстрировать на примерах Планка и Эйнштейна. Когда я читал планковский учебник термодинамики, меня потрясло, что его автор совершенно не отмечал свой колоссальный вклад в развитие этой науки. Он ввел в нее понятие термодинамической вероятности, дал дополнительное по сравнению с Нернстом толкование третьего закона, определил значения констант Больцмана и Планка, из условия термодинамического равновесия между веществом и излучением вывел квантовый закон излучения, заложив основы квантовой физики. И обо всех этих собственных "термодинамических" заслугах Планк позабыл рассказать читателю. В своей Нобелевской лекции он говорил об эйнштейновском объяснении квантовых закономерностей едва ли не больше, чем о своем, за которое и получил Нобелевскую премию. В этих забывчивости и "излишней" скромности Планка проявились его искренние изумление и увлеченность трудами предшественников и коллег, желание и способность следовать их плодотворным идеям. По мнению М. Льоцци, высказанному в его "Истории физики", именно консерватизм приводил Планка к революционным открытиям. Аналогичное мнение об Эйнштейне высказывал выдающийся отечественный физик Зельдович. Оценки, данные Планку и Эйнштейну, можно перефразировать: бережно сохраняя наследия других великих ученых, они создавали свои собственные вечные ценности.

Наряду со скромностью Планк обладал мужеством и стойкостью духа, необходимыми для честной и результативной научной деятельности. Много потрясений пришлось перенести ему в личной жизни. Уже в молодости умерла его дочь. Один из сыновей погиб на Первой мировой войне. Другой был расстрелян за антифашистскую деятельность при Гитлере. Испытал Планк и переживания совершенно другого рода, связанные с непризнанием его научных трудов. Воздействие такого непризнания на нервное состояние сравнительно легко ослабить, если знаешь, что оно исходит от невежественных или непорядочных людей. Но статьи Планка не допускал к публикации Гельмгольц – ученый, которого он боготворил. Тем не менее Планк сумел выдержать отрицательное отношение авторитета и остаться верным своим идеям, которые привели к созданию квантовой физики. Продолжая несмотря ни на что собственные работы, он находил в себе силы одновременно заботиться и о коллегах. Именно по его приглашению из Швейцарии в Германию на работу в руководимый Планком институт переехал Эйнштейн и оставался там до прихода к власти Гитлера. Когда после установления гитлеровского режима к Планку за советом "что делать?" пришел молодой Гейзенберг, тот ответил ему, что, конечно, можно эмигрировать, но если какая-то часть молодых людей (которые понимают, что происходит) останется, то после того, как Гитлеру придет конец, будет кому восстанавливать Германию. Гейзенберг остался, стал руководителем немецкого атомного проекта и делал все возможное, чтобы атомная бомба у фашистской власти не появилась.

О нравственных качествах Эйнштейна говорит уже отмеченное выше его отношение к предшественникам. На доброту, проявляемую по отношению к нему Планком, он отвечал полной взаимностью. По мнению

Л.С. Полака, высказанному им в статье по истории квантовой физики, предложенная Планком в 1900 г. квантовая теория излучения стала достоянием науки только после опубликования в 1905 г. статьи Эйнштейна о специальной теории относительности. Новая (эйнштейновская) трактовка свойств пространства и времени сделала понятной и новую (планковскую) трактовку свойств энергии. В своих работах, посвященных квантовым описаниям излучения, распространения и поглощения света, Эйнштейн старался бережно сохранять и язык, и логику изложения выдвинувшего идею квантов Планка и только при переходе к непосредственному объяснению собственных результатов вводил неизбежные изменения в язык обсуждения квантовой теории.

Приведенные примеры научного мужества нельзя не дополнить еще одним ярчайшим примером – "отречением" Галилея. К глубокому сожалению, традиционной стала трактовка этого отречения от собственных идей как отказа под угрозой пыток и смерти. Но, заявив судившим его ничтожествам, что он отрекается, Галилей остался верным себе. После суда он написал, возможно, свою лучшую книгу "Беседы и математические доказательства". В ней продолжающийся анализ закономерностей мироздания излагался на эзоповском языке. Сама книга была опубликована в Нидерландах издательством "Эльзевир" (в Италии, понятно, это оказалось невозможным). Если бы Галилей на суде не признал свою вину, человечество не смогло бы познакомиться с его последним шедевром. Поэтому "отречение" Галилея – это бессмертный подвиг. Мне понравилась драма Брехта "Жизнь Галилея". При ее чтении чувствуется, что писатель читал труды ученого. Но кажется, что о Галилее можно было написать еще сильнее. В первую очередь, желательным представляется усиление описания событий после судилища.

Конечно, наряду с приверженностью традициям и высокой нравственностью ученые должны обладать глубиной и разносторонностью мышления, которые в значительной мере обеспечиваются знакомством с накопленным человечеством опытом в культуре познания мира. Степень этого знакомства в свою очередь сильно зависит от наличия у ученого первых двух отмеченных качеств. Разносторонность часто проявляется в умении пользоваться багажом и науки, и искусства. Не зря Л.С. Полак, раскрывая секреты творческой деятельности Эйлера, Лагранжа, Гамильтона, Кирхгофа, Больцмана, Герца, Планка и других классиков естествознания и математики, объяснял не только чисто научную сторону их мышления, но и отношение к искусству и особенности его восприятия.

Одновременными разносторонностью и силой мысли и высокой духовностью обладали далеко не все ученые, достигавшие отдельных замечательных результатов и даже удостаивающиеся высших научных наград. Общую ценность творческого наследия многих исследователей снижают чрезмерное стремление к славе или личной выгоде, недостаток мужества и неспособность противостоять авторитетам и сильным мира сего, зависимость поведения от сложившейся конъюнктуры, недостаток знаний и культуры мышления и другие причины.

Виктор Яковлевич Хасилев, инженер по образованию, стал настоящим ученым, глубоким мыслителем и порядочным человеком. Подходя к его наследию с самыми строгими мерками, применяемыми при оценке трудов классиков, можно убедиться, что оно представляет значительный интерес и с точки зрения использования конкретных результатов, и в отношении искусства их достижения, и в смысле образца истолкования проводимых исследований, и как пример создания дружественных, человечных отношений при выполнении научных работ. Раскрыть отмеченные особенности хасилевского наследия, необходимость, проблемы и пути его использования автор попытается в дальнейшем тексте. Переосмысление творчества Хасилева, возможно, поможет и современному молодому поколению ученых делать настоящую науку.

Личное знакомство

Моя первая встреча с Виктором Яковлевичем состоялась в конце 1962 г. Тогда я и Григорий Борисович Славин работали в Иркутском Промэнергопроекте и занимались схемой теплоснабжения Иркутска. Виктор Яковлевич пришел в этот институт с просьбой от Льва Александровича Мелентьева рассмотреть вариант однотрубной схемы подачи тепла в город от расположенной под Ангарском ТЭЦ-10. Идея такой схемы связана с экономией затрат на транспорт греющей воды за счет отказа от сооружения трубопровода, предназначаемого для возвращения прошедшего через отопительные системы зданий теплоносителя обратно на ТЭЦ. Чтобы это стало возможным, поток греющей жидкости, отдав часть своего тепла на отопление и вентиляцию, должен целиком направляться в систему горячего водоснабжения и затем сбрасываться в канализацию. Для реализации однотрубной схемы требуется нагревать транспортируемую воду до 180–200 °С и сооружать в черте города пиковые котельные и аккумуляторные емкости, что требует дополнительных затрат и снижает эффект от отмены сооружения обратного трубопровода. Тем не менее, по нашим совместным с Григорием Борисовичем расчетам, “однотрубный” вариант оказался конкурентоспособным по отношению к другим рассматриваемым вариантам. Однако московское “промэнерговское” начальство объяснило нам, что на сооружение ТЭЦ, относящейся к передовой отрасли народного хозяйства – энергетике, Госплан деньги выделит, а строительство котельных, принадлежащих коммунальному хозяйству, финансировать не станет. Поэтому без учета “высоких” экономических соображений был принят вариант теплоснабжения города от ТЭЦ, получившей в дальнейшем наименование Ново-Иркутской.

Следующая встреча произошла в 1963 г. на симпозиуме “Методы математического моделирования и использования электронных вычислительных машин в энергетике”, посещать который сотрудники Промэнергопроекта были приглашены дирекцией СЭИ. На заседании одной из секций наша группа проектировщиков прослушала доклад А.П. Меренкова о расчетах тепловых сетей методом динамического программирования. На мой вопрос об учете рельефа местности Анатолий Петрович ответил, что рельеф им не учитывался. В прениях я выступил с резкой критикой

меренковского доклада, заявив, что игнорирование рельефа обесценивает результаты расчетов. В защиту своего ученика Виктор Яковлевич скромно возразил мне, что сначала надо научиться решать простые задачи, а уже потом переходить к решению сложных.

Когда в начале 1965 г. я пришел к Хасилеву с просьбой принять меня на работу в его лабораторию, о нашем споре он не вспомнил, понимая, что некоторые глупости человеку по молодости можно прощать. Но первой работой, которая была мне им поручена, стало развитие созданного Меренковым алгоритма с учетом и рельефа, и других особенностей реальных систем теплоснабжения. С этой работы началось мое постепенное познание многогранности личности своего первого научного наставника. Переосмысление его духовного наследия продолжается и по сей день. И часто помогает в решении возникающих как научных, так и жизненных проблем. Попробую отразить свое сегодняшнее понимание ценности этого наследия.

Его учителя и ученики

Глубокое восприятие и разностороннее, четкое и полезное отражение действительности в научных работах Хасилева стали, бесспорно, следствием и природных данных, и богатой, трудной, полной и большими радостями, и многими горестями жизни. Одной из наиболее светлых сторон этой жизни были длительное и плодотворное общение с высокоинтеллектуальными и высоконравственными учителями и коллегами.

Из учителей он чаще всего вспоминал В.И. Вейца и Б.Л. Шифринсона. Из них я лучше представляю Бориса Львовича, книгу которого “Основной расчет тепловых сетей” читал и использовал в своей работе. Об исключительно широкой квалификации Шифринсона свидетельствует то, что он сначала работал диспетчером электросети Мосэнерго, а потом стал главным инженером Московской тепловой сети. Работая электриком, Шифринсон предложил метод относительных приростов, ставший впоследствии одним из основных методов регулирования распределения нагрузок между оборудованием электростанций в энергосистемах. Будучи главным инженером, он написал упомянутую замечательную книгу, содержащую практические рекомендации проектировщикам и эксплуатационникам по прокладке тепловых сетей и математический анализ задачи выбора диаметров трубопроводов, на основе которого им был предложен легко реализуемый в условиях ручного счета приблизительный метод линейного распределения потерь давления. Именно этим методом, еще не зная о его авторе, мне пришлось на логарифмической линейке рассчитывать теплопроводы от Ново-Иркутской ТЭЦ и уже затем, опираясь на труды Шифринсона, его ученика Хасилева и ученика Хасилева Меренкова, заниматься заменой этого метода соответствующим компьютерной эре методом динамического программирования.

Виктор Яковлевич стал достойным продолжателем и интеллектуальной, и нравственной составляющих деятельности своих учителей. При этом обязательным условием соблюдения нравственных норм на работе и в жизни оказалось неизменное проявление высокого мужества. Два первых десятилетия его научной работы совпали с периодом сталинских репрес-

сий. Ему пришлось пережить “еврейский погром”, произошедший во время известного “дела врачей” в ЭНИНе им. Г.М. Кржижановского, в ходе которого он был уволен с работы. Осталась незащищенной подготовленная им докторская диссертация о параллельной работе ТЭЦ на общие тепловые сети. В царящей в стране в те годы атмосфере для подтверждения правильности и важности официальных научных отчетов приходилось ссылаться и на слова товарища Сталина, и на решения Центрального комитета партии. Но в развитии и реализации своих собственных, выстраданных идей он оставался верным себе, как оставался верным себе после судилища Галилей.

Свобода хасилевского духа, его непокорность тоталитарному режиму проявлялись уже в сложившемся у него режиме работы и общения с коллегами, в том числе и с подчиненными. Его работа никогда не подчинялась каким-либо установленным производственным графикам. У него всегда были собственные часы начала, окончания и перерывов трудового дня. В хорошую погоду он любил обсуждать и решать научные задачи, сидя на лавочке перед институтом или прогуливаясь. Помню, в первые дни (или недели) работы в СЭИ меня поразил такой факт. Я несколько раз подряд отпрашивался у него с работы, чтобы съездить в военкомат или еще куда-то и внести в документы изменения, связанные с переходом на другую работу. Виктор Яковлевич каждый раз говорил “Пожалуйста”, – в один из дней он вдруг первым подошел ко мне и спросил: “Борис Моисеевич! Я хочу завтра поговорить с вами о работе. У вас будет время?” Впервые в жизни мой непосредственный начальник обращался ко мне с подобным вопросом. Должен признаться, что допустимость и разумность подобных отношений между начальником и подчиненными я не сразу смог осмыслить.

Сегодня мне ясно, что “творческая” трудовая дисциплина в коллективах людей науки или искусства может основываться только на духовном единстве, наличии у членов коллектива желания и умения совместно работать. Насколько я знаю, в совместной двадцатилетней научной работе Виктора Яковлевича и Анатолия Петровича лишь один раз произошел более или менее серьезный конфликт. Это случилось примерно в середине 1960-х годов. Меренков, успешно применивший в своей выполняемой под руководством Хасилева кандидатской диссертации метод динамического программирования для оптимизации параметров тепловых сетей, независимо от учителя подключился к исследованиям с помощью этого метода задач оптимального синтеза газопроводов и начал сотрудничать со специалистами, подход которых к решению проблем трубопроводного транспорта существенно отличался от хасилевского. Хасилев отнесся к этому крайне отрицательно и откровенно высказал ученику свое отношение. Меренков сначала обиделся, решив, что его хотят лишить свободы выбора творческой деятельности, которую он заслуживает. Но потом он “одумался” и обратился к Виктору Яковлевичу с признанием своей неправоты и подтверждением желания целиком посвятить себя их совместной работе.

Видимо, уже в молодые годы Анатолий Петрович проявил замечательную способность правильно оценивать, что́ в каждом конкретном случае является более важным: свобода выбора или исполнение долга. Сложность

подобных оценок связана с необходимостью одновременного учета как норм нравственности и научной этики, соблюдение которых является обязательным условием развития науки, так и непосредственного влияния принимаемого решения на ход выполняемых конкретных научных работ. В рассматриваемом случае ученик понял, что он должен следовать духу и букве развиваемой учителем теории гидравлических цепей.

С затронутой темой был связан еще один, но уже бесконфликтный эпизод в отношениях Хасилева и Меренкова. Однажды во время беседы Виктора Яковлевича со мной в кабинет вошел Меренков с предложением поменять обозначения: число ветвей цепи вместо p обозначать буквой n, а число узлов – q вместо m. Необходимость такой замены он объяснил тем, что поскольку развиваемые в рамках теории цепей математические методы необходимо обсуждать с математиками, то и заимствованные из старых работ классиков обозначения чисел переменных и уравнений решаемой задачи следует заменить принятыми на современном математическом языке. Хасилев с этим предложением мгновенно согласился. В согласовании Меренковым такого, на первый взгляд формального, вопроса – его отказа от самовольного изменения языка изложения – проявилась уже в определенной мере унаследованная от учителя культура и человеческих отношений, и научного мышления. Действительно, цельность научной теории раскрывается не только содержательными трактовками, но и формой ее описания. Несоблюдение единства формы при изложении одной и той же теории различными авторами затрудняет ее восприятие и дальнейшее развитие. Поэтому так бережно относились к создаваемым коллегой содержанию и форме Планк и Эйнштейн в их совместном развитии квантовой теории. Отношения, сложившиеся между Хасилевым и Меренковым, во многом напоминают мне отношения этих двух великих классиков.

Наиболее ярко духовная близость учителя и ученика проявилась во взаимоотношениях с коллегами. Возглавив созданную Хасилевым лабораторию, а затем и став директором института, Меренков делал все возможное для того, чтобы научные исследования в возглавляемом им коллективе проводились в атмосфере дружбы и взаимопомощи. Инженер Хасилев помог математику Меренкову в понимании инженеров, экономистов, физиков, их мышления и поведения.

Виктор Яковлевич быстро оценил большой и разносторонний талант Станислава Викторовича Сумарокова и стремился изо всех сил помочь ему этот талант применить и уберечься от преследующей его коварной болезни. В дальнейшем эти усилия с хасилевской настойчивостью были продолжены Меренковым. Старания двух руководителей оправдались. Сумароков внес большой вклад в развитие теории гидравлических цепей. Предложенный им метод многоконтурной оптимизации стал основным методом оптимального синтеза многоконтурных гидравлических систем.

С восторгом встретил Виктор Яковлевич и начало работ в новом в теории цепей, предложенном Олегом Анатольевичем Балышевым направлении – анализе нестационарного потокораспределения. Активно, как и работы Сумарокова, продолжал поддерживать это направление Анатолий

Петрович. У Константина Сергеевича Светлова Виктор Яковлевич точно определил расположенность и умение решать прикладные задачи. Предложенный Светловым метод поочередного расчета потокораспределения в прямых и обратных трубопроводах тепловых сетей он помог строго теоретически объяснить как частный случай решения алгебраических уравнений методом групповой релаксации. В дальнейшем Светлов неоднократно совершенствовал известные вычислительные методы применительно к решению важных практических задач.

Чтобы разъяснить "нравственную позицию" Виктора Яковлевича в научной деятельности, которой он делился со своими учениками, можно вспомнить некоторые из его любимых выражений и одесских шуток. Первым я приведу следующее высказывание: "Чтобы стать академиком, надо писать, что лошади кушают овес. Никто возражать не будет". Оно направлено, конечно, не против академиков, ко многим из которых Хасилев относился с величайшим уважением, а против карьеристов, готовых поддерживать любую догму, провозглашаемую людьми, которые обладают влиянием и властью в научных кругах. Приведенному выражению близок по смыслу известный в советское время анекдот: "Были ли у вас отклонения от линии партии? – Нет, не были. Я всегда колебался вместе с линией". Можно добавить еще одно конкретное суждение Хасилева об одном хорошо известном ему и мне человеке: "В каждой фразе он умел стелить соломку". Имелись в виду высказывания этого человека на экономические, "опасные" в свое время темы, где он умудрялся так выражать свое мнение, что его толкование в зависимости от конъюнктуры соответствующим образом можно было менять. Хасилев учил своих друзей искусству отстаивания собственного мнения.

Часто использовал Виктор Яковлевич одесскую остроту: "Жора! Жарь рыбу!" – "Так нет же рыбы." – "А ты жарь! Рыба будет!" Этим он предостерегал своих младших коллег от попыток создания видимости, что получены какие-то важные результаты в случаях, когда никаких результатов, никакой "рыбы" не было. Иногда Хасилев вспоминал и увиденную им когда-то надпись в одном из игорных одесских заведений: "Примите руки из бильярда! Игра идет на интерес". Обращение к этому перлу языка одесситов могло быть связано и с выражением ненужности вступления в схоластические по существу, но связанные с удовлетворением чьих-то амбиций споры, и наоборот, с подчеркиванием необходимости в ряде случаев участия вопреки запретам в решении важных, но спорных вопросов.

Неукоснительное следование принятым нравственным нормам, конечно, не способствовало карьерному росту. Виктор Яковлевич не достиг высоких чинов, не удостоился высоких наград. Только через десять лет после смерти ему совместно с А.П. Меренковым была присуждена премия им. Г.М. Кржижановского. Но он стал настоящим большим ученым. Ученым и инженером, инженером, который, согласно его собственному определению, – это физик, химик, математик и экономист в одном лице. Не зря во время его работы в СЭИ к нему за советом обращались и теплоэнергетики (Г.Б. Левенталь, Л.С. Попырин), и электрики (А.З. Гамм), и экономисты

(Ю.А. Кузнецов). (Я назвал только фамилии людей, приходивших посоветоваться с Хасилевым в моем присутствии. Думаю, что на самом деле их было значительно больше.)

Чем обогатило общение с Виктором Яковлевичем лично меня?

Прежде всего он ввел меня в мир науки: прикладной и фундаментальной; помог наметить первоначальный круг чтения литературы: математической, физической и технической; познакомил со многими специалистами-энергетиками: М.А. Стыриковичем, Е.О. Штейнгаузом, С.Ф. Копьевым, Е.Я. Соколовым, М.Л. Заксом, Н.К. Громовым и др. Во время наших бесед он щедро делился опытом и проведения исследований, и изложения их результатов. Большая помощь была оказана им в подготовке и защите моей кандидатской диссертации, предмет которой составило развитие одного из разделов его первой, не представленной к защите докторской. Заботился Виктор Яковлевич и о публикации моих работ.

Особенно хочется отметить помощь Хасилева в публикации моей первой индивидуальной монографии “Дискретная оптимизация тепловых сетей”. Им была предложена сама идея ее написания, при этом без соавторов. Здесь проявилась присущая далеко не всем руководителям черта характера Виктора Яковлевича. Многие начальники любят включать себя в соавторы работ подчиненных даже в случаях, когда их непосредственное участие в этих работах оказывается не очень заметным. Виктор Яковлевич, наоборот, всегда стремился научную самостоятельность своих учеников отметить их самостоятельными публикациями. Он активно содействовал опубликованию индивидуальных статей и Меренкова, и Сумарокова. Конечно, реальный вклад участников совместной работы им строго оценивался и при определении состава авторов коллективных публикаций. Первая редакция “Дискретной оптимизации...” ему не понравилась, но вторая – произвела хорошее впечатление, и он помог мне найти рецензента (А.С. Некрасова) и ответственного редактора (А.П. Меренкова). А после публикации книги посоветовал послать экземпляр в подарок замечательному специалисту в области прикладной математики Елене Сергеевне Вентцель (одновременно писательнице, писавшей под псевдонимом И. Грекова). Вентцель за подарок поблагодарила, а о книге хорошо отозвалась, что укрепило меня в оценке своих возможностей в научной работе.

В целом основным итогом моих контактов с Виктором Яковлевичем я считаю переход от работы инженера-производственника (на тепловозостроительном заводе) и инженера-проектировщика (в проектном институте) к работе научного сотрудника, целиком поглощенного теоретическими исследованиями.

Как создавалась теория гидравлических цепей

Основное наследие Виктора Яковлевича – это теория гидравлических цепей (ТГЦ). И не только ее положения, уравнения, методы, но и искусство создания, искусство построения моделей окружающего мира. Чтобы понять, прочувствовать истинность и вечность этого искусства, надо сопоставить историю возникновения ТГЦ с историей формулировки класси-

ками физики Кирхгофом и Максвеллом теории электрических цепей, возникшей примерно за сто лет до теории гидравлических.

Распределение токов в цепях исследовалось ими в рамках изучения электрических и электромагнитных явлений и в связи с более широким осмыслением физической картины мира на базе механики и теории теплоты. Формулируемые законы движения электрических зарядов они согласовали с фундаментальными принципами сохранения, равновесия и экстремальности. Соблюдение условия равновесия в их работах следовало из принятия предпосылки о существовании потенциальных, определяемых исключительно состоянием рассматриваемой системы функций. Ведь фиксирование значения функции означает равновесие стремящихся изменить его сил. Из одновременного соблюдения принципа равновесия и экспериментально установленного закона Джоуля (о пропорциональности выделяемой в проводниках теплоты квадрату тока) Кирхгоф и Максвелл доказали тепловые теоремы. Согласно теореме Кирхгофа, в пассивных цепях (без внутренних источников электродвижущих сил) изотермическое распределение токов между ветвями осуществляется таким образом, что в цепи выделяется минимальное количество теплоты. В соответствии с теоремой Максвелла, в тех же пассивных цепях минимальное тепловыделение достигается при линейной зависимости между потерей напряжения и током на ветвях, т. е. при соблюдении закона Ома. Обе теоремы можно рассматривать как частные формулировки экстремальных принципов физики и как частные случаи выведенной во второй половине XX века одной из основных теорем неравновесной термодинамики – теоремы о минимуме производства энтропии.

Выведя основные закономерности движения зарядов в цепях, Кирхгоф и Максвелл предложили и методы расчета токораспределения: контурных токов (Кирхгоф) и узловых потенциалов (Максвелл). Интересно отметить, что, излагая свой метод в статье, написанной в 1847 г., Кирхгоф указал и способ выбора независимой системы уравнений (путем построения о́стовного дерева и задания независимых контуров, каждый из которых содержит один из не вошедших в дерево участков – “хорд”). Возникает вопрос: могли ли в первой половине XIX века, когда еще не было электроэнергетики и сложных электрических сетей, возникнуть реальные вычислительные проблемы расчета токораспределения, или Кирхгофа к поиску данного способа подтолкнуло стремление создать замкнутую теорию, пригодную для решения любой относящейся к области ее применения задачи. Мне кажется, что верным является второе предположение.

Зарождение ТГЦ, в отличие от зарождения теории электрических цепей, было связано с решением не теоретических, а чисто прикладных задач. Незадолго до начала Великой Отечественной войны разрабатывался генеральный план развития Москвы, в который, естественно, входила и схема теплоснабжения столицы. При выборе этой схемы рассматривался вариант обеспечения города теплом, поставляемым несколькими загородными ТЭЦ, от которых греющая вода должна была поступать в кольцевой трубопровод и из него распределяться по внутригородским магистралям.

В сильные морозы предполагалось включение расположенных в черте города пиковых котельных. Для данного варианта проектировщики оказались не в состоянии рассчитать переменные гидравлические режимы тепловых сетей. Это и натолкнуло Виктора Яковлевича на идею создать теорию, которая бы позволила обосновать методы проведения таких расчетов. Но этой теории, подобно Кирхгофу и Максвеллу, он сразу решил придать замкнутый характер, т. е. сделать пригодной для решения и прикладных, и теоретических задач, входящих в сферу ее применения.

Замкнутость хасилевской теории становится ясной уже из предложенной им классификации гидравлических цепей. С точки зрения физики (механики сплошной среды), он выделил их группы по признакам типа параметров и наличия источников движущих сил (давлений). По первому признаку в классификацию вошли цепи с параметрами: сосредоточенными (принимающими для каждой ветви или узла одно строго определенное значение); распределенными (меняющими свои значения при переходе от одной точки ветви к другой) и регулируемыми (способными принимать заранее заданные значения в узлах или на ветвях для различных условий взаимодействия цепи с окружающей средой). По второму признаку выделились цепи: активные (с источниками движущих давлений на ветвях) и пассивные (без таковых). С прикладной точки зрения (назначения моделируемых гидравлических систем для использования в различных отраслях народного хозяйства) цепи стали делиться на относящиеся к системам газо-, нефте-, водо- и теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха и другим.

Для выбранных классов цепей были поставлены задачи анализа потокораспределения (аналогичные сформулированным Кирхгофом и Максвеллом задачам расчета токораспределения в электрических цепях) и оптимального синтеза – технико-экономической оптимизации. Применительно к намеченному списку задач Виктор Яковлевич выполнил сопоставление предположительно возможных методов их решения. В анализе потокораспределения наряду с методами контурных расходов и узловых давлений (аналогов предложенных Кирхгофом и Максвеллом методов контурных токов и узловых потенциалов) он рассмотрел экстремальный подход, основанный на применении тепловой теоремы Кирхгофа, тонко оценив преимущества такого подхода, связанные с возможностями достаточно легкого варьирования постановок решаемых задач.

Основы единого физико-экономико-математического анализа задач оптимального синтеза и методов их решения применительно к цепям были заложены Виктором Яковлевичем в опубликованной в 1957 г. в журнале “Теплоэнергетика” статье “Обобщенные зависимости для технико-экономических расчетов тепловых и других сетей”, которую смело можно назвать гениальной. В ней наглядно проиллюстрировано единство естественных и общественных наук, физики и экономики. Конкретными результатами изложенных исследований стало выявление:

– “выпуклости” задачи, связанной с поиском оптимальных потерь давления на ветвях цепи, и “вогнутости” задачи, заключающейся в определении потокораспределения;

– исключительно большой пологости экономических функционалов вблизи точек экстремумов;

– независимости вида кривых измененных экономических функций относительно их оптимальных значений от абсолютных значений таких исходных экономических показателей, как удельные затраты на используемую для перекачки жидкости электроэнергию и удельные капиталовложения в трубопроводы разных диаметров, и однозначного определения этих кривых гидродинамическим (замыкающим) соотношением между потерей давления на ветви цепи и расходом на ней.

Последний из отмеченных результатов (независимость вида относительных экономических функций от исходных экономических данных), конечно, не противоречит зависимости абсолютных значений стоимостных характеристик цепей от используемых в расчетах данных о денежных затратах. Целиком гидродинамикой определяется только вид кривых, т. е. их экономико-математические особенности. Зависимость экономики технических систем, к которым относятся трубопроводные сети, от физики легко объяснима. Ведь затраты на сооружение и эксплуатацию трубопроводов зависят от их конструкций и режимов работы, которые в свою очередь зависят от используемых при их выборе физических принципов. При очевидности существования отмеченных связей раскрытие их вида и особенностей применительно к конкретным системам представляет чрезвычайно сложную научную проблему. Искусство и плодотворность решения такой проблемы Виктором Яковлевичем можно сравнить с выполненным Сади Карно изумительным анализом, в ходе которого он раскрыл зависимость коэффициента полезного действия тепловых двигателей от разности температур между нагревателем и окружающей средой.

Напрашивается и аналогия между технико-экономическим исследованием цепей Хасилевым и “Математической экономикой” Вальраса. Не знаю, был ли знаком с этой экономикой Виктор Яковлевич. В беседах с ним, в которых мне приходилось участвовать, она не упоминалась. Но вальрасовская идея единого математического описания физических и экономических закономерностей ему, бесспорно, была близка. Вальрас изложил экономику по образцу “Аналитической механики” Лагранжа, в которой исходным было выбрано дифференциальное уравнение равновесия механической системы, представляющее равенство дифференциалов работы движущих сил, направленной на изменение состояние системы, и работы сил сопротивления, препятствующих любым изменениям. Эти работы Вальрасом были заменены денежными вложениями производителей (продавцов) и затратами покупателей, а сила сопротивления связи (множитель Лагранжа) – ценой продукта. В хасилевской теории цепей единство экономических и физических описаний в некоторых отношениях по сравнению с вальрасовским даже усилилось. Если Вальрас описал экономику на основе единой физико-математической теории равновесий и экстремумов Лагранжа, то Хасилев развил совместные описания экономических и физических явлений, используя язык математического программирования, истоком которого стала теория Лагранжа и которое можно определить

как математическую теорию равновесных экстремальных состояний. Этот язык Виктор Яковлевич применял и для расчетов потокораспределения на основе теоремы о минимуме производства теплоты, и для выбора оптимальных схем гидравлических сетей и графиков потерь давления в этих сетях.

Задумывая теорию гидравлических цепей, Хасилев одновременно стал думать и о вычислительной технике, необходимой для проведения сложных расчетов на ее основе, – аналоговых вычислительных машинах (цифровых компьютеров в предвоенные годы еще не было), что дополнительно подчеркивает силу его междисциплинарного мышления. Развивая ТГЦ с опорой на наследие своего непосредственного учителя Шифринсона и классиков физики, он фактически заложил основы междисциплинарного направления исследований ИСЭМ. Если Лев Александрович Мелентьев придал межотраслевой характер исследованиям СЭИ, то включение в эти исследования междисциплинарной составляющей – заслуга Виктора Яковлевича.

Наряду с междисциплинарным характером теории гидравлических цепей следует отметить, что в интерпретациях Хасилева (изложенных в публикациях и устных) она воспринималась не как изолированное описание каких-то конкретных задач, а как естественная и обязательная составная часть общего научного объяснения мироздания. То же самое можно сказать о теории электрических цепей и ее изложении основоположниками: Кирхгофом и Максвеллом. Их трактовки процессов в цепях носили явно термодинамический характер. А термодинамика – это наука о наиболее общих законах и принципах макроскопического мира (равновесия, сохранения, экстремальности, относительности). На основе этих принципов Кирхгоф и Максвелл истолковывали движение электрических зарядов. Правда, они сумели доказать принципы экстремальности теории цепей – тепловые теоремы – только для частных случаев, но их неоценимый вклад в развитие “общей науки” – термодинамики – способствовал и дальнейшему обобщению предложенных ими доказательств. Максвелл дал свое, опубликованное в виде отдельной книги, краткое изложение первого систематического описания Гиббсом равновесной термодинамики, содержащегося в его бессмертной монографии “О равновесии гетерогенных веществ”. Это изложение, по словам Максвелла, предназначалось для более ясного объяснения идей Гиббса “специалистам-химикам”. Понятно, что доступное толкование термодинамических принципов, в том числе и принципов экстремальности, широкому кругу ученых содействовало ускорению развития и применения этих принципов.

Виктор Яковлевич тоже очень любил термодинамику и старался использовать ее положения. В обсуждениях проблемы надежности теплоснабжения он предлагал термодинамическую трактовку показателя интенсивности отказов (как энтропии снабжающей системы), но не стал ее включать в тексты статей и докладов, “чтобы не дразнить гусей”. Когда обнаружилась нераспространимость тепловых теорем Кирхгофа и Максвелла на активные цепи и Анатолий Петрович занялся чисто математичес-

ким выводом критерия экстремальности из условия совпадения решения алгебраической системы уравнений с решением на основе экстремального подхода, Виктор Яковлевич заявил, что проблему экстремального описания потокораспределения в цепях можно будет считать решенной только после ее строгого физического обоснования. К сожалению, такое обоснование на основе положений равновесной термодинамики удалось осуществить только после его смерти.

Об использовании наследия Виктора Яковлевича

Многогранность личности, научных интересов и характера исследований Виктора Яковлевича породила и многогранное наследие, сохранение и плодотворное использование которого представляют важную и трудную задачу. Ведь потребность в таком наследии возникает не только у людей, интересы которых непосредственно связаны с формальной тематикой работ его создателя. Глубина и широта, общность идей, выдвигаемых Хасилевым, неизбежно вызывают желание их применения в самых разных и неожиданных областях научной и инженерной деятельности. Так, они уже находили применение в расчетах систем масляного охлаждения трансформаторов и пневматического удаления производственных отходов.

Сходные хасилевским идеи выдвигал выдающийся отечественный математик и нобелевский лауреат по экономике Л.В. Канторович в анализе негидравлических транспортных систем (автомобильных и железнодорожных). Он показал, что хотя для таких систем стоимость перевозок между двумя заданными узлами зависит от выбранного маршрута, оптимальному решению соответствуют потенциальные транспортные потоки. Свойства потенциальных сил в этом решении приобретают цены доставки грузов в узлы потребления. Размерность целевой функции, как и в экстремальной хасилевской задаче расчета потокораспределения, оказывается равной размерности произведения потенциала (цены) на координату (расход), т. е. размерности экономической (денег) или физической энергий (работ). Мне пришлось присутствовать только при мимолетных встречах этих двух замечательных людей и ученых. Но и в таких встречах успело обнаружиться их глубокое уважение друг к другу. Незадолго до защиты своей докторской диссертации Виктор Яковлевич обсудил ее с Леонидом Витальевичем и получил полное одобрение последнего.

Сам Виктор Яковлевич в последние годы жизни пытался применять идеи теории цепей к анализу различных явлений, которые удавалось отображать на графах. Возникала у него и мысль о создании новой научной дисциплины. В качестве одного из возможных вариантов ее названия, если мне не изменяет память, он рассматривал “Теорию сложных структур”.

В лаборатории термодинамики ИСЭМ идеи ТГЦ использовались для вывода из гидродинамических соотношений сравнительных предельных энергетических и экономических показателей транспорта различных энергоносителей и определения экономических характеристик энергетических технологий, которые служили исходными данными в анализе технологической структуры энергосистем.

Прямым развитием идей Виктора Яковлевича об экстремальном описании задач стал перевод ТГЦ на язык термодинамики – макроскопической физической теории равновесий и экстремумов. Первоначально задачу такого перевода я поставил в связи с исследованием проблемы термодинамического моделирования механизмов физико-химических процессов на графах. Примерами таких процессов являются образование вредных веществ при сжигании топлив, загрязнение атмосферы антропогенными выбросами, распространение пожаров в зданиях и сооружениях и т. п. К решению задачи активно подключились Меренков, Сумароков и Балышев. Коллективно нам удалось в значительной мере ее решить. На мой взгляд, выполненный перевод оказался плодотворным и для развития теории цепей, и для развития равновесной термодинамики.

В термодинамическом анализе цепей прежде всего удалось осуществить завет Хасилева о физическом обосновании критериев экстремальности токо- и потокораспределений, которое было дано отдельно для активных и пассивных цепей и цепей с регулируемыми параметрами. Углубились и экстремальные, основанные на использовании универсальных положений термодинамики трактовки замыкающих соотношений (между потерями напряжения (давления) и током (потоком жидкости)), из которых как ненужные были устранены предпосылки о справедливости экспериментально установленного закона Джоуля.

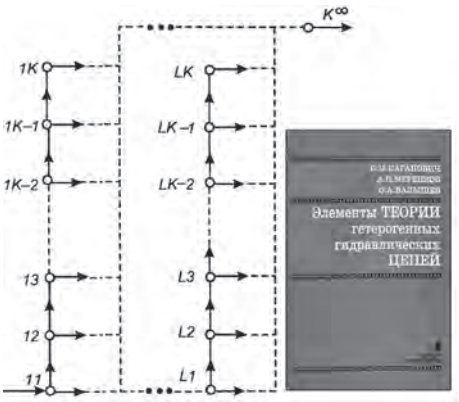


Рис. 6. Модель атмосферы в виде гидравлической цепи*.

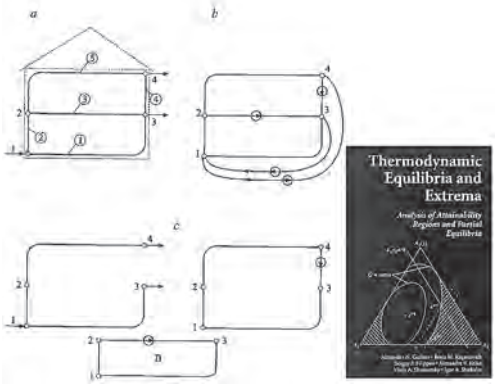


Figure 3.7. Hydraulic circuit schemes, *a*) basic calculated scheme, *b*) scheme to study relationships between Q and Hg, *c*) spanning tree and calculated circuit loops. Figures in circles are numbers of branches**.

* Каганович Б.М., Меренков А.П., Балышев О.А. Элементы теории гетерогенных гидравлических цепей. – Новосибирск: Наука, 1997. – 120 с.

** Gorban A.N., Kaganovich B.M., Filippov S.P. et al. Thermodynamic Equilibria and Extrema: Analysis of Attainability Regions and Partial Equilibria. – Springer, Berlin; Heidelberg; New York, 2006. – P. IX+282.

Применительно к задачам оптимального синтеза цепей предложено доказательство сходимости метода многоконтурной оптимизации, основанное на установлении итеративного уменьшения производства физической (при поиске потокораспределения) и экономической (при выборе диаметров трубопроводов) энтропий.

Что касается развития равновесной термодинамики в целом, то анализ цепей (трактуемых как системы с единственным видом внутрисистемного взаимодействия между потоками на отдельных ветвях) позволил установить для ничтожно малых отрезков времени взаимосвязи между законами консервативных (принципами виртуальных перемещений и наименьшего действия) и диссипативных (вторым законом термодинамики и теоремой Онсагера–Пригожина) систем. Уже в самое последнее время раскрытие этих взаимосвязей привело к созданию метода равновесного термодинамического (без использования переменной времени) построения траекторий, связанного с разбиением общей продолжительности моделируемого процесса на столь малые этапы, что для них оказываются допустимыми предпосылки о стационарности движения и представимости динамических величин (работы, теплоты, скорости, потока и др.) в виде функций состояний.

На основе изложенного в богатом наследии Виктора Яковлевича можно выделить три важнейшие составляющие:

1) теорию гидравлических цепей, представляющую единое физико-технико-экономико-математическое описание трубопроводных и других многоконтурных гидравлических систем;

2) постановку в ИСЭМ задач междисциплинарных исследований энергетических систем и технологий;

3) один из истоков моделирования на графах разнообразных физико-химических и технико-экономических систем.

Использование любых возможностей, чтобы наследие Виктора Яковлевича стало достоянием науки и применялось везде, где оно оказывается полезным или необходимым, – это долг всех, кому посчастливилось сотрудничать с ним или хотя бы познакомиться с его работами и опираться на них в своей деятельности. Таким же долгом является, конечно, и передача нравственных уроков Хасилева будущему поколению ученых.

P.S. Закончив работу над этим текстом, я понял, что необходимо упомянуть еще о взаимоотношениях Виктора Яковлевича с первым директором института Львом Александровичем Мелентьевым, о чем первоначально я умолчал. В момент создания института Мелентьев пригласил Хасилева на работу, поскольку ему был нужен инженер, способный разговаривать и сотрудничать с математиками. Однако в дальнейшем, когда инженерно-экономико-математическое направление работ СЭИ в значительной мере сформировалось, самостоятельность и влияние Виктора Яковлевича, видимо, не понравились директору, и он начал развивать в других подразделениях института работы по газо- и теплоснабжению, органично связанные с тематикой исследований Хасилева, не посоветовавшись с ним. Это не способствовало развитию дружеских связей между сотрудниками. В конце 1970-х годов в СЭИ был издан приказ о внутреннем рецензировании на-

правляемых в журналы статей. Назначенный рецензент по направлению “теплоснабжение” блокировал статьи, подготавливаемые в лаборатории Хасилева–Меренкова. Именно в этот период мне пришлось перейти из этой лаборатории в другой отдел.

После переезда в Москву Виктор Яковлевич стал научным руководителем лаборатории гидравлических цепей на общественных началах. Но это не повлияло на его активную и дружескую работу с коллегами и учениками. Подобные примеры бескорыстной работы в истории отечественной науки XX века уже имели место. После того как в конце 1930-х годов работы по цепным ядерным реакциям признали неактуальными и на их проведение не были выделены деньги, будущий главный конструктор атомных и водородных бомб Харитон и один из будущих главных теоретиков нашего атомного проекта Зельдович продолжили эти работы, не получая за них заработную плату. И когда во время Отечественной войны выяснилось, что необходимо начинать работы по созданию собственного ядерного оружия, оказалось, что для их проведения уже имеется существенный задел.

ОСНОВОПОЛОЖНИК ТЕОРИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ, ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫЙ УЧЕНЫЙ И СОЗДАТЕЛЬ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ

В.А. Стенников

Являясь руководителем отдела и научного направления, сформулированного Виктором Яковлевичем Хасилевым, я не перестаю удивляться его неординарному дару ученого-исследователя, мужеству, человеческому состраданию, непримиримости и непреклонности перед любого рода нажимом и давлением.

СТЕННИКОВ Валерий Алексеевич – заместитель директора по науке ИСЭМ, зав. отделом трубопроводных систем, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации. Основные научные интересы: методы и модели теории гидравлических цепей, оптимальное управление развитием трубопроводных систем, системные исследования в области теплоэнергетики и теплоснабжения, энергосбережении, тарифообразовании.

Я никогда не встречался с Виктором Яковлевичем, лишь однажды видел его в проеме двери кабинета Анатолия Петровича Меренкова, тогда заведующего лабораторией гидравлических и трубопроводных систем, яркого, талантливого ученика, преданного и успешного продолжателя научного направления, сформулированного В.Я. Хасилевым. Это было в 1977 г., когда я после окончания Иркутского политехнического института пришел на работу в эту лабораторию и еще не имел конкретного представления о своей будущей деятельности. Я только начинал входить в коллектив, в научную проблематику и, как все приходившие в лабораторию новые сотрудники, начинал свою работу с изучения докторской диссертации В.Я. Хасилева. Она поразила меня обилием формул, рисунков и графиков, хотя и была представлена к защите по техническим наукам. Впоследствии вся моя творческая жизнь проходила и продолжает проходить в атмосфере, в которой всегда присутствовал и присутствует профессор В.Я. Хасилев, или, как его уважительно называют коллеги, ВЯ, поэтому все мои впечатления основаны на ощущении этой атмосферы и рассказах моих коллег и прежде всего А.П. Меренкова, Б.М. Кагановича, Е.В. Сенновой, которых я в равной степени считаю своими учителями. По моим ощущениям, и сейчас и тогда – "в проеме двери" – он представляется мне как научная глыба, как величина, как источник юмора и шуток с некоторым одесским оттенком.

В те, для меня молодые, годы о нем было много разговоров: ВЯ сказал, ВЯ одобрил, ВЯ посоветовал и т. д. Говорили о семейном радушии и гостеприимстве Хасилевых, о широте интересов ВЯ, о его харизматическом характере, которым он заражал и собирал вокруг себя замечательное, неординарное окружение. Эти впечатления воссоздали во мне живой образ Виктора Яковлевича. Он представляется мне как большой человек с взлохмаченной шевелюрой, мимо которого нельзя было пройти, не обратив внимания. Он обладал энциклопедическими знаниями, природным даром рассказчика и способностью увлечь собеседника разговором на любые темы. Имея неиссякаемое чувство юмора, он по любому случаю мог вставить искрометную шутку, причем не всегда с предсказуемым результатом.

Готовый всегда прийти на помощь, Виктор Яковлевич одинаково чутко и с уважением относился к людям независимо от того, кто перед ним находится – студент, молодой человек или уже именитый ученый, начальник или подчиненный. Главнее всего для него было – преданность делу. Он искренне считал, по крайней мере по его поведению это чувствовалось, что только духовное единение, стремление и желание вместе делать общее дело способны обеспечить дисциплину, порядок, ответственность и добропорядочность человеческих отношений в творческом коллективе. Этот принцип им поддерживался и на работе, и вне рабочей обстановки. Такой подход к организации научной деятельности не потерял актуальности и сегодня. Более того, необходимость создания ауры этого принципа творческой непринужденности, самоорганизации и дисциплины в настоящее время ощущается еще более остро.

Без сомнения, В.Я. Хасилев был мужественным человеком, без какой-либо мысли о сделке с совестью, на что судьба его испытывала неоднократно. В силу определенных политических событий в начале 1950-х годов ему пришлось отказаться от защиты уже подготовленной докторской диссертации, уволиться из ЭНИНа, уйти из Академии наук СССР на преподавательскую работу в вуз.

В.Я. Хасилев никогда не укладывался в рамки политической конъюнктуры, поэтому его величайший вклад в отечественную науку не получил должной оценки научной общественности и не был по достоинству отмечен. Даже в современной, казалось бы, уже демократической стране имя В.Я. Хасилева, как и его учителя Б.Л. Шифринсона и других больших ученых (например, Н.И. Дунаевского), обеспечивших создание и развитие отечественного теплоснабжения и теплофикации, отсутствует в книге, посвященной 100-летию теплоснабжения в России. И это несмотря на то, что Б.Л. Шифринсон был первым главным инженером Московской теплосети, создателем двух кафедр (в МЭИ и МИСИ), создателем методологии оптимального проектирования теплоснабжающих систем, действующей в проектной практике до последнего времени. В частности, все номограммы для гидравлического расчета и выбора диаметров теплопроводов, подходы к определению конфигурации теплоснабжающих систем, а также многое другое были разработаны на основе методической базы, созданной Б.Л. Шифринсоном*. Развивая его учение, Виктор Яковлевич создал научно обоснованную систему взглядов в виде строгого математического описания, методов расчета, оптимизации и обобщения закономерностей функционирования и развития трубопроводных и гидравлических цепей различного назначения для нефте-, газо-, тепло-, водоснабжения, кондиционирования, вентиляции. Эта система научных взглядов была сформулирована и получила обобщение в виде теории гидравлических цепей (ТГЦ), общепризнанной и в России, и за рубежом. Об этом свидетельствуют успешно прошедшие испытание временем фундаментальные научно-методические разработки, применяемые в различных областях энергетики, и программные комплексы для расчета и оптимизации трубопроводных систем различного назначения, имеющие важное практическое значение и широко применяемые в России и за рубежом. Более 50 лет в Институте систем энергетики им Л.А. Мелентьева СО РАН существует и развивается научная школа по теории гидравлических цепей, работающая по всем направлениям ТГЦ, которая представлена не только отделом трубопроводных систем ИСЭМ, но и многими последователями в других научных, проектных организациях и вузах России и стран СНГ. Более 20 лет успешно действует всероссийский с зарубежным участием научный семинар “Математическое моделирование трубопроводных систем”, организованный учеником В.Я. Хасилева и соавтором “теории гидравлических цепей” А.П. Меренковым.

---

* Сведения о Борисе Львовиче Шифринсоне приведены ниже, в материале А.А. Кошелева.

Однако все это – мои личные впечатления и “объективная информация”. В основном я узнавал В.Я. Хасилева по его публикациям, по тому гениальному и действительно неисчерпаемому его творческому наследию, которое он нам оставил и которое будет вечным, позволяющим извлекать ценное и создавать новое.

Творческую деятельность Виктора Яковлевича можно разделить на два основных этапа: период до СЭИ – первый этап, период в СЭИ и после СЭИ – второй этап.

Первый период творческой деятельности В.Я. Хасилева был максимально связан с проблемами теплоснабжения, что соответствовало его вузовской специальности и первому месту работы в Теплосетьстрое, а затем в других организациях Москвы – научных, проектных, учебных. В этот период жизнь свела его с ярчайшими представителями энергетической науки и практики, с одной стороны, обладателями высочайшего творческого потенциала, а с другой – высоконравственными, высокоэрудированными, интеллигентными, образованными людьми. Некоторые из них заслуженно представлены в этой книге.

Общение и работа со столь неординарными личностями, а также постоянное нахождение в атмосфере активного формирования и развития теплоснабжения страны привели Виктора Яковлевича к постановке и оригинальным решениям новых задач. Работая с Б.Л. Шифринсоном, он подключается к исследованию проблемы выбора оптимальной конфигурации (трассы) тепловой сети. Начальный этап становления и развития этих исследований из-за сложности задач характеризовался применением аналитических методов, основанных на сопоставлении ряда заранее намечаемых вариантов систем древовидной структуры. Это было естественно связано с реальными потребностями вновь возникающих, сравнительно небольших по масштабам и простых по конфигурации систем. Экономически оптимальными для таких систем являются схемы без контуров. В работах, посвященных данной проблеме, было исследовано влияние геометрической формы района теплоснабжения, числа магистралей и других факторов на выбор конфигурации сети. В них было показано существенное влияние на конфигурацию сети городской застройки, рельефа местности, естественных и искусственных преград. Было доказано, что в общем случае минимальная по длине сеть не всегда является экономически наивыгоднейшей. Эти особенности привели к тому, что сформулированная задача выбора оптимальной конфигурации сети как поиск сети минимальной длины, связывающей узлы размещения источников и потребителей, не получила заметного применения. Вместе с тем эти исследования привели к физико-математическому и технико-экономическому пониманию данной задачи, необходимости поиска новых методов ее решения и формулированию конкретных рекомендаций для проектной практики.

Стремление к созданию экономичных, эффективных теплоснабжающих систем уже в 1930-е годы привело к выводу о целесообразности объединения нескольких источников тепла (ИТ) для совместной работы на общие тепловые сети. Первый такой проект был выполнен для теплоснаб-

жения Москвы. По ряду причин проект не был реализован, но несомненная полезность работы состояла уже в том, что были сформулированы задачи, которые требовали решения.

Остро чувствуя эти проблемы, В.Я. Хасилев посвятил большое число публикаций вопросам совместной работы нескольких ИТ. Он показал, что экономия топлива может быть достигнута при объединении на параллельную работу не только ТЭЦ с разнотипным оборудованием, но и ТЭЦ с однотипным оборудованием в результате увеличения суммарной загрузки отборов турбин при разных значениях коэффициента теплофикации у совместно работающих станций. Была обоснована энергетическая и экономическая эффективность совместной работы ИТ, предложен ряд схем подключения потребителей и источников тепла к общим тепловым сетям, обоснованы наиболее эффективные решения, рассчитаны температурные графики. При сохранении постоянного расхода воды в распределительных тепловых сетях было предложено количественно-качественное регулирование отпуска тепла от источников в транзитные и магистральные сети. Для систем с совместно работающими ИТ были разработаны наивыгоднейшие режимы отпуска тепла, включая последовательность загрузки турбин и котлов, параллельно работающих ТЭЦ и котельных, температурные графики и графики регулирования напоров (расходов) на коллекторах источников. В рамках этого цикла работ В.Я. Хасилевым были поставлены и решены задачи расчета гидравлических режимов функционирования теплоснабжающих систем (ТСС). Были проанализированы гидравлические режимы для различных вариантов схем параллельной работы ИТ, исследованы взаимосвязи гидравлических режимов с режимами работы оборудования источников, вопросы энергетической и экономической эффективности совместной работы ТЭЦ и котельных. С целью комплексной оценки эффективности функционирования теплоснабжающей системы Виктор Яковлевич предложил и разработал методику энерго-экономических расчетов различных вариантов параллельной работы ИТ. Научное обобщение результатов исследований по проблеме совместной работы ИТ на единые тепловые сети легло в основу подготовленной В.Я. Хасилевым первой докторской диссертации, которой не суждено было состояться в связи с политическими событиями, происходившими тогда в стране.

Достойным продолжением исследований Б.Л. Шифринсона стали работы В.Я. Хасилева, связанные с технико-экономическими расчетами тепловых сетей. Наиболее яркую характеристику этим работам дал Б.М. Каганович в своих воспоминаниях*. В.Я. Хасилевым были всесторонне проанализированы особенности задач оптимального проектирования ТСС, показан их выпукло-вогнутый характер, обоснована пологость экономического функционала вблизи точки оптимума, исследовано влияние технических параметров и физических свойств на экономические характеристики тепловых сетей, сформулированы практические рекомендации. Всему этому дана искусная математическая интерпретация постановок и методов

* См. наст. издание, с. 23–40.

решения технико-экономических задач, выводов и обоснований получаемых результатов.

Особо следует отметить оригинальность постановок и неординарность подходов к решению задач оптимального проектирования ТСС. Широкий спектр выполненных В.Я. Хасилевым за этот период работ, их высокая научно-практическая значимость и реальная востребованность уже могли бы обеспечить достойный итог творческой деятельности любого исследователя.

Второй творческий период В.Я. Хасилева условно совпадает с его работой в Иркутске (1961–1968 гг.) и продолжением научной деятельности в Москве, когда он на общественных началах оставался научным руководителем исследований трубопроводного направления в СЭИ.

Масштабное развитие теплоснабжающих и других трубопроводных систем к этому времени ставило новые, все более сложные задачи, которые не могли быть решены аналитическими методами. Положение осложнялось тем, что появлялись новые методические подходы, преимущества и применимость которых были бездоказательными. Теория и методы расчета различных трубопроводных систем развивались независимо друг от друга и основывались на ручном счете. Появление электронно-вычислительных машин (ЭВМ) требовало не просто переложения ручных методов расчета в программы для ЭВМ, а глубокого знания предмета исследований, умения описывать его физические, технические и экономические свойства в математической форме, а также понимания самих математических методов. С этого и началось зарождение ТГЦ как научно-технической дисциплины и фундаментальной области научных исследований. Уже в самом начале становления там органично сочетались физико-технические аспекты, описывающие общие закономерности трубопроводных систем (ТПС), и технико-экономические основы управления их развитием и функционированием. Создание теории гидравлических цепей, принципиальные положения которой легли в основу второй докторской диссертации “Элементы теории гидравлических цепей”, является важнейшим научным достижением и наследием В.Я. Хасилева.

При создании ТГЦ использовался богатый предыдущий научно-методический и практический опыт многих ярких исследователей, включая самого В.Я. Хасилева, а также учитывалась преемственная связь с теорией линейных электрических цепей, в отличие от которых гидравлические цепи обладают существенной нелинейностью. Теория гидравлических цепей строилась на общих закономерностях, присущих их различным типам, охватывающих системы тепло-, водо-, нефте-, газоснабжающие, вентиляции, кондиционирования. В дальнейшем приложениями ТГЦ стали системы открытых каналов для переброски части стока рек*, системы охлаждения двигателей, система кровообращения человека, система питания лиственных деревьев и др.

---

* Подробно об этом в воспоминаниях В.Р. Чупина.

Теория создавалась как замкнутая самодостаточная система знаний о ТПС различного назначения, имеющая междисциплинарный и межотраслевой характер, она стала новым направлением системных исследований в энергетике. Отличительная черта теории заключается в том, что она является не механическим набором методов и средств для решения отдельных задач, а представляет систему закономерностей, целостную научную основу для описания свойств изучаемых объектов, методов решения задач функционирования и обоснования направлений реконструкции и развития гидравлических систем. ТГЦ искусно сочетает в себе, с одной стороны, знания физики, гидравлики, термодинамики, механики, математики, информатики, техники, экономики и других наук, с другой – ориентирована на множество приложений в сфере энергетики, коммунального комплекса, инженерных коммуникаций и инфраструктуры зданий, медицины, биологии и т. д. Более чем пятидесятилетний период существования ТГЦ показал, что это не застывшая догма, а постоянно развивающаяся система знаний и научно обоснованных представлений. В этом жизненная сила и живучесть ТГЦ.

Основываясь на общих для трубопроводных систем закономерностях, на теоретических положениях математического аппарата, современных методах вычислительной математики, математического программирования и использования ЭВМ, В.Я. Хасилев сформулировал общие положения теории, проанализировал области применения существовавших в то время методов, заложил основы использования векторных и матричных

Директор ИСЭМ Н.И. Воропай и губернатор Б.А. Говорин с лауреатами Премии губернатора Иркутской области по науке и технике Т.Б. Ощепковой, В.В. Мирошниченко, В.А. Стенниковым и П.А. Соколовым, 2005 г.

обозначений, а также теории графов для описания схем движения потоков энергоносителей (жидкости, газа) и методов их расчета. Это было представлено в виде общих положений алгебры гидравлических цепей, которые получили широкое применение для описания, анализа и расчетов ТПС.

Виктор Яковлевич с присущим ему творческим началом ввел универсальные для всех ТПС понятия, определения и терминологию, дал содержательное описание и предложил классификацию гидравлических цепей по типам параметров, элементов и систем.

В.Я. Хасилев проанализировал и раскрыл математическое содержание и ограниченность известных методов расчета гидравлических цепей. Для предложенных классов ГЦ он поставил задачи гидравлического расчета, разработал и развил оригинальные методы их решения и дал геометрические интерпретации гидравлических режимов. Математическое описание (модели) гидравлических цепей, задачи гидравлического расчета и методы их решения составили фундамент ТГЦ. Они имеют не только самостоятельное значение, но и являются основой для решения задач управления функционированием и развитием ТПС.

В.Я. Хасилев первым сформулировал и предложил красивую, оригинальную схему решения обратных задач, сложных как по постановке, так и по математическому анализу, применительно к распределенным системам сетевой структуры. Идея достаточно прозрачна и тривиальна: определить расходы (потоки) на ветвях (участках) гидравлической цепи, имея минимальное количество измерений. Однако реализация этой идеи представлялась сложной с вычислительной точки зрения. Решение этой задачи позволило сформулировать проблему идентификации трубопроводных систем, которая активно развивается до настоящего времени и становится все более востребованной.

Значительное развитие в рамках ТГЦ получили методы оптимизации проектируемых и расширяемых трубопроводных систем. Среди них выделяются методы поиска оптимальной конфигурации ТПС, получившие в дальнейшем название задач схемно-структурной оптимизации, и оптимизации параметров ТПС, названные задачами схемно-параметрической оптимизации.

Сложность проблемы выбора оптимальной конфигурации ТПС была отмечена выше. В.Я. Хасилевым в рамках ТГЦ были выполнены исследования области допустимых решений данной задачи с целью получения оптимального или близкого к нему варианта, было показано, что решение задачи выбора конфигурации возможно лишь на строгой математической основе, позволяющей осуществлять формализованный перебор большого числа возможных вариантов структуры систем. При относительной простоте содержательной формулировки, задачи схемно-структурной оптимизации ТПС являются сложными многоэкстремальными сетевыми задачами невыпуклой минимизации. Они имеют большую размерность, сложную систему ограничений и представляют трудный объект для приложения математических методов, особенно когда речь идет об их вычислительной и практической эффективности. Это обусловлено прежде всего тем, что

экономический функционал в этих задачах даже в случае вновь проектируемых систем имеет многоэкстремальный характер, поскольку он является выпуклым по потерям давления на участках сети и вогнутым по расходам. Вместе с тем эти задачи имеют большую значимость, поскольку определяют не только структуру систем, их тип, масштабы, но и во многом их параметры. Экономический эффект от правильного выбора схемы и структуры системы, как правило, больше, чем от оптимизации ее параметров.

Это направление получило обобщение в виде подхода, основанного на предварительном задании избыточной проектной схемы, которая представляет собой предварительно подготовленную расчетную схему системы, в виде совокупности всех допустимых вариантов конфигурации сети и размещения источников с учетом ограничений по прокладке возможных трасс сети и площадкам для источников.

В.Я. Хасилевым вместе с его последователями для решения задач схемно-структурной оптимизации теплоснабжающих систем был предложен метод, базирующийся на поиске наивыгоднейшего потокораспределения на заданной избыточной схеме системы. Идея метода заключается в целенаправленном переборе вариантов конфигурации сети в виде деревьев избыточной схемы, в процессе которого осуществляется их локальная оптимизация путем поконтурного улучшения. В результате выделяется оптимальная подсеть в виде дерева или леса деревьев. На “лишних” ветвях (хордах) получаются нулевые расходы, и ветви исключаются из решения. Такой подход в полной мере учитывает сетевую специфику и множественность вариантов структуры и схемы системы. Он одинаково хорошо обеспечивает выбор решений в области как централизованных, так и децентрализованных систем.

В.Я. Хасилев впервые комплексно сформулировал проблему надежности ТПС, решение которой до этого осуществлялось повышением качества элементов, что так и не было реализовано. Продолжающийся рост масштабов систем, их мощности и ограниченные технические возможности по повышению элементной надежности привели Виктора Яковлевича к мысли о необходимости системного – структурного и параметрического – резервирования ТПС. Вместе с коллегами им были предложены основополагающие принципы и методы комплексной оценки надежности систем, научная оригинальность и высокая практическая значимость которых заключается в том, что они предполагают анализ надежности каждого конкретного потребителя (так называемая векторная надежность) с учетом его особенностей и требований. Они ориентированы на векторную надежность относительно каждого узла-потребителя, учитывающую его индивидуальные особенности и требования по уровню комфорта, и включают несколько уровней снабжения потребителей. Эти уровни подразделяются на расчетный, определяемый коэффициентом готовности, и ряд пониженных – аварийных, определяемых вероятностью безотказной работы. Предложенный и развиваемый в рамках ТГЦ комплексный подход к количественной оценке надежности ТПС учитывает сетевую структуру систем, особенности их аварийного резервирования и различные режимы работы.

В рамках этих исследований были предложены основополагающие принципы нагруженного и ненагруженного резервирования. Эксплуатация системы в режиме нагруженного резервирования соответствует кольцевой (замкнутой, или “обезличенной”) схеме, а ненагруженного резерва – древовидной (разомкнутой, или “секционированной”) схеме. Показаны преимущества и недостатки “обезличенной” и “секционированной” схем эксплуатации ТПС, раскрыта сущность конфликта нагруженного резервирования. Она заключается в том, что при переходе к кольцевой (“обезличенной”) схеме эксплуатации системы, с одной стороны, понижается надежность расчетного энергоснабжения отдельных ее узлов-потребителей в нормальных режимах эксплуатации, но с другой – повышается надежность энергоснабжения в аварийных ситуациях. Само существование конфликта резервирования обусловлено появлением в резервированной системе дополнительных элементов, создающих новые источники потенциальных отказов. Проведенные исследования позволили сформулировать основные принципы построения надежных систем, основанные на выделении резервируемой и нерезервируемой частей системы, а также перейти к определению параметров ее участков, обеспечивающих пониженное снабжение потребителей в аварийных ситуациях. С этой целью была введена так называемая пониженная норма аварийной подачи энергоносителя, обеспечивающая минимально необходимые требования потребителей. Эти работы, развитые его последователями, стали основой методических положений, применяемых в современной практике проектирования теплоснабжающих систем.

Выполненные В.Я. Хасилевым исследования по расчету гидравлических режимов, по схемно-структурной и схемно-параметрической оптимизации ТПС, оценке надежности в дальнейшем позволили перейти к постановке и решению задач оптимального синтеза трубопроводных систем с учетом требований надежности.

Вся творческая деятельность В.Я. Хасилева в СЭИ была посвящена исследованиям фундаментального научного направления – теории гидравлических цепей, которое он сформулировал, создал, развивал и оставил после себя. Междисциплинарный характер созданной В.Я. Хасилевым и его учениками теории, органично сочетающей физические, математические, технические и экономические науки, является принципиально новым направлением системных исследований, развиваемых в ИСЭМ.

Время многое стирает из памяти, однако не вызывает сомнения то, что основной научный результат, главное дело В.Я. Хасилева – теория гидравлических цепей, которому он посвятил свою творческую жизнь, продолжает жить, развивается, находит широкое практическое применение и уже давно переросло границы нашей страны, а творческая школа, которую он создал, успешно продолжает расти, расширяться и давно вышла за пределы нашего института. Все это является живой памятью профессору В.Я. Хасилеву.

РАЗМЫШЛЕНИЯ О В.Я. ХАСИЛЕВЕ, О НАС И НАШЕЙ РАБОТЕ

Е.В. Сеннова

Очень трудно через столько лет детально вспомнить цепь событий жизни и творческой деятельности Виктора Яковлевича Хасилева, нашего любимого и глубокоуважаемого Учителя. Но остались его яркий образ, впечатления от общения, его рассказы, одесский юмор, высказывания о разных жизненных ситуациях.

Впервые Виктора Яковлевича я увидела в СЭИ (на Киевской, 1) в 1965 г., где за интегратором у А.А. Кошелева начала писать свою первую программу для ЭВМ, дорабатывая свой срок на Иркутском авиазаводе (тогда он назывался машиностроительным)*. Кстати, на заводе я впервые увидела Льва Александровича Мелентьева (он приезжал туда по линии "связи науки с производством") и даже задала ему вопрос, что-то о теплоустойчивости зданий. Он мне ответил, что этими вопросами занимаются ребята у него в институте и посоветовал мне к ним прийти. Об этих "ребятах", А.А. Кошелеве и К.С. Светлове, я уже знала от декана промтеплоэнергетического факультета Ивановского энергетического института (мы все трое закончили этот факультет), который тоже направлял меня в СЭИ.

Когда я была представлена Виктору Яковлевичу и был согласован мой прием на работу в СЭИ, то ВЯ предложил мне выбор: К.С. Светлов или А.А. Кошелев. Я выбрала Кошелева – не по личности (я их обоих тогда не знала), а по тематике – он занимался тепловыми режимами, К.С. Свет-

СЕННОВА Елена Викторовна. Проработала в СЭИ около 40 лет, при этом во многом была и остается первой. Она первая в СЭИ женщина – доктор технических наук, первая женщина – зав. лабораторией, первая женщина – зав. отделом, первая женщина – руководитель научной школы, первая женщина – руководитель крупнейшего всероссийского (с международным участием) научного семинара. Перейдя в 2003 г. на работу в ОАО "Промгаз" (ныне ОАО "Газпром – Промгаз") и быстро вписавшись в его творческий коллектив, она занялась новым для себя направлением "Комплексное энергоснабжение регионов России на основе рациональной структуры топливно-энергетических балансов и экономического уровня газификации". Достигнув значительных успехов, она в составе авторского коллектива стала лауреатом премии Правительства РФ в области науки и техники 2011 г.

* В очерке о Е.В. Сенновой, помещенном в книгу "Воспоминания и размышления" (2010 г.), сказано, что в 1963–1966 гг. она работала инженером-конструктором в отделе главного энергетика Иркутского завода тяжелого машиностроения.

лов – гидравликой. Хотя потом, с легкой руки Анатолия Петровича Меренкова, все получилось наоборот.

Виктору Яковлевичу я поначалу явно “не показалась”, возможно, из-за того, что пришла к нему по рекомендации Л.А. Мелентьева, с которым у ВЯ были непростые отношения. Я надеюсь, что впоследствии ВЯ изменил свое отношение ко мне. Было много встреч, разговоров, обсуждений – в СЭИ, у Меренковых, в Москве у Виктора Яковлевича дома и в Плехановском институте. Когда возникла идея (по-моему, у К.С. Светлова) “отдать” меня в аспирантуру к С.А. Чистовичу, ВЯ сказал: “Мы сами с ней справимся”, и я стала его аспиранткой. Наверное, ВЯ принял за протекцию тот совет Л.А. Мелентьева, который был получен мною при случайной, летучей встрече с директором СЭИ. Через два года – в 1975 г. состоялась защита в Новосибирске. По этому поводу С.В. Сумароков выдал стихотворные строчки: “Всем, всем, всем! Говорит лаб. семь! В ее истории в первый раз Женщина-кандидат родилась”. До этого у ВЯ защитилась Олеся Некрасова, но она уже была в Москве.

Понять, что В.Я. Хасилев – настоящий ученый, было очень просто. Я, еще почти не понюхав науки, испытала большое наслаждение от чтения его докторской диссертации. Я прочитала ее запоем, сидя дома с больным ребенком. Этого оказалось достаточным, чтобы навсегда прикипеть к его и А.П. Меренкова теории гидравлических цепей – ТГЦ.

Подкупал его широчайший научный кругозор, какая-то жажда генерации новых идей, постоянное творческое сидение в Ленинке. И большая скромность и требовательность, в первую очередь к своим научным трудам, естественно, и к нашим тоже. Скромнейшее название блестящей докторской диссертации – “Элементы теории гидравлических цепей”, в которой были не только заложены сами основы теории, но поставлено и уже решено множество сложных задач. К большому сожалению, ВЯ не стал издавать ее в виде монографии, все из-за той же требовательности.

ВЯ был противником большого числа публикаций и говорил нам примерно так: “Не засоряйте лишний раз окружающую среду, она и так уже засорена. Не повод писать статью, если вы что-то узнали”. Я впитала это на всю жизнь и часто удивляюсь, каким мелким вопросам могут посвящаться статьи в наших научных изданиях.

Защита докторской диссертации, 1991 г.

В 1978 г. была опубликована первая монография по ТГЦ “Методы и алгоритмы расчета тепловых сетей” под редакцией В.Я. Хасилева и А.П. Меренкова. В нее, по настоянию ВЯ, были включены не только постановки и методы решения задач гидравлического расчета и оптимизации тепловых сетей, но и

программы для ЭВМ с инструкциями по их применению. На какой-то международной конференции по теплоснабжению я спросила коллег одной из европейских стран народной демократии, какими программами они пользуются для расчетов тепловых сетей. Они ответили: “Вашими, из вашей книги”.

Именно из-за чрезвычайной требовательности Виктора Яковлевича только в 1985 г., когда его уже не стало, была издана ГЛАВНАЯ КНИГА, о которой ВЯ мечтал и которую они с коллегами много и досконально обсуждали: А.П. Меренков, В.Я. Хасилев “Теория гидравлических цепей”.

Над созданием ТГЦ как межотраслевой научно-методической базы для моделирования, расчета, оптимизации и оценивания состояния гидравлических цепей и трубопроводных систем разного типа авторы книги начали работать буквально с момента создания СЭИ.

Вспоминая Анатолия Петровича Меренкова, мы часто говорим, что ему повезло с учителями, имея в виду в первую очередь ВЯ. Но и ВЯ повезло с таким сначала суперучеником, а потом соратником. Конгломерат двух блестящих ученых – глубочайшего и к тому же “математизированного” инженера и талантливого математика – дал блестящие результаты. Создана новая оригинальная научная дисциплина “Теория гидравлических цепей”, получившая признание в стране и за рубежом. Сформирована и продолжает развиваться научная школа, в рамках которой защищено 42 докторские и кандидатские диссертации. Успешно работает всероссийский (и шире) семинар “Математические модели и методы анализа и оптимального синтеза развивающихся трубопроводных и гидравлических систем”.

ВЯ очень внимательно и с большой требовательностью относился к формированию коллектива – это должны быть единомышленники. И они находились, очень уж притягательными были и личность лидера, и атмосфера в коллективе, и решаемые сложные задачи. Виктор Яковлевич очень ценил хороших людей, говорил: “Способных людей больше, чем хороших, поэтому хороших надо беречь”.

Может показаться, что я рассказываю обо всем в излишне превосходной степени. А как же еще рассказывать о превосходном уникальном человеке? Все так и было.

Тепло, по-отечески и очень деликатно ВЯ относился ко всем сотрудникам лаборатории, беспокоился, чтобы их интересы не ущемлялись кем-либо, иногда допуская “сильные” выражения, например: “Я не хочу, чтобы Лена служила кому-то подстилкой”. Он мог спросить: “Миша (к примеру), вы планируете завтра быть на работе?” Ну, а мы все его обожали. Защитившему диссертацию вручалась деревянная “Медаль Хасилева”: с одной стороны вырезан шаржевый портрет ВЯ, с другой – водопроводный кран с каплей воды и надписью по латыни “Из капли каждому свое”*. Если мы отмечали какой-то праздник в отсутствие ВЯ, мы “сажали” на стул куртку или пальто с табличкой “шеф”. В Москве мы всегда бывали у него дома, общались с его женой – Аллой Филипповной, дочерью Верой, внуком Женей.

Последний раз я видела Виктора Яковлевича при более чем печальных обстоятельствах, он лежал в Институте Склифосовского с ногой, под-

* Изображение медали есть в мемуарах О.А. Балышева.

вешенной к потолку (перелом шейки бедра). Из больницы он вышел, но на следующий день дома умер.

Виктору Яковлевичу я обязана основным делом моей научной деятельности – исследованиями надежности теплоснабжающих систем. Тема моей кандидатской диссертации – "Методика анализа надежности развивающихся систем теплоснабжения", докторской – "Оптимизация развития и реконструкции теплоснабжающих систем с учетом надежности".

Впервые общие принципы расчета надежности были сформулированы в 1972 г. в статье В.Я. Хасилева и М.К. Такайшвили "Об основах методики расчета и резервирования тепловых сетей" (Теплоэнергетика, № 4). Методика базировалась на векторной оценке надежности системы с помощью узловых вероятностных показателей (сначала вероятности безотказной работы, затем еще и коэффициента готовности) и на обеспечении пониженного нормативного уровня теплоснабжения в аварийных ситуациях путем резервирования магистралей тепловой сети. На мой взгляд, логичность и привлекательность такого подхода к системам сетевой структуры очевидны, хотя споров было много. Этот подход получил развитие в работах СЭИ, ВНИПИэнергопрома и других организаций.

В 1979 г. на заседании семинара Ю.Н. Руденко по надежности больших систем энергетики на тему "Показатели надежности систем энергетики и области их применения" я сделала доклад "Выбор показателей надежности для решения задач оптимального проектирования теплофикационных систем". Он был построен на идеях ВЯ о поузловой оценке надежности систем развитии этих идей с продвижением в сторону конкретных алгоритмов и учета специфики систем. Но, повторяю, основная идея – Виктора Яковлевича! Неожиданно доклад высоко оценил один из асов в теории надежности, участник нашего семинара Игорь Алексеевич Ушаков, который даже снял свой доклад, как менее конкретизированный.

Нашлись и противники векторной оценки надежности систем теплоснабжения. Это и послужило причиной вызова меня в ВАК в процессе утверждения кандидатской диссертации. Членом комиссии был профессор МИСИ Александр Александрович Ионин, в то время идейный противник ВЯ, настаивающий на оценке надежности теплоснабжающей системы лишь одним системным показателем. Готовясь к походу в ВАК, мы с ВЯ тщательно проработали ответы на замечания эксперта в многочисленных вариантах, стараясь убедительно показать обоснованность нашего подхода. Не знаю, каким образом, но для меня все кончилось благополучно. Потом через много лет мы с А.А. Иониным нашли точки взаимодействия, и его подход был включен в справочник по надежности систем теплоснабжения. Правда к тому времени он дополнил свою методику оценкой ряда узловых показателей.

Справочник "Надежность систем теплоснабжения" под редакцией Е.В. Сенновой (я этим горжусь) вышел из печати в 2000 г. Это четвертый том четырехтомного справочника "Надежность систем энергетики и их оборудования" под общей редакцией академика Ю.Н. Руденко.

В справочнике собрана практически вся накопленная к тому времени статистика по отказам элементов систем (или по крайней мере бóльшая ее

часть) и получены диапазоны характеристик надежности этих элементов. Здесь идеи В.Я. Хасилева получили развитие и логическое завершение в виде моделей и алгоритмов расчета показателей надежности, комплекса моделей с временным резервом и алгоритмов их взаимоувязки для построения теплоснабжающих систем с требуемым уровнем надежности, состава и численных значений нормативов надежности.

Жизнь полностью подтвердила конструктивность подхода В.Я. Хасилева к проблеме надежности теплоснабжающих систем. СНиП 41-02-2003 "Тепловые сети" рекомендует оценивать надежность теплоснабжения "по трем показателям (критериям): вероятности безотказной работы, коэффициенту готовности, живучести. Расчет показателей системы с учетом надежности должен производиться для каждого потребителя" (т. е. узла).

Нормативы по резервной подаче теплоты потребителям в аварийных ситуациях включены еще в предыдущую редакцию – СНиП 2.04.07-86* "Тепловые сети".

О других направлениях творчества Виктора Яковлевича написано другими его учениками в других статьях этой книги.

УЧЕНЫЙ – КЛАССИК

Л.С. Беляев

С Виктором Яковлевичем Хасилевым – создателем теории гидравлических цепей – мы работали в "непересекающихся" научных областях. Как гидроэнергетик, я имел представления о гидравлике, но одно дело – гидроэлектростанции, и совсем другое – трубопроводные системы. Первое время мы общались лишь на собраниях, заседаниях, семинарах.

Более глубоко ознакомиться с научными трудами Виктора Яковлевича и близко

БЕЛЯЕВ Лев Спиридонович, главный научный сотрудник ИСЭМ, доктор технических наук, профессор. После окончания Московского энергетического института работал на строительстве Иркутской и Сталинградской ГЭС. Единственный из сотрудников ИСЭМ, принятый на работу в 1960 г. Занимал пост заместителя по науке всех четырех директоров института. Среди направлений исследований – оптимизация, проектирование и прогнозирование развития электроэнергетических систем.

пообщаться с ним самим мне довелось в 1966 г. при редактировании сборника работ СЭИ "Методы математического моделирования в энергетике". Главным редактором сборника был Л.А. Мелентьев, он определял состав включаемых работ и их авторов, общее содержание и взаимную увязку работ и другие крупные вопросы. Я же, как второй редактор, считал своей задачей сделать материал понятным для широкого круга читателей, принимая себя за "типичного" представителя этого круга. Поэтому я внимательно читал представленные рукописи, отмечал непонятные мне места и обсуждал их потом с авторами. Запомнилось отношение Виктора Яковлевича к моим замечаниям. В сборнике были две его работы: "Вопросы математического моделирования и оптимизации гидравлических систем с применением ЭЦВМ" и "Гравитационные гидравлические цепи с распределенными параметрами и методика их расчета". В отличие от многих других авторов, с которыми приходилось "жарко" дискутировать, Виктор Яковлевич очень спокойно воспринял замечания и подправил текст. А ведь я по сравнению с ним был совсем еще "юный" кандидат в научные работники. Такое редактирование позволило мне лучше понять суть идей и методов теории гидравлических цепей.

Способствовал этому еще один запомнившийся эпизод. Возвращались мы из Москвы втроем – Виктор Яковлевич, Анатолий Петрович Меренков и я. Рейс задержали, и у нас оказалось свободное время. Довольно назойливо я постарался использовать его для "повышения квалификации" и завел разговор по неясным для меня вопросам из работ Виктора Яковлевича. Анатолий Петрович также принял участие. Вопросы были непростые, и прояснение их "на словах", без бумаги или доски с мелом требовало большого напряжения ума. Однако Виктору Яковлевичу удалось просветить меня за несколько часов.

По возвращении в Иркутск он даже выразил удовлетворение нашим разговором, т. е. разговор был для него тоже интересным.

Кроме описанных прямых контактов я достаточно регулярно следил за стремительным развитием работ Виктора Яковлевича в институте, ростом числа и квалификации сотрудников его лаборатории, участвовал в заседаниях ученого совета и некоторых семинарах с их докладами. Впечатляла смелость в заявке (претензии) на разработку новой теории гидравлических цепей по аналогии со знаменитой теорией электрических цепей. Разработка такой теории мне представлялась тем более трудной, что электрические цепи "линейные" – перепад напряжения в ветви прямо пропорционален силе токе, а гидравлические цепи "квадратичные" – перепад давления зависит от расхода в ветви, возведенного во вторую степень. Несмотря на новизну и трудности, теория гидравлических цепей была создана в нашем институте! Большую роль в этом сыграло то, что рядом с Виктором Яковлевичем оказался такой талантливый математик, как Анатолий Петрович Меренков.

Создание, развитие и практические применения теории Виктора Яковлевича сформировали одно из главных направлений научных исследований института. Подтвердилась справедливость утверждения: "Нет ничего

практичнее, чем хорошая теория". Уже полвека эта теория составляет основу для работ института по оптимизации, автоматизации и компьютеризации управления развитием и функционированием самых разнообразных трубопроводных (и не только) систем: тепло,- газо,- водо,- нефтеснабжения, вентиляционных и др. Защищены десятки кандидатских и докторских диссертаций, образован отдел трубопроводных систем, один из самых крупных в институте.

Виктора Яковлевича Хасилева я отношу к самым большим ученым, которых институту посчастливилось иметь в своем составе. Притом ученым классическим – он не отвлекался на административные дела (не считая руководство лабораторией), он занимался наукой. Широкая эрудиция, глубочайшее знание предмета, отличная математическая подготовка, творческое мышление, педагогические способности – все это, дополняемое дружескими отношениями с людьми и чувством юмора, позволило Виктору Яковлевичу создать его теорию и сформировать новую область научных исследований.

Виктор Яковлевич был очень интересным собеседником, причем как истинный одессит разбавлял беседу шутками и действительно смешными (не "плоскими") анекдотами. Запомнилась одна из его шуток. Очередной научный отчет, сильно математизированный, передали, кажется, в Промэнергопроект, а там его направили на рецензию специалисту, который считался у них самым сильным математиком. Почему? Оказывается, он мог в уме перемножать большие числа!

Приходится сожалеть, что Виктору Яковлевичу по семейным обстоятельствам пришлось рано (в 1968 г.) вернуться из Иркутска в Москву. Из-за этого, кстати, он "впал в немилость" Л.А. Мелентьева, который очень отрицательно относился к покидающим СЭИ. Однако дело В.Я. Хасилева в СЭИ–ИСЭМ живет и успешно развивается, за что все мы должны быть ему благодарны.

ЕГО ИДЕИ ЖИВУТ И РАЗВИВАЮТСЯ

Н.И. Воропай

С Виктором Яковлевичем Хасилевым по работе мы не пересекались, хотя знали друг друга и здоровались. Впечатляли его интеллигентность и доброжелательное отношение к окружающим.

Конечно, я слышал уже тогда о теории гидравлических цепей, которая им разрабатывалась по аналогии с теорией электрических цепей. В молодые годы я, может быть, не осознавал до конца принципиальную значимость этого нового направления. Сейчас это, конечно, воспринимается более глу-

ВОРОПАЙ Николай Иванович, в СЭИ–ИСЭМ работает с 1966 г. после окончания электротехнического факультета ЛПИ, директор института с 1997 г., член-корреспондент РАН (2000 г.). Занимается теоретическими и прикладными исследованиями устойчивости и живучести электроэнергетических систем, обоснованием развития и управления функционированием ЭЭС применительно к Единой ЭЭС СССР.

боко. И институт вправе гордиться тем, что в его стенах зародилось и успешно развивается это значимое для гидравлических и трубопроводных систем научное направление. Очень жаль, что появляются некоторые псевдопоследователи, которые берут готовые теоретические разработки без каких-либо ссылок на первооснову. Куда уж до каких-то там дивидендов.

Безусловно, заложенное Виктором Яковлевичем и подхваченное Анатолием Петровичем Меренковым направление нашло в институте активных последователей и развивается весьма успешно. Работает слаженный коллектив, развиваются теория и приложения, есть перспективная молодежь, есть многочисленные оригинальные идеи, которые могут быть воплощены в жизнь.

Я невольно сравниваю эту ситуацию с электроэнергетикой, базирующейся на теории электрических цепей, которую создавали классики электротехники. Мы как-то воспринимаем это сейчас как само собой разумеющееся, отдавая должное, конечно, классикам. Но и теория электрических цепей, безусловно, развивается*.

В случае же с теорией гидравлических цепей, идея которой возникла у Виктора Яковлевича Хасилева, все происходило и происходит “здесь и сейчас” – от идеи В.Я. Хасилева до сегодняшнего дня прошло не так уж много времени. Отдавая дань уважения Виктору Яковлевичу, не могу не сказать его сегодняшним последователям: молодцы и так держать!

---

* Значительный вклад в теорию электрических цепей внесли ученые, работавшие в СЭИ–ИСЭМ:

– академик АН Эстонии Л.А. Крумм – алгебраическое описание электрических систем в стационарных состояниях, их анализ и оптимизация,

– профессор А.З. Гамм – оценивание состояний, наблюдаемость и идентификация систем,

– академик АН СССР Ю.Н. Руденко – теория надежности электроэнергетических систем,

– д.т.н. Е.И. Ушаков – статическая устойчивость электрических систем.

Исследования по этим направлениям развивают основанные ими научные школы.

МОЙ ПЕРВЫЙ УЧИТЕЛЬ

К.С. Светлов

Виктор Яковлевич Хасилев стал моим первым учителем и оставался им на протяжении его работы в СЭИ с 1961 по 1968 г. До последних дней жизни Виктора Яковлевича я сотрудничал с ним и продолжал у него учиться в Москве, куда переехал из Иркутска в 1971 г.

После того как в августе 1960 г. было подписано постановление Президиума АН СССР о создании СЭИ, Лев Александрович Мелентьев пригласил хорошо знакомого ему доцента МИНХ В.Я. Хасилева возглавить лабораторию теплоснабжения. Виктор Яковлевич принял это предложение и, еще не будучи зачисленным в штат института, вместе с его директором начал заниматься подбором сотрудников лаборатории и организационными вопросами. Приказ о зачислении В.Я. Хасилева на должность заведующего лабораторией теплоснабжения вышел только в 1961 г.

Мое знакомство с Виктором Яковлевичем произошло в ноябре 1960 г. в Москве, после того как я получил на домашний адрес в г. Иваново приказ из Иркутска о зачислении в СЭИ и прикомандировании меня к московской группе института. Далее, по согласованию с В.Я. Хасилевым и отделом кадров СЭИ, я был направлен на стажировку в НИИ сантехники в отдел, который возглавлял В.Ф. Поликарпов. Руководителем стажировки стала В.Е. Константинова, замечательная женщина, для которой главным в жизни было исследование воздухообмена в зданиях. Задачей моей ста-

СВЕТЛОВ Константин Сергеевич. Окончил Ивановский энергетический институт им. В.И. Ленина по специальности “промышленная теплоэнергетика” в 1960 г., по распределению работал на Березниковской ТЭЦ-2. Одним из самых первых принят на работу в СЭИ в октябре 1960 г., став сотрудником лаборатории теплоснабжения раньше ее заведующего. Одним из первых нематематиков СЭИ вышел на БЭСМ-2 с программой расчета кольцевых тепловых сетей. В 1967 г. в МИСИ защитил кандидатскую диссертацию “Исследование воздухообмена в многоэтажных зданиях с использованием ЭЦВМ”. С 1971 г., работая в различных энергетических организациях Москвы, поддерживает постоянные деловые и дружеские контакты с сотрудниками ИСЭМ.

жировки было освоение работы на гидравлической модели воздухообмена и проектирование усовершенствованной многоцелевой модели для лаборатории теплоснабжения СЭИ.

Виктор Яковлевич до прихода в СЭИ уже имел дело с аналоговым моделированием потокораспределения в гидравлических цепях. В ЭНИНе, где он работал, для создания электрической модели тепловых сетей использовались радиолампы-триоды УО-186, с помощью которых можно было моделировать сопротивления участков тепловых сетей. Планируя тематику будущей лаборатории, Виктор Яковлевич включил электрическую и гидравлическую модели тепловых сетей в проект экспериментальной базы лаборатории.

Когда в 1961 г. начался период заказа стандартного и нестандартного оборудования, Виктор Яковлевич через Академснаб пытался заказать упомянутые лампы на радиозаводах. Но к 1961 г. эти громоздкие лампы были уже сняты с производства, и пришлось искать их на действующих предприятиях. В этом поиске ему помогал Станислав Викторович Сумароков. В итоге лампы были найдены, куплены и доставлены в 1962 г. в Иркутск. Однако к тому времени в лаборатории теплоснабжения уже были созданы программы расчета потокораспределения тепловых сетей на ЭЦВМ БЭСМ-2, и надобность в создании электрической модели отпала.

По сравнению с электрической гидравлическую модель (ГМ) было создать проще и менее затратно. Практически все оборудование для ГМ, кроме каучуковых и стеклянных трубок и насоса, было нестандартное. Основным элементом ГМ был “патрон” из оргстекла, куда вставлялись различные гидравлические сопротивления – шайбы из тонколистовой нержавеющей стали с маленькими отверстиями разного диаметра. Хлопот с заказом патронов по нашим чертежам было много. Виктор Яковлевич обзванивал московские академические институты, а потом мы с ним ходили на переговоры. В Институте горного дела на Ленинском проспекте удалось сделать официальный заказ от СЭИ.

Гидравлическая модель в СЭИ была смонтирована еще в старом здании института на улице Киевской, и на ней были проведены опытные работы по исследованию режимов тепловых сетей. До массового применения гидравлической модели для расчетов режимов реальных тепловых сетей дело не дошло, так как к тому времени удалось создать программы на БЭСМ-2, и расчеты на гидравлической модели были прекращены. Для каждой реальной тепловой сети нужно было собирать новую схему, проводить тарировку сопротивлений для каждого участка (и все это ручная трудоемкая работа), выполнять отладку схемы, и только потом можно было проводить расчеты. Таким образом, жизнь сама разрешила вопрос о преимуществах и недостатках аналоговых и цифровых математических моделей для расчета потокораспределения в сложных гидравлических цепях в пользу последних.

Итог использования аналоговых моделей для расчета стационарных гидравлических режимов в тепловых сетях оказался отрицательным, но Виктор Яковлевич говорил, что в научных исследованиях отрицательный результат – тоже результат.

Для создания теории гидравлических цепей В.Я. Хасилеву требовалось охватить разнообразные системы: тепловые сети (они ему были ближе всего, так как он начинал свою трудовую деятельность в Теплосетьстрое), водопроводные сети, системы воздухообмена, а в последующем – газо- и нефтепроводы. Поэтому по мере пополнения штата лаборатории ВЯ "сажал" сотрудников по одному на "свое" направление: С.В. Сумарокова – на водопроводные сети, связав его с институтом "ВОДГЕО", где работал Д.М. Минц, хороший знакомый ВЯ, Р.Л. Ермакова – на тепловые сети, меня – на системы воздухообмена зданий и тепловые сети, А.А. Морева – на нефтепроводы.

За иркутский период работы (1961–1968 гг.) Виктор Яковлевич завершил цикл исследований по методам расчета потокораспределения в гидравлических сетях, а в 1966 г. в Новосибирске защитил докторскую диссертацию. В этот период с его помощью прошли защиты кандидатских диссертаций Ю.П. Грачева, А.П. Меренкова, А.А. Кошелева и К.С. Светлова.

При принятом Виктором Яковлевичем демократичном стиле работы его авторитет в лаборатории был непререкаем. Обсуждения результатов исследований, как правило, начинались с обмена мнениями по общим вопросам, в том числе и бытовым, а затем плавно перетекали в обмен мнениями по производственным вопросам. В лаборатории практически сразу же создалась творческая обстановка, а сотрудникам была предоставлена большая самостоятельность.

Каждый научный сотрудник имел возможность два-три раза в год ездить в командировки, в основном в Москву, Ленинград, Новосибирск, где можно было почерпнуть что-то полезное. В беседах и спорах, которые поощрял ВЯ, часто рождалась истина, и потом приходили новые мысли для развития работы.

Виктор Яковлевич был очень увлеченным ученым, часто сам пользовался Ленинской библиотекой, поощрял и помогал работать в библиотеках своим сотрудникам. Занимаясь моделированием потокораспределения в трубопроводных системах, Виктор Яковлевич докапывался до первоисточников, изучал оригиналы публикаций иностранных авторов, начиная с Ньютона, Рафсона, Максвелла, Эйлера, Дарси, Черри, Миллара, Биркгофа, Диаза и кончая Харди-Кроссом, М.М. Андрияшевым, В.Г. Лобачевым. Широкий и подробный библиографический обзор содержится в его уникальной докторской диссертации. Эстафету широкого и тщательного знакомства с первоисточниками у ВЯ принял Б.М. Каганович.

В лаборатории, созданной В.Я. Хасилевым и после его отъезда в Москву принятой А.П. Меренковым (в 1968 г. она была переименована в лабораторию моделирования аэрогидравлических и трубопроводных систем, затем в лабораторию гидравлических и трубопроводных систем), сложился дружный и работоспособный коллектив, и мне кажется, что этот коллектив, пополняемый молодежью, хранит память о первых руководителях лаборатории и всех сотрудниках, которых, к сожалению, уже нет с нами, – это Ю.П. Грачев, С.В. Сумароков, Х.Я. Рогожина (Абрамова), Г.В. Алексеева (Ташкинова), В.Г. Сидлер, Р.Л. Ермаков, В.В. Мирошниченко, А.А. Морев...

"Как говорят у нас в Одессе..."
Ю.С. Коновалов, В.Я. Хасилев, А.З. Гамм

Виктор Яковлевич отличался широкой эрудицией, многогранностью и, как одессит, обладал особым чувством юмора. Он был добрым, отзывчивым руководителем и опекал сотрудников, деликатно учил работать самостоятельно, всегда интересовался семейным бытом, а после отъезда в Москву продолжал консультировать и помогал решать вопросы, связанные с защитой диссертаций. Вот один из примеров деликатности и стиля общения с сотрудниками лаборатории. Когда Виктору Яковлевичу надо было поговорить со мной, он обращался ко мне так: "Константин Сергеевич, нам надо поговорить, вы будете ли еще сегодня на работе?"

Сотрудники старались быстрее реализовывать теорию гидравлических цепей в программах на ЭЦВМ и, что особо важно, обеспечивать внедрение результатов расчетов на реальных объектах. Программы для расчета тепловых сетей на ПЭВМ тогда разрабатывались уже в условиях конкуренции как со стороны ВТИ (руководил исследованиями профессор Н.М. Зингер), так и со стороны отдельных исследователей (в Киеве – Б.Н. Пшеничный, в Москве – О.К. Шашков, в Тбилиси – Г.Е. Кикачишвили, в Минске – Н.У. Койда и др.). Конечно, практически все молодые сотрудники отдавали работе значительно больше времени, чем этого требовал КЗОТ. Свою лабораторию Виктор Яковлевич часто называл "лавкой" и прививал нам чувство "веника", чтобы мы были все за одного и один за всех – и это ему удавалось. В общем, что и говорить, мы любили своего шефа, и он отвечал нам взаимностью.

У меня осталось двойственное отношение к решению Виктора Яковлевича о публикации наших программ расчета сначала в ВИНИТИ, а затем в первой книге "Методы и алгоритмы расчета тепловых сетей", вышедшей в 1978 г. в издательстве "Энергия". С одной стороны, мы "выпустили джинна из бутылки" и дали толчок к широкому использованию программ расчета гидравлических цепей как в стране, так и за рубежом, с другой – мы породили дополнительных конкурентов, которые стали развивать эти программы в практическом плане и зарабатывать на продаже программного продукта, особенно после 1991 г. Скорее всего, Виктор Яковлевич прав: наш приоритет был зафиксирован, хотя в условиях рыночных отношений

в стране (в 1970 г. никто не мог предположить возможность развала СССР и перехода к рынку) конкуренты опередили ИСЭМ в лицензировании этих программ.

Большинство сотрудников лаборатории, пришедших как со студенческой скамьи, так и с производства, при первой возможности оформлялись в заочную аспирантуру. Естественно, формулировали направления работы и руководили диссертационной работой сам ВЯ и его коллеги из профильных институтов, где проходили стажировку соискатели ученой степени.

Директору института Л.А. Мелентьеву было необходимо, чтобы в первую очередь заведующие всеми лабораториями института имели ученую степень доктора наук. При этом А.П. Меренков, заведующий лабораторией прикладной математики, единственный из завлабов СЭИ не имел даже кандидатской степени. И Виктору Яковлевичу было поручено руководство его диссертационной работой. Лев Александрович лично периодически контролировал ход работы. Одним из первых в СЭИ А.П. Меренков в 1963 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме “Методы комплексной оптимизации разветвленных тепловых сетей с применением ЭВМ”. Защита в Объединенном совете по физико-математическим и техническим наукам СО АН СССР в Новосибирске прошла гладко.

Работа над докторской диссертацией Виктора Яковлевича сдружила его с Анатолием Петровичем на всю оставшуюся жизнь. Сплав хорошего математика и хорошего инженера очень быстро дал результаты и помог Виктору Яковлевичу в 1966 г. защитить в Новосибирске диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук “Элементы теории гидравлических цепей”. А уже в 1974 г. совместная работа Виктора Яковлевича и Анатолия Петровича позволила второму защитить диссертацию на соискание ученой степени доктора физико-математических наук “Математические модели и методы для анализа и оптимального проектирования трубопроводных систем”.

По складу характеров Анатолий Петрович и Виктор Яковлевич, преданные одному научному направлению, были достаточно близки. Оба были открытыми, бескорыстными и заботливыми руководителями, никогда не повышали голос на подчиненных, делились знаниями с сотрудниками и при этом были интересными рассказчиками. Любые обсуждения научных проблем и результатов с Виктором Яковлевичем начинались с разговоров о жизни сотрудников, включая их семьи, и с обсуждения общих вопросов жизни института, событий в политической и культурной сферах общества. Все, что было не связано непосредственно с научными исследованиями и жизнью института, ВЯ называл “бодягой” и частенько напоминал коллегам, что в научных исследованиях надо помнить: “Бога обмануть нельзя, но с ним можно договориться”. Это лишь один из массы афоризмов, которыми он блистал. Например, если Михаил Такайшвили, любимчик ВЯ, не соглашался с ним по каким-то мелким вопросам, он говорил с одесским акцентом: “Мишя, не будьте конской занудой”.

После отъезда Виктора Яковлевича в Москву А.П. Меренков был назначен исполняющим обязанности заведующего трубопроводной лаборато-

рией с сохранением руководства созданной им математической лабораторией. А Виктор Яковлевич продолжал тесные связи с СЭИ и помог довести до защиты своих бывших сотрудников и аспирантов: С.В. Сумарокова, М.К. Такайшвили, Б.М. Кагановича, Е.В. Сеннову, О.А. Некрасову и др.

Первое время в Москве, куда я в сентябре 1971 г. перебрался из Иркутска с помощью главного инженера теплосети Мосэнерго Н.К. Громова (Виктор Яковлевич морально поддерживал мой переезд и оказывал помощь) и стал работать в Информационно-вычислительном центре Мосэнерго, мне приходилось внедрять программы расчета гидравлических режимов, разработанные с моим участием в СЭИ. Виктор Яковлевич активно помогал этому внедрению, и мы постоянно общались. Домашнего телефона у меня первое время не было, и если Виктору Яковлевичу я был нужен в выходные дни, он присылал телеграмму: “Константин Сергеевич, позвоните мне”.

Я не знал, было ли у Виктора Яковлевича какое-нибудь хобби, если не считать любовь к музыке и посещение Ленинки. Безусловно, он был разносторонним человеком: знал толк в литературе и живописи, любил посещать вместе с супругой консерваторию, тематические вечера в Доме ученых, выставки, приобщал приезжавших сотрудников лаборатории к культурным мероприятиям в Москве. Несколько раз мы с женой ходили в Большой зал консерватории вместе с Виктором Яковлевичем и его супругой Аллой Филипповной.

Виктор Яковлевич был искренним и бескорыстным человеком, он помогал всем, кто к нему обращался. Когда он вернулся в МИНХ, то консультировал всех аспирантов своей кафедры энергетики и давал ценные предложения зрелым сотрудникам.

Я отношу себя к школе В.Я. Хасилева и продолжателя его дела – А.П. Меренкова. Дерево этой школы с хорошими “корнями” охватило несколько десятков человек и продолжает “ветвиться” ускоряющимися темпами.

Школа Виктора Яковлевича и Анатолия Петровича, которую я прошел после студенческой скамьи в Иркутске, дала мне и – я не сомневаюсь – большинству других сотрудников лаборатории, ушедших из СЭИ, возможность чувствовать себя уверенно на работе в организациях, где бы эти организации ни находились.

Переехав в Москву, я продолжал тесные контакты с Виктором Яковлевичем, он фактически направлял меня. Благодаря именно ему я оказался в ЭНИНе, где проработал более 10 лет под руководством бывших сотрудников СЭИ Л.С. Попырина и А.С. Некрасова.

Никогда не забуду встречу с Виктором Яковлевичем и Александром Семеновичем Некрасовым 8 марта 1979 г. Я был дома один с детьми, так как моя жена уехала в туристическую поездку. Позвонил Виктор Яковлевич и сказал: “Мы едем с Александром Семеновичем к вам поговорить”. А темой разговора был мой переход в ЦЭМИ, в лабораторию А.С. Некрасова. Виктор Яковлевич выступал “свахой”, а Александр Семенович рассказывал о проекте создания (под научным руководством академика

НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского,
где лечился В.Я. Хасилев и где работала А.Ф. Хасилева

М.А. Стыриковича, при поддержке министра энергетики П.С. Непорожнего) Центра по прогнозированию энергетики. Мне предлагалась должность заведующего лабораторией теплоснабжения, были обещаны хорошие условия работы, в том числе и загранкомандировки. Я дал согласие и в ноябре 1979 г. оказался в ЦЭМИ – на улице Вавилова, 66 – практически в "двух шагах" от дома Виктора Яковлевича. Мои контакты с Виктором Яковлевичем в период пребывания в ЦЭМИ были плодотворными, так как он помогал Некрасову в начальный период создания Центра.

В феврале 1980 г. Виктор Яковлевич попал в Институт Склифосовского с переломом шейки бедра: поспешив к телефону на кафедре в МИНХ, он упал, споткнувшись о задранный линолеум...

В.Я. Хасилев пролежал в Склифе более двух месяцев на вытяжке при тщательном уходе (его супруга Алла Филипповна в это время работала там рентгенологом). Практически каждую неделю я навещал Виктора Яковлевича и старался отвлечь его от постоянной думы о травме. Когда Виктор Яковлевич пошел на поправку, он нашел в палате единомышленников и стал инициатором бесед на научные и произвольные темы. Его выписали из больницы, но вскоре, в ночь с 23 на 24 апреля 1980 г., Виктора Яковлевича не стало: смерть наступила от сердечного приступа. Похоронили Виктора Яковлевича 27 апреля на Востряковском кладбище в Москве рядом с могилой его мамы, которую он пережил на 16 лет.

Виктор Яковлевич поддерживал творческие связи и контакты со многими работниками науки. В СЭИ он имел хорошие отношения практически со всеми сотрудниками старшего поколения, в первую очередь – с Л.А. Мелентьевым, Г.Б. Левенталем и А.С. Некрасовым. Его коллегами в различных организациях Москвы были (данный список не претендует на полноту охвата): в МИНХ – О.Г. Ляхов, в МИСИ – М.Л. Закс, С.Ф. Копьев, Е.Е. Карпис, А.А. Ионин, П.Н. Каменев, В.Н. Богословский, В.Б. Хлыбов, в МЭИ – Е.Я. Соколов и А.Н. Златопольский, в Теплоэлектропроек-

те – А.А. Николаев, в Теплосети "Мосэнерго" – Н.К. Громов, В.А. Чугреев, А.П. Сафонов, в ВТИ – В.Б. Пакшквер, Н.М. Зингер, Р.П. Сазонов, в ВОДГЕО – Д.М. Минц, в московском отделении ВНИПИэнергопрома – С.Я. Белинский, В.П. Корытников, Я.А. Ковылянский, М.М. Пик, в Энергосетьпроекте – А.А. Бесчинский, А.Г. Викдорчик, Г.Н. Лялик, в АКХ им. К.Д. Памфилова – В.К. Дюскин, Л.К. Якимов, в НИИ сантехники – В.Ф. Поликарпов и В.Е. Константинова, в ОРГРЭС – Б.И. Генкин, И.В. Марков, Я.И. Каплинский, в Гипрокоммунэнерго – Е.П. Шубин, в Санкт-Петербурге – И.С. Ланин, С.А. Чистович, в Киевском отделении института ВНИПИэнергопром – И.Д. Соболь... Дружеские отношения поддерживал Виктор Яковлевич с соседом по лестничной клетке, ведущим специалистом по водоподготовке – М.С. Шкробом.

Виктор Яковлевич как член жилищного кооператива АН СССР курировал вопросы теплоснабжения, особенно наладку режимов отопительной системы и ремонты центрального теплового пункта.

Виктор Яковлевич ушел из жизни в расцвете творческой активности. Он буквально накануне смерти (23.04.1980) обсуждал со мной и Анной Евгеньевной Штейнгауз дальнейшие планы работ, попросил меня сделать заказ литературы на его имя в Ленинской библиотеке...

Память о Викторе Яковлевиче вот уже более тридцати лет живет в делах его учеников. На всех семинарах по трубопроводным системам и просто на встречах сотрудников лаборатории и тех, кто знал Виктора Яковлевича, всегда вспоминают его добрые дела и его самого.

Свое 65-летие Виктор Яковлевич отмечал в ресторане "Арагви". Сотрудники кафедры энергетики МИНХ помогли организовать этот юбилей через своих бывших студентов. Состоялся очень торжественный и теплый прием в узком кругу коллег, друзей и знакомых семьи Хасилевых.

Виктор Яковлевич очень любил свою маму и навещал ее могилу. Както раз он взял меня с собой и по пути от ворот кладбища он обращал мое внимание на надгробия: "Вот могила Елены – сестры Леонида Утесова, а здесь похоронен известный гидродинамик, профессор И.А. Чарый..."

Бывшие сотрудники лаборатории поодиночке и группами навещают могилу своего шефа. Ежегодно на всех поминках Виктора Яковлевича в день смерти и в день рождения на квартире Аллы Филипповны Хасилевой в 1980–1990 гг. собирались его близкие. Потом, после смерти А.П. Меренкова (1997 г.) и на его поминках два раза в год в Москве, так или иначе, разговор заходит о Викторе Яковлевиче и их общем с Анатолием Петровичем детище – Теории гидравлических цепей. По круглым датам рождения А.П. Меренкова на семинарах по трубопроводным системам, на ученых советах ИСЭМ и в Москве всегда речь заходит о научном наследии этих двух замечательных ученых, волею судеб одновременно оказавшихся в Иркутске.

В 1991 г. все члены семьи Виктора Яковлевича переехали в Соединенные Штаты Америки, но связь бывших сотрудников с ними не оборвалась. Переписка, отправка литературы и фотографий регулярно продолжаются.

В книге “100-летний юбилей теплофикации и централизованного теплоснабжения в России”* во второй части “История развития теплоснабжения”, в разделе “Они создавали основы отечественной теплофикации” – В.Я. Хасилев и А.П. Меренков внесены в список самых достойных имен.

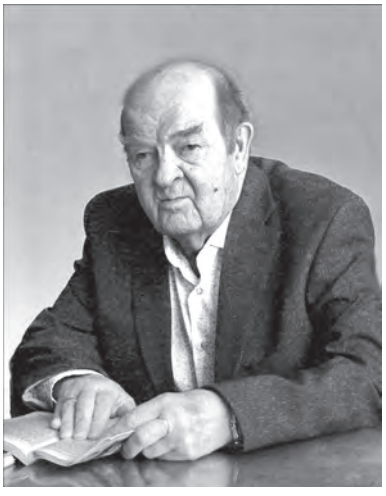
В 1990 г. В.Я. Хасилев и А.П. Меренков за цикл работ по теории гидравлических цепей были удостоены премии им. Г.М. Кржижановского – единственный известный случай посмертного присуждения этой премии Президиумом АН СССР.

ВОСПОМИНАНИЯ И РАЗМЫШЛЕНИЯ

О.А. Балышев

Вероятно, одной из форм сохранения образа человека является память и ее выражение в виде воспоминаний. Это сугубо личные впечатления о человеке, с которым рядом я жил и работал в годы моего становления и взросления.

Закончив строительный техникум, я занимался проектированием железнодорожных сооружений. Интенсивное развитие вычислительной техники в корне меняло понятия и методы инженерного труда. Необходим был пересмотр позиций в образовании, углубление знаний прикладной математики для использования численных методов моделирования разнообразных физических и инженерных задач.



В нашем городе, далеком от центральной России, начали развиваться вычислительные центры (первые – при Иркутском государственном университете и Сибирском энергетическом институте), где ставилась

БАЛЫШЕВ Олег Анатольевич, пришел в лабораторию теплоснабжения СЭИ в 1962 г., заочно обучаясь на матфаке ИГУ. Участвовал в исследованиях на гидроинтеграторе, составлял и использовал первые программы расчета нестационарного теплообмена на БЭСМ-2. В 1974 г. в совете МИНХиГП защитил кандидатскую диссертацию по исследованию тепловых режимов скважин и газопроводов в условиях Севера, в 1998 г. – докторскую диссертацию “Нестационарные модели в теории гидравлических цепей”.

* Сб. статей под ред. В.Г. Семенова. М.: Новости теплоснабжения, 2003.

задача интенсивной подготовки математиков-прикладников как из выпускников средних школ, так и из уже имевших среднее специальное и высшее образование. Именно поэтому многие специалисты совмещали работу с вечерней и заочной учебой на математическом факультете ИГУ, где одним из требований обучения являлась работа по специальности после третьего курса.

В нашей группе училась сотрудница СЭИ Нина Пьянкова, которая и порекомендовала мне переговорить с заведующим лабораторией Хасилевым. Моя первая встреча с Виктором Яковлевичем, определившая всю мою дальнейшую трудовую деятельность и творческую судьбу, состоялась в октябре 1962 г.

Лаборатория теплоснабжения располагалась на втором этаже здания на Киевской, 1 в двух комнатах. В первой комнате размещались гидроинтегратор Лукьянова, которым командовал Александр Алексеевич Кошелев, и стенд аналогового моделирования воздухообменных процессов в зданиях – владение Константина Сергеевича Светлова. Во второй комнате в два окна, с высоко уходящим потолком, заставленной письменными столами, и состоялась моя первая беседа с Виктором Яковлевичем. Я вошел. Навстречу мне поднялся внушительного роста человек с несколько растрепанной седеющей шевелюрой и теплыми задумчивыми глазами. В конце краткой беседы Виктор Яковлевич спросил меня:

– Хотя бы карандаш в руках вы держать умеете?

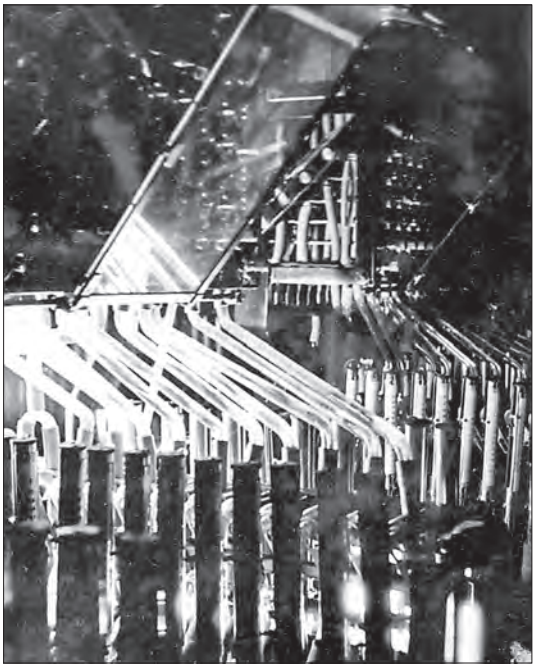
– Конечно! – ответил я.

– Тогда пишите заявление о приеме на работу в качестве лаборанта.

31 октября 1962 г. я вышел на работу в СЭИ и первое, что увидел на доске объявлений, это приказ о зачислении меня в штат на должность старшего лаборанта с окладом 98 рублей. Так я попал в СЭИ сразу с повышением.

Меня определили в группу А.А. Кошелева, которая была в лаборатории автономной. Исследования были связаны с математическим моделированием физических процессов в рамках тепловой устойчивости жилых зданий, а основной персонал лаборатории под руководством Виктора Яковлевича создавал и развивал математические модели трубопроводных систем различного назначения.

Главным инструментом наших исследований являлся гидроинтегратор, позволяющий на принципе аналогии ламинарного течения воды по системе труб с сопротивлениями и емкостями имитировать процессы теплопереноса, диффузии и фильтрации. Эти процессы имеют идентичные описания, определяемые системами дифференциальных уравнений в частных производных двух типов: эллиптических – для стационарных процессов и параболических – для нестационарных. Численное отображение потенциалов отождествлялось с высотой пьезометра в узлах собранной гидравлической цепи, а количество узлов регламентировалось 12 секциями, каждая из которых моделировала 10 точек реального объекта. Несмотря на сложность подготовки исходной информации, трансформации тепловых величин в гидравлические, сборки гидравлической схемы, снятия результатов с пьезометров, гидравлический интегратор обладал преимуществом,



Фрагмент гидроинтегратора

которое заключалось в наглядности динамических процессов тепло- и массопереноса. Это понимание и математическое описание позволили без особых затруднений перейти от аналогового моделирования к цифровому, использовавшему цифровую вычислительную технику. А это укладывалось в основную концепцию Виктора Яковлевича о математическом моделировании реальных объектов с помощью быстро развивающихся вычислительных методов и вычислительных средств.

Вместе с общечеловеческими добродетелями – правдивостью, справедливостью, скромностью, спокойствием, точностью и толерантностью – Виктору Яковлевичу был присущ целый ряд свойств характера человека, занимающегося творческой деятельностью, к которой, в частности, относится сфера науки.

Целеустремленность В.Я. Хасилева проявилась в создании обобщенной междисциплинарной теории гидравлических цепей, позволяющей анализировать режимы работы разнообразных систем производства–потребления на фундаментальной теоретической базе законов сохранения. Это было отражено в двух статьях, опубликованных в Известиях АН СССР, “Энергетика и транспорт” в 1964 г., и докторской диссертации “Элементы теории гидравлических цепей”, а итоги обобщены в монографии “Теория гидравлических цепей” А.П. Меренкова и В.Я. Хасилева и многочисленных монографиях его учеников и последователей.

Альтернативность исследований подтверждена возможностью широкого подхода к описанию задач анализа, синтеза и управления как в виде замкнутых систем уравнений, так и в экстремальных постановках. Это же проявляется и при решении нелинейных систем разнообразными методами: метод простой итерации, модифицированный метод Зейделя, модифицированный метод Ньютона при анализе режимов, метод наименьших квадратов, метод наименьших модулей для обратных задач определения коэффициентов моделей.

Открытость и постоянное общение в те времена в институте считались нормой поведения, а объединяющим фактором, безусловно, была вычислительная техника. А она требовала от пользователей быстрой адаптации к совершенно новым скоростям вычислений. Вычислительная техника и

развивалась ускоренными темпами, перекрывающими темпы развития даже авиационной промышленности.

Руководство института и заведующие лабораториями дискутировали о сферах использования высокопроизводительной вычислительной техники, сотрудники решали очевидную задачу переложения на нее ручных методов численных расчетов разнообразных реальных задач экономики и энергетики в основном режимного характера. Тем не менее к концу 1960-х годов выработалось научное направление “Математическое моделирование функционирования больших систем энергетики”, в рамках которого решались основные задачи институтской тематики. Свое самостоятельное место в этом направлении заняло математическое моделирование трубопроводных систем, основу которого заложили Виктор Яковлевич Хасилев и Анатолий Петрович Меренков. Актуальность этого направления не ослабела и в настоящее время, а тогда это был один из прорывов в использовании вычислительной техники не просто как мощного численного решателя, давшего новые возможности, но как инструмента для численных экспериментов при исследовании развития и функционирования различных технико-экономических систем.

Виктор Яковлевич при решении как практических, так и теоретических задач ненавязчиво развивал у своих сотрудников знания, интуицию и воображение. Интуиция позволяет формировать цель исследования, воображение – пути достижения цели, а знания создают тот аппарат, который позволяет преодолеть путь до цели – получения новых знаний. Так зацикливается научный процесс. Ярким примером явилось создание в лаборатории “математического расходомера”, на базе которого в дальнейшем развивалось научное направление “Идентификация трубопроводных систем”.

В 1960-х годах в математике формировались так называемые обратные задачи, которые предусматривали получение оптимальных коэффициентов уравнений в частных производных при известных решениях этих уравнений, и эти задачи формировали теоретическое направление в области некорректных задач математического анализа. Для технических систем внедрение этих задач было сложным из-за непомерной вычислительной работы, которую нужно было выполнять только с помощью вычислительной техники.

Теория гидравлических цепей стала отправной точкой для ответа на вопрос: нельзя ли при наименьшем количестве измерений на реальном объекте трубопроводной системы оценить расходы на участках и их сопротивления. Возможный путь виделся в следующем: имея многократные измерения давления в ряде узлов цепи и уравнения функциональных связей этих параметров и применяя, в частности, известный численный метод наименьших квадратов, оценить состояние цепи, т. е. распределение расходов и сопротивлений для всех участков гидравлической цепи. Идея была зафиксирована в авторском свидетельстве, полученном коллективом, возглавляемым Виктором Яковлевичем. Эта работа стала первой ласточкой в области численного решения и анализа некорректных задач математического анализа для систем нелинейных алгебраических уравнений.

Виктор Яковлевич ненавязчиво и постепенно приучал молодых сотрудников, и меня в том числе, к научной работе. При его участии я последовательно двигался от старшего лаборанта до младшего научного сотрудника и защитил кандидатскую диссертацию. Но и после защиты диссертации, да и до сих пор, я ощущаю его влияние. Именно с его подачи я стал явным апологетом теории динамических систем при расширении и постановке новых задач теории гидравлических цепей в сфере регулирования и управления.

В 1967 г., в связи с переездом в Москву и переходом на работу в Московский институт народного хозяйства им. Г.В. Плеханова, Виктор Яковлевич, оставаясь научным руководителем, передал заведование лабораторией Анатолию Петровичу Меренкову. И в начале 1970-х для меня встал вопрос о переходе из группы Кошелева к Меренкову, где к этому времени сосредоточились практически все специалисты прикладной математики. Понятно, что переговоры не прошли без участия Виктора Яковлевича, который в принципе не возражал, но выдвинул условие, чтобы я в срок не более полугода положил на стол законченную диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Это условие мне пришлось принять, и переход состоялся.

В те времена СЭИ не имел своего диссертационного совета, и защиты диссертаций проходили, как правило, в советах вузов и академических институтов центральной России. Эта участь не миновала и меня. Так как тематика моей работы была связана с газовыми системами и руководителем был Юрий Павлович Коротаев, заместитель директора ВНИИгаза, а к окончанию моей работы он стал проректором по науке и заведующим кафедрой разработки и эксплуатации газовых и газоконденсантных месторождений Московского института нефтехимической и газовой промышленности им. И.М. Губкина, то диссертационная работа была представлена к защите в совет этого института.

Тогда в СЭИ существовала традиция: вместе с соискателем на его защиту в качестве помощников направлялись сотрудники его лаборатории. Я же полетел в Москву в одиночестве, рассчитывая на то, что Виктор Яковлевич не оставит меня без помощи и поддержит в столь сложный момент.

На защите в ничем не примечательной студенческой аудитории собрались члены совета, мои руководители: Юрий Павлович Коротаев, Борис Леонидович Кривошеин* и Виктор Яковлевич Хасилев, и приглашенные, среди которых был Борис Николаевич Громов, сотрудничавший с нашей лабораторией в исследованиях нестационарных режимов систем теплоснабжения с регулирующей аппаратурой. Громов и стал моим единственным помощником и советчиком. Накануне защиты он дал мне совет, как выступать перед столь серьезной аудиторией, чтобы войти в спокойное состо-

* Сотрудник ВНИИгаза, вместе с которым с 1967 г. велись прикладные исследования по выбору строительных и технологических решений для магистральных газопроводов, он давал общую постановку задач и обеспечивал внедрение результатов исследований.

яние и докладывать о работе: “Попробуй начало доклада прочитать с листа, а дальше переходи к комментированию плакатов, уделяя на каждый не более двух минут”. Текст доклада был распечатан, и я принял этот совет.

“Медаль Хасилева”

Итак, защита. Плакаты развешаны. Все члены Совета на месте, и можно дать соискателю слово для доклада. Я за кафедрой, на которой лежит доклад. В аудитории тишина ожидания. В задних рядах расположилась моя поддержка.

Начинаю читать первую страницу доклада и вдруг из задних рядов слышу слова Виктора Яковлевича, обращенные к Боре Громову: “Он что, засранец, выучить не мог?” В тишине, стоявшей в аудитории, эта фраза прозвучала для меня сигналом перехода к свободной словесной импровизации. В то время в лаборатории появилась традиция после присвоения первой ученой степени выдавать “медаль” свежему кандидату наук. Медаль была диском диаметром 145 мм, изготавливалась из березы. Там на черном фоне вырезались рисунки* по эскизу Станислава Викторовича Сумарокова: аверс – шутливый шарж на Виктора Яковлевича Хасилева, реверс – водопроводный кран с каплей и надпись *AB CUTTA CUIQUE SUUM* (Из капли – каждому свое). Такая медаль висит на стене у меня дома.

Остановлюсь еще на одной из черт характера Виктора Яковлевича – это чудесное чувство юмора.

В те годы наше становление проходило при скромном обеспечении жизненными благами – как говорится, жили от зарплаты до зарплаты, но в силу молодости мы воспринимали это без уныния. Третьей комнатой в нашей лаборатории служил конец коридора, где шкафами высотой от пола до потолка была отгорожена фотолаборатория, созданная Кошелевым, единственная в то время в институте. На один из шкафов был вывешен плакат на листе ватмана с заголовком: “Сколько дней до зарплаты”. Он состоял из двух частей: внизу цифры от 1 до 15, под ними – изображения мужского лица, которое менялось ежедневно синхронно с цифрами. Этот плакат тоже создал один из лучших рисовальщиков института Стас Сумароков.

Как-то раз, вернувшись из командировки, Виктор Яковлевич заходит в свою лабораторию и останавливается перед этим шкафом, внимательно разглядывает новацию своих неуемных сотрудников и, поняв смысл, начинает вращать круг. Там меняются лица от молодого, тщательно выбритого и подстриженного, с радостной улыбкой в первые дни после зарплаты, – до печального, небритого и неухоженного в последние дни перед зарплатой. Эта динамика отражалась и на лице нашего шефа: рот все больше

* Помнится, мастером филигранной резки по дереву был сотрудник лаборатории теплоснабжения Юрий Смирнов.

растягивался в улыбке и дотянулся до настоящего хохота. Последовавшая словесная реакция была парадоксальна: “Снять к бениной матери!”

Зная и понимая некоторую ущербность Иркутска в сфере литературы и искусства*, Виктор Яковлевич, будучи настоящим интеллигентом и интеллектуалом, и здесь прикладывал свои способности, ненавязчиво рекомендуя, какие книги почитать и что послушать из музыки. А когда его сотрудники находились в Москве, то он советовал, как интересней и с пользой для дела провести вечера, какие театры, концерты и выставки следует посетить, а иной раз и сам сопровождал. Так, в компании с ним в Малом зале Консерватории я прослушал чудесный дуэт чешских музыкантов – виолончелиста и гитариста, в Доме ученых – концерт пианистки Кати Новицкой и в Большом зале Консерватории – прощальный концерт Растроповича и Вишневской перед их отъездом за границу. Он открыл для меня театры Современник и на Таганке, которые я стал посещать всякий раз, прилетая в Москву.

После отъезда в Москву Виктор Яковлевич продолжал осуществлять научное руководство лабораторией и эпизодически приезжал в командировки в Иркутск. Останавливался он обычно в гостинице “Ангара”, в центре города недалеко от нашего дома, и поэтому частенько заходил к нам по вечерам на чай.

Был конец мая 1970 г., а весной, как правило, происходит обострение язвенной болезни, которая к тому времени мучила меня уже более десяти лет. Как-то в один из дней мы с сыном вернулись с соревнований по гимнастике. Боли меня замучили, и я решил отлежаться. Только прилег, раздался звонок в дверь – пришел на вечерний чаек Виктор Яковлевич. Увидев меня скрюченного на диване, он стал расспрашивать мою жену Нину о причинах такого моего состояния, и она рассказала ему историю болезни. Кончилось его пребывание в Иркутске, он улетел в Москву. Не прошло и двух недель, как я получил телеграмму: “Оформляй командировку в Москву, все оговорено”. Я вылетел в Москву и 14 июня был определен в Институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского, где в рентгенотделении работала Алла Филипповна, супруга Виктора Яковлевича. Она взяла надо мной попечительство, что ускорило процесс моего выздоровления. Уже 22 июня после всех анализов, подтверждающих язвенную болезнь, меня прооперировал лучший хирург 7-й хирургии Анатолий Беляев, а 7 июля я своими ногами добрался до дома, где мы с женой останавливались. Вот так вот быстро и четко поставили меня на ноги Виктор Яковлевич и Алла Филипповна, а такое не забывается: они подарили мне многие годы жизни с возможностью научной работы. И это был не единичный случай проявления участия в решении проблем сотрудников вне сферы научной деятельности.

---

* Надо полагать, в части литературы это было тогда справедливо применительно к энергетике, но далеко не ко всем отраслям знания, уж не говоря о художественной литературе, а Иркутский художественный музей официально признан лучшим периферийным хранилищем произведений живописи. Три театра, филармония, свой симфонический оркестр – так что насчет ущербности...

Деяния человека живущего определяются не только тем, чего он достиг за время трудоспособной деятельности, но ценность его и в окружающих людях, в контакте и общении с которыми эта его деятельность протекала. Такому правилу, как я сейчас понимаю, всю свою жизнь следовал Виктор Яковлевич Хасилев. Свидетельством тому является огромное количество учеников и последователей, число которых с годами не уменьшается.

В нашей семье я, Нина и дети помнят нашего дорогого Виктора Яковлевича как интеллигента одесской закваски с добрыми и мудрыми глазами, который в малом и большом стремился делать окружающим только хорошее.

ВОСПОМИНАНИЯ О ВЕЛИКОМ ЧЕЛОВЕКЕ

Ю.Д. Кононов

В жизни каждого есть встречи и знакомства, которые остаются в памяти навсегда. О них помнишь как о чем-то очень значительном и неслучайном, как о даре небес. Таким даром для меня было знакомство с Виктором Яковлевичем.

Я имел удовольствие и честь общаться с ним не только в стенах института, но и в неформальной обстановке: в его гостеприимной квартире в Москве, в домашних условиях в Иркутске. Одним из этих домов было институтское общежитие – двухкомнатная квартира в Академгородке, где мы прожили с Виктором Яковлевичем и с молодым сотрудником вычислительного центра СЭИ Богданом Смертыгой почти два года. Памятны мне и несколько дней, проведенных с Виктором Яковлевичем в легендарной Одессе, которую он предложил нам с женой посетить по дороге из Болгарии в Иркутск. Встреча в этом городе запомнилась мне не только интересными одесскими рассказами

КОНОНОВ Юрий Дмитриевич. Закончил Московский инженерно-экономический институт им. Серго Орджоникидзе, работал в Дальневосточном филиале СО АН СССР. В СЭИ с 1961 г. Заведующий лабораторией, д.э.н., профессор, занимается исследованиями внешних связей энергетики для прогнозирования ее развития.

и анекдотами в авторском исполнении, но и счастливой для меня возможностью оказать Виктору Яковлевичу посильную помощь на море в преодолении неожиданно возникших больших волн.

От нашей совместной жизни с Виктором Яковлевичем в общежитии у меня осталась несколько сильных впечатлений. Поражали его огромная работоспособность и увлеченность. Будучи очень эмоциональным человеком, он спешил сразу же поделиться пришедшей ему в голову идей даже с такими профанами в гидравлике, как мы с Богданом, – и нам это было интересно и понятно.

Меня удивляла и восхищала нетребовательность Виктора Яковлевича к условиям общежитского быта. Ни разу он не посетовал на какие-либо неудобства, хотя в Москве привык к комфорту, создаваемому Аллой Филипповной и Верочкой.

Ради возможности реализовать свои идеи и задумки Виктор Яковлевич вынужден был решиться на смену места работы и замену Москвы Иркутском. Но разлука с семьей давалась ему нелегко. Он постоянно говорил о жене и дочери и почти каждый день звонил им в Москву.

В Иркутске Виктор Яковлевич скучал и о московских концертах, музеях. Искусство входило в круг его интересов и в тематику наших бесед в общежитии за вечерним чаем. Эти беседы чаще были монологом, в котором иногда проявлялось субъективное отношение Виктора Яковлевича к отдельным деятелям искусства. Помню, например, как он доказывал мне преимущества Когана над Ойстрахом*.

Свойственные Виктору Яковлевичу широкий кругозор, активный интерес к миру искусств и мировым событиям, к работам и жизни сотрудников и коллег – нечастое явление в научном сообществе. Да и настоящих ученых не так уж много и среди обладателей ученых степеней и званий.

Виктор Яковлевич был действительно настоящим ученым и большим человеком, которым восхищались и которого помнят так много людей.

БРИЛЛИАНТ В ОЖЕРЕЛЬЕ ВЫДАЮЩИХСЯ СОТРУДНИКОВ СЭИ

Р.И. Ивановский

В своих восторженных воспоминаниях о годах работы в СЭИ не могу пройти мимо таких людей, как Виктор Яковлевич Хасилев.

Я проработал весь иркутский период в составе лаборатории теплоэнергетики Г.Б. Левенталя, тоже значимой личности и тоже со своими особен-

* Давид Федорович Коган и Леонид Борисович Ойстрах – народные артисты СССР, крупнейшие скрипачи современности мирового уровня, создатели отечественной скрипичной школы.

ИВАНОВСКИЙ Ростислав Игоревич. Окончил электромеханический факультет Ленинградского политехнического института им. М.И. Калинина по специальности “электрические станции, сети и системы” и по собственному желанию был распределен в СЭИ, где работал до 1971 г., активно участвуя в общественной и культурно-развлекательной жизни коллектива.

ностями. ВЯ возглавлял другую лабораторию, связанную с гидравликой теплосетей, поэтому мои контакты с ним были скорее эпизодическими, но яркими и запоминающимися.

Все мы тогда были молоды, упорно стремились завоевать свое место под солнцем. Ощущая, по разным причинам, некоторую свою ненужность в рамках лаборатории ГБ и заброшенность в институте, я завидовал “белой завистью” своим коллегам, К. Светлову и А. Кошелеву, которыми плотно и по-настоящему занимался ВЯ во время его приездов в Иркутск, да и в Москве, во время их стажировки там. Мне было видно, что мои коллеги составляли с ВЯ настоящую творческую группу, буквально не отходили от него, вместе ставили и решали свои задачи, планировали и проводили эксперименты на уникальном устройстве – гидроинтеграторе. Было приятно видеть, как они с ВЯ засиживались на работе дотемна. Я тоже часто сидел в своей комнатке напротив них, но мне не с кем было обсуждать свои задачи по моделированию динамических систем и синтезу регуляторов, поскольку основные интересы лаборатории ГБ были связаны с технико-экономическим балансом и предстоящей докторской защитой завлаба. Единственные контакты с руководителем “родной” лаборатории были связаны либо с обсуждением моих, составляемых по просьбе ГБ, записок-отчетов о том, чем я занимаюсь, либо с участием в очередном общем сборе лаборатории для прослушивания нового варианта доклада ГБ на предстоящей его защите. До сих пор не забылись въевшиеся в память постоянно фигурировавшие в его докладе фразы типа “...с использованием критериев Хартли, Литтлвуда, Полиа можно показать...”*

В отличие от всего этого, когда в трудный период становления никто из старших товарищей по лаборатории не интересовался состоянием моей души, особенно ярко воспринимались нечастые визиты ВЯ в мою обитель. Он заходил не по обязанности, а просто так, по-человечески, чтобы побеседовать с молодым индивидуумом, одиноко тянущим свою лямку. Эти беседы были как глоток свежего воздуха, воспринимались как стимул “бороться и искать, найти и не сдаваться”. Почему это было так? Ответ прост:

* Мемуары Р.И. Ивановского включены в кн. 2 трехтомника “Вехи полувекового пути” и в сборник воспоминаний о Л.А. Мелентьеве (2011).

ВЯ был удивительно душевным и чутким человеком. Он понимал мое состояние одноборца, чужого среди своих, и по свойствам своей души и общей интеллигентности пытался чем можно помочь, поддержать дух собеседника. После его визитов хотелось работать дальше, появлялись силы для дальнейшего карабканья вверх по крутой лестнице без перил с бесконечным числом ступенек.

Я благодарен судьбе за то, что она дала мне возможность познакомиться, общаться и существовать рядом с таким, одним из немногих, человеком, как Виктор Яковлевич. Контакты с ним в тяжелый начальный период моей рабочей биографии никогда не покинут мою благодарную память.

МНЕ ПОВЕЗЛО...

О.А. Некрасова

Я окончила в 1958 г. энергетический факультет Московского инженерно-экономического института им. Серго Орджоникидзе и была распределена в Энергетический научно-исследовательский институт им. Г.М. Кржижановского, где проработала до конца 1960 г., до перехода в Сибирский энергетический институт СО АН.

В 1962 г. окончила вечернее отделение для инженеров мехмата МГУ им. М.В. Ломоносова. На последнюю сессию в МГУ приезжала уже из Иркутска, куда наша семья переехала в середине 1961 г.

Имея эти два образования, я, естественно, хотела применить в энергетике и свои математические знания.

В то время энергетики в основном освоили линейное программирование, которое успешно применялось в научных работах по топливно-энергетическому балансу, в которых участвовал мой муж Александр Семенович Некрасов. Мне же хотелось са-

НЕКРАСОВА Олеся Александровна – одна из самых первых сотрудников СЭИ, до него работала в ЭНИНе. Имея энерго-экономическое и математическое образование, под руководством В.Я. Хасилева подготовила и в 1971 г. защитила в Центральном экономико-математическом институте АН СССР кандидатскую диссертацию по оптимальной трассировке трубопроводных сетей.

мостоятельности, и я искала применение своим знаниям в других областях. Отсюда и произошло мое знакомство с Виктором Яковлевичем в начале 1961 г. Как и мы, он уже дал согласие на работу в СЭИ, но пока все мы еще были в Москве, ждали решения вопросов, связанных с организацией института в Иркутске и расселением сотрудников, прибывающих из разных городов.

В то время Виктор Яковлевич был увлечен идеями создания аналоговых, в том числе гидравлических, моделей трубопроводных сетей и еще не был знаком с возможностями математического моделирования, поэтому наш разговор не имел продолжения. Виктор Яковлевич сказал, что не видит возможностей для моего участия в его направлении, с чем мы и расстались.

Надо сказать, что одной из характерных черт Виктора Яковлевича как ученого было умение осваивать новые области в науке, что и проявилось в моем случае.

Прошло несколько лет, и в сходной ситуации Виктор Яковлевич поставил передо мной задачу оптимальной трассировки трубопроводных сетей, которая, как оказалась, имела нетривиальное математическое решение. Она стала темой моей кандидатской диссертации и впоследствии оказалась необходимым звеном в практическом применении общей теории гидравлических цепей, разработанной в дальнейшем Виктором Яковлевичем.

Работа над диссертацией продолжалась несколько лет, что было связано с моими личными обстоятельствами, так как в это время, формально работая в СЭИ, я жила в Москве и встречалась с Виктором Яковлевичем, когда он приезжал домой из Иркутска раз в месяц или даже реже. Потом я поступила в очную аспирантуру Центрального экономико-математического института, моим руководителем остался Виктор Яковлевич.

Что меня особенно поражало в манере Виктора Яковлевича как руководителя, так это желание вникать в, казалось бы, далекие от его профессиональных интересов проблемы. Мне пришлось для своего метода разработать алгоритм и написать программу в кодах для БЭСМ-2, на которой мы все работали тогда, чтобы затем провести расчеты для реальных сетей. И при каждой нашей встрече с Виктором Яковлевичем я должна была подробно рассказывать ему не только теоретические результаты, но и все детали алгоритма и особенности программирования и отладки программы на ЭВМ.

Помню случай, когда я, успев забыть, на чем мы остановились в прошлый раз, пыталась начать с уже пройденного, а Виктор Яковлевич остановил меня словами: “Это я уже слышал в прошлый раз, давайте дальше”.

А однажды, разбираясь в моем алгоритме, Виктор Яковлевич вдруг спросил, не играю ли я в преферанс, – пришлось признаться, что люблю, хотя времени на это у меня давно нет. Потом долго ломала голову, что в моем алгоритме привело его к этой догадке.

Но не только профессиональные черты вызывали к Виктору Яковлевичу большое уважение и симпатию.

Главная его черта, которая располагала к нему, мне кажется, всех людей, – это его абсолютная интеллигентность. Для меня это особая черта, стоящая на первом месте в общении с людьми этой в наше время уже "уходящей натуры"...

Тут как-то на телевидении в программе "НТВэшники" устроили диспут на тему "Что такое современная интеллигенция и нужна ли она сейчас обществу" (не ручаюсь за точность названия, но смысл такой). Это было довольно печальное зрелище, так как сами ведущие и участники программы даже не смогли сформулировать, что такое интеллигент в наше время, со всеми вытекающими отсюда последствиями.

А я, слушая их, сразу сказала себе, что мне, например, не нужны никакие формулировки, поскольку я знаю настоящего интеллигента – и это, конечно, В.Я. Хасилев.

Вспоминаю случай в Таллине, куда мы однажды поехали в командировку по приглашению эстонского Института термофизики и электрофизики АН. Виктор Яковлевич с женой Аллой Филипповной и я жили в разных концах города. Однажды, задержавшись в институте, мы опоздали пообедать и пытались сделать это в городе. Нам не повезло, началось время обеденных перерывов в заведениях общественного питания. Около ближайшего ресторана собралась группа жаждущих, но швейцар грудью закрывал вход. Мы совсем приуныли – уж очень хотелось есть, а куда податься, мы не знали. И тут Виктор Яковлевич подошел к швейцару, на глазах у всех поговорил с ним несколько минут, и нас троих грозный страж пропустил. Я потом спросила Виктора Яковлевича, какое волшебное слово он сказал ему. Ответ был: "Да ничего особенного, просто объяснил ситуацию".

В общем эстонцы нас очень хорошо принимали, в свободное время отвезли на экскурсию с обедом и сауной, как было принято в то время. При этом Виктор Яковлевич был очень смущен таким приемом и тихонько мне сказал, что чувствует себя как бы Хлестаковым. А я с ним не согласилась, так как считала, что все было вполне заслуженно.

Это, конечно, небольшой эпизод, но он раскрывает человеческое обаяние и скромность Виктора Яковлевича.

После окончания аспирантуры и защиты диссертации я работала в математическом отделе Центрального экономико-математического института АН СССР. Виктор Яковлевич как-то пришел туда на переговоры с моим начальством о совместной работе. На следующий день сотрудники, которые не участвовали в переговорах, спрашивали меня, что за симпатичные люди приходят ко мне в отдел. Такое впечатление производил Виктор Яковлевич даже на посторонних людей.

А еще у Виктора Яковлевича было замечательное чувство юмора, ведь он был одессит. Помню его обычную поговорку при начале работы: "Как говорят у нас в Одессе, будем посмотреть, что мы тут имеем."

К сожалению, Виктора Яковлевича давно нет с нами, но мне кажется, что со временем истинный масштаб человека становится виднее. Время все расставляет по местам, а я благодарна судьбе, что мне удалось хоть недолго поработать с ним и чему-то у него научиться – не только в науке, но и в человеческих отношениях.

МЯГКОЕ ОБУЧЕНИЕ*

М.К. Такайшвили

Писать о Викторе Яковлевиче было легко при жизни, легко и сейчас, когда его уже нет. Легко потому, что не надо ничего выдумывать, изобретать черты, которые были бы положительны, и пытаться обойти отрицательные. Человек с богатейшим жизненным опытом, знаниями, поражающими своей широтой, очень доброжелательный к людям. Большой человек и большой ученый.

Наш коллектив жил с ощущением, что Виктор Яковлевич всегда в лаборатории, даже после того, как он уехал из Иркутска в Москву – там он наш постоянный руководитель, бухгалтерия и касса взаимопомощи, советчик по житейским вопросам и вообще – учитель в самом широком смысле слова.

Во время моих командировок в Москву были нередки его звонки: “Приходите ко мне, мы погуляем, поговорим...” Чего только не узнаешь за время этих прогулок! От Эйзенштейна с Черкасовым в “Иване Грозном”, архитектурных особенностей и памятников Москвы до одесской истории с биржей, которая теперь – филармония. Но и просто помолчать рядом – это тоже бывало хорошо! Очень часто наши производственные встречи заканчивались в Доме ученых. Там вместе с ВЯ мы как-то слушали Е.С. Вентцель (И. Грекову – как писательницу) на одной из научных сред. Так же удалось попасть на лекцию А.Н. Зубкова о йоге, на концерт Никитиных и Берковского, на устный выпуск журнала “Техника – молодежи” с фильмами о снежном человеке, о “Раньше плавать, чем ходить” и о дельта-планеристах...

ТАКАЙШВИЛИ Михаил Константинович – один из немногих коренных иркутян среди первых сотрудников СЭИ. В 1961 г. включился в исследования лаборатории теплоснабжения, проходя там преддипломную практику, распределился туда в 1962 г. по окончании физматфака ИГУ. Один из первых институтских программистов-прикладников. В 1971 г. в Новосибирске защитил диссертацию по методам расчета аварийных режимов, надежности и резервирования тепловых сетей.

* Вначале идет текст из книги “Траектории СЭИ”, 2001, т. 1, с. 229–230, который, как представляется, был напечатан в стенгазете “Энергия–Сибири” после смерти В.Я. Хасилева.

Виктор Яковлевич всегда мог посоветовать, на что и куда (постановка, театр) сходить, какого исполнителя послушать и какую именно вещь. Тут можно было услышать целую искусствоведческую лекцию о виртуозах прошлого и настоящего, о различных интерпретациях тех или иных вещей.

Всегда поражала научная неиссякаемость Виктора Яковлевича. Каждый его приезд в лабораторию становился периодом проверки устоявшихся воззрений и продуцирования новых идей – это какая-то фантастическая картина, которая всегда поражала – и это было благодаря тому, что ВЯ всегда работал собственными головой и руками, он был щедр на идеи и всегда учился.

Все это у него сочеталось с широким и доброжелательным отношением к ученикам и соратникам. Как-то при оформлении ответственнейшей статьи с результатами исследований по надежности, которые были заслугой в основном Виктора Яковлевича, он поставил свою фамилию на второе место, а возражения парировал в обычном своем стиле – с помощью анекдота, короткого рассказа-притчи, меткой характеристики: “Ну, вот что: Ленинскую премию мы разделим, а в данном случае – не надо усложнять”.

Непосредственность ВЯ сочеталась с рафинированной деликатностью. Как-то явился я к нему с бородой и усами. Реакция после секундного разглядывания была: “Сбрить!”, а через минуту: “Знаете, а Вы ничего, Вам даже идет”.

Вся лаборатория была коллективным членом семьи Виктора Яковлевича, к Хасилевым было приятно ходить, у них всегда было уютно. Кроме деловых разговоров, там отмечались и защиты, и дни рождения. Перед глазами стоит картина застолья у шефа, когда он с доброй (привычной для нас) и мудрой улыбкой обнимал глазами всех своих гостей, и было там очень-очень хорошо.

Все, что у меня связано с ВЯ*, окрашено ощущением подарка судьбы. Очень трудно передать его харизму, его вибрации... теплую дружескую атмосферу, которую он нес с собой. Даже стоя у его гроба, я ловил себя на том, что у меня по лицу ходит улыбка, которая невольно набегала, когда я вспоминал ВЯ в тех многочисленных ситуациях, в которых мы были вместе.

Возвращается из Москвы Т.Б. Ощепкова и рассказывает: “Сижу в Домодедово, рейс переносят и переносят, наконец посадка. Звоню ВЯ: “Ну, я полетела, Виктор Яковлевич, до свидания” – и уже в самолете с ужасом смотрю на часы – три ночи?!”. Об этом никогда не упоминалось.

Анатолий Петрович Меренков собирает ядро лаборатории (это было в голодные времена в Иркутске, да и во всей стране, кроме Москвы, когда все было дефицитом): “Завтра прилетает ВЯ, везет каждому по мороженой курице, будьте готовы быстро их забрать, чтобы не потекли”.

---

* Далее написано в ноябре 2011 г.

Мы с ВЯ у него дома в Москве, на кухне, обедаем. Я, наблюдая за ним, говорю: “Виктор Яковлевич, вы есть не умеете”. Он сконфуженно оглядывает себя – не набрызгал ли, не капнул на себя? Тут уж я смутился – этого я бы “не заметил”. Объясняю: “Мы здесь, на кухне, а вы мысленно – там, в кабинете, за столом, за работой”. Отсюда приступы гастрита, когда ВЯ вынужден был принимать альмагель и стонал: “О, бедный Хасилев!”

Я в командировке в Москве, гриппую в общежитии АН. Просыпаюсь днем, смотрю на прикроватную тумбочку – лежит принесенная Виктором Яковлевичем книга – с закладками для меня.

ВЯ, когда мы бывали у него в Москве, всегда советовал, куда сходить, что посмотреть и, когда мог, доставал нам билеты на разный дефицит, используя свое членство в Доме ученых. Так я попал на замечательный концерт Сурена Качаряна – он читал “Шахерезаду” – это я до сих пор помню...

Как-то ВЯ организовал в Москве мне с С.В. Сумароковым приработок – мы же были редкими в то время специалистами-программистами. После короткого разговора с начальником какой-то крупной конторы, к кому послал нас ВЯ, этот фееричный человек буквально за три минуты, как на рентгене, выяснил о нас все, и я стал “сибирским грузином”, а Сумароков – “сибирским скрытным умельцем”. Что-то мы запрограммировали и посчитали на ЭВМ и деньги получили. У ВЯ и друзья-знакомые были замечательные.

Как-то ВЯ вздохнул: “Миша, умных много – порядочных мало!”

Живя в Иркутске, ВЯ очень скучал по дому и часто звонил в Москву супруге Алле Филипповне и дочке Вере. Однажды после очередного разговора он процитировал супругу: “Виктор, я понимаю, почему у тебя никогда не будет нового пальто!”

Были очень интересны и поучительны его рассказы об Одессе и одесские анекдоты*. “Вам шашечки или ехать?”; вывеска на овощной лавке: “Овощей!” Анекдот о двух приказчиках: первый был послан к обозу с картошкой с вопросом, откуда везут; вернулся с ответом, оттуда-то; снова послали спросить: “Почем?”, вернулся, сказал цену; снова послали узнать сорт... и т. д. Второй же сразу выспросил все это, а еще и “почем оптом? а если у нас переночуете?..”, – за что и был повышен в должности. Подобное рассказывалось очень к месту – этакое мягкое обучение.

* Об “одессизмах” В.Я. Хасилева есть в мемуарах Б.М. Кагановича и А.А. Кошелева.

КРУПНЫЙ УЧЕНЫЙ И ДУШЕВНЫЙ ЧЕЛОВЕК

Н.Н. Меренкова

В душе многих остался теплый след от общения с удивительным человеком Виктором Яковлевичем Хасилевым, которого называли (и называют) между собой его многочисленные ученики ВЯ.

Многосторонне образованный, прошедший трудную жизнь и не утративший ни душевной теплоты, ни одесского юмора, Виктор Яковлевич привлекал, притягивал к себе людей, с которыми всегда разговаривал на равных. Это умение общения с самыми разными по характеру и знаниям людьми он старался передать своим ученикам.

Работая в СЭИ в первые годы его становления, трудно было не заметить крупную фигуру ВЯ, и думаю, что не было сотрудников в институте, кто бы не знал, кто такой ВЯ. Знают, кто такой ВЯ, я уверена, и новые молодые сотрудники теперешнего отдела трубопроводных систем. Знают и почитают, потому что при каждой встрече, дискуссии непременно вспоминают основателей этого отдела В.Я. Хасилева и А.П. Меренкова. Вспоминают ВЯ не только как основоположника тех научных разработок, что продолжают жить и развиваться благодарными его учениками (и учениками его учеников), но и как очень доброго, по-отечески заботливого и очень многогранного человека.

Меня лично, тогда совсем молодую сотрудницу СЭИ, с первых же встреч поразила широта интересов ВЯ. Он мог с легкостью перейти от разговоров на научную тему к оценке той или иной художественной выставки, рассказать о музыке и музыкантах или поговорить о новых художественных книгах. Но особенно меня поражало, с какой тактичностью (и знанием) он вступал в разговоры на политические темы (вопреки пылкости и эмоциональности своих молодых оппонентов). Чувствовалось, что ВЯ знает и понимает намного больше своих слушателей, но он никогда не давил на них своим авторитетом.

Та же тактичность и умение выслушивать собеседника проявлялись при обсуждении научных тем. Мне посчастливилось (именно так я могу сказать) работать с ВЯ, когда я писала свою кандидатскую диссер-

МЕРЕНКОВА Неля Николаевна окончила Новосибирский государственный университет, работала в СЭИ в 1963–1983 и 1989–2000 гг. В 1980 г. защитила кандидатскую диссертации по техническим наукам в Институте математики СО АН СССР по оптимизации производительности источников и конфигурации гидравлических цепей.

тацию под его руководством. ВЯ тогда уже жил и работал в Москве, наши встречи были не часты, но именно потому они запомнились – как терпеливо ВЯ выслушивал мои изыскания, тактично поправляя и направляя дальнейшие поиски решения. Этот стиль тактичности и внимательности, без давления, при работе с диссертантами перенял и А.П. Меренков, один из ближайших учеников и последователей ВЯ. В то же время такой стиль побуждал и диссертанта выполнять работу качественно, чтобы не подвести своего руководителя.

Крупных и хороших ученых много, но не каждому удается оставить после себя столько благодарных учеников, которые составили целую "школу Хасилева". В этой школе продолжают развиваться на новом уровне те идеи, что были заложены в теории гидравлических цепей (ТГЦ), приложения которой можно найти в самых различных системах, имеющих сетевую структуру (от технических трубопроводных систем до систем кровообращения). Эта школа воплотилась в постоянно действующий научный семинар по трубопроводным и гидравлическим системам, организатором и руководителем которого стал А.П. Меренков.

Хотелось бы сказать несколько слов о семье Виктора Яковлевича, очень дружной и доброжелательной ко всем многочисленным знакомым, друзьям и ученикам ВЯ. После отъезда ВЯ в Москву (1968 г.) наши встречи проходили в основном на его квартире на улице Дмитрия Ульянова. И всегда нас встречала с приветливой улыбкой его супруга Алла Филипповна, расспрашивала о нашем житье-бытье, делилась своими новостями.

И в дальнейшем, после ухода из жизни ВЯ, мы с Анатолием Петровичем с удовольствием приходили в гости к Хасилевым, где нас встречали тепло, уют и душевные разговоры. После переезда семьи Хасилевых в США мы с Аллой Филипповной поддерживаем связь в письмах.

В заключение повторю, что Виктор Яковлевич, крупный и уважаемый ученый, был очень душевным человеком, общение с которым доставляло радость. Таких мало.

ПАМЯТНАЯ ВСТРЕЧА

В.Р. Чупин

В 1975 г., после третьего курса Иркутского политехнического института, вместе с Н.Н. Новицким я пришел на практику в лабораторию гидравлических систем СЭИ, обязанности заведующего которой исполнял Б.М. Каганович. Борис Моисеевич сразу и с большим удовольствием направил нас в колхоз, в село Хомутово для знакомства со спецификой и многогранностью научной деятельности. Во время учебы на четвертом и пятом курсах мы регулярно бывали в этой лаборатории, где под руководством С.В. Сумарокова познакомились с особенностями расчета водопроводных сетей и приобщились к ЭВМ. Анализ функционирования систем водоснабжения Иркутска, выполненный в СЭИ, составил основу наших дипломных работ.

После окончания института я пришел в лабораторию гидравлических систем в группу С.В. Сумарокова. Через год в лабораторию пришел и Н.Н. Новицкий, распределившийся в Иркутский трест "ВОДОКАНАЛ".

Мои научные исследования начались со знакомства с докторской диссертацией Виктора Яковлевича Хасилева. Она оказалось такой большой и толстой, что я не был уверен, что когда-нибудь ее прочитаю. Однако я ее изучил, и она мне запомнилась на долгие годы. Поразило не только и не столько множество формул, сколько многообразие графических интерпретаций, которые в очень доступной форме иллюстрировали и подтверждали сделанные выводы и заключения. Аналогичным стилем изложения мыслей я пользуюсь до сих пор.

Мое научное направление определил Анатолий Петрович Меренков, предварительно обсудив его с В.Я. Хасилевым. Тогда для развития теории гидравлических цепей (ТГЦ) требовались новые приложения, которые позволили бы ставить новые задачи, расширять и дополнять основные положения

ЧУПИН Виктор Романович, директор Института архитектуры и строительства Национального исследовательского Иркутского государственного технического университета, доктор технических наук, профессор; окончил факультет специальных строительных работ Иркутского политехнического института, в 1977–1992 гг. работал в лаборатории гидравлических и трубопроводных систем СЭИ; в 1984 г. защитил кандидатскую диссертацию "Схемно-структурная оптимизация систем многофункциональных каналов"; в 1991 г. – докторскую "Оптимизация развивающихся систем подачи и распределения воды".

ТГЦ. В качестве таких объектов приложения теории были выбраны самотечные каналы, включая каналы для переброски стоков рек. В те годы в стране широко обсуждались крупномасштабные проекты переброски части стока северных рек на юг для орошения засушливых земель, и явно требовалась обоснованная проработка проектов. ТГЦ как нельзя лучше подходила для этих целей.

Воодушевившись поставленной передо мной задачей и вооружившись множеством идей, я погрузился в гидравлику и теорию проектирования каналов. Но как практика без теории слепа, так и теория без практики мертва, поэтому я стал изучать основы проектирования и сооружения столь сложных систем. В то время уже завязывались контакты с Союзгипроводхозом, головным институтом по проблеме переброски стока рек, который располагался в Москве. Туда осенью 1977 г. я вместе с А.В. Храмовым отправился в командировку. Перед отъездом А.П. Меренков сказал, что в Москве со мной хотел бы пообщаться В.Я. Хасилев.

Встреча произошла на квартире Хасилевых. Я помню каждую деталь, каждую подробность нашей встречи и нашего разговора. Меня поразила большая квартира, высокие потолки, огромный кабинет, куда меня провел его хозяин. Наш разговор длился почти три часа. Виктор Яковлевич оказался очень интересным собеседником, веселым и жизнерадостным. Мы говорили о жизни в Иркутске, о работе в СЭИ, но больше всего говорили о гидравлике, о роли ТГЦ в решении практических задач. В итоге наш разговор сосредоточился на каналах для переброски стоков рек, на возможностях ТГЦ по решению задач выбора оптимальных трасс, профиля, сечения каналов. Я увидел, что передо мной не только ученый, доктор наук и профессор, но и Инженер с большой буквы.

Я получил от Виктора Яковлевича большой заряд энергии и желания работать и разрабатывать новые подходы к оптимизации напорных и безнапорных систем транспорта воды – этим я, собственно, и занимаюсь до сих пор.

Виктор Яковлевич приезжал в Иркутск в 1978 г., но уже так душевно и откровенно поговорить не удалось.

Я считаю себя учеником Анатолия Петровича Меренкова, а Виктор Яковлевич, несмотря на короткие встречи, заложил во мне интерес к науке и потребность докапываться до истины.

МНОГО БОЛЬШЕ ЧЕМ УЧИТЕЛЬ

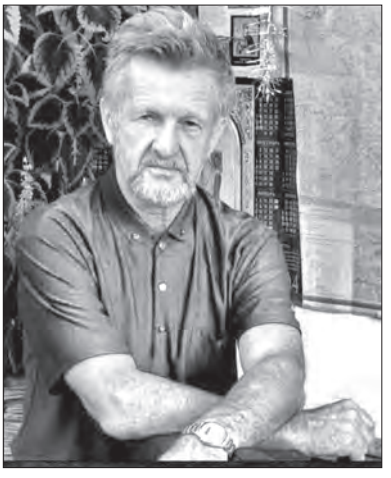
А.А. Кошелев

В жизни каждого человека встречаются люди, которые оставляют заметный след в памяти, их можно считать учителями жизни.
А.Ф. Галкин,
директор ЯкутНИИпромалмаза

Как меня занесло к Хасилеву

В конце лета 1960 г. я находился в Рустави, где занимался наладкой газопылеугольных парогенераторов на ТЭЦ Закавказского металлургического завода им. И.В. Сталина. Неожиданно из управления нашего треста "Энергочермет" в Ростове-на-Дону мне переслали письмо Л.А. Мелентьева с приглашением перейти на работу в СЭИ. Ответив положительно, я написал, что мой производственный опыт может пригодиться при экспериментах на теплоэнергетических установках. Директор будущего института профессор ЛИЭИ Л.А. Мелентьев, вероятно, с участием будущего заведующего лабораторией доцента МИНХ В.Я. Хасилева решил определить меня в лабораторию именно теплоснабжения и привязать к одной из самых крупных экспериментальных установок – гидравлическому интегратору, о чем я был извещен следующим письмом. Об интеграторе производства Рязанского завода счетно-аналитических машин (аббревиатура САМ стояла тогда, пожалуй, на всех кассовых аппаратах) я расскажу ниже, также это есть в мемуарах О.А. Балышева.

Дальше пошла переписка с Л.С. Попыриным – ученым секретарем уже созданного к тому времени института, дислоцированного по адресу 664003, Иркутск, ул. Киевская, 1. Мне было гарантировано зачисление в следующий за увольнением день на должность младшего научного сотрудника с окладом 135 рублей и сказано, что я буду прикомандирован к Ивановскому энергетическому институту (в этом городе был мой родительский дом, и там же пре-



КОШЕЛЕВ Александр Алексеевич, выпускник Ивановского энергетического института им. В.И. Ленина по специальности "промышленная теплотехника", работает в институте с момента организации лаборатории теплоснабжения. В 1966 г. первым из ее сотрудников-аспирантов В.Я. Хасилева защитил диссертацию по исследованию нестационарных режимов в системах теплоснабжения. В 1976 г. возглавил лабораторию экологических проблем энергетики, выделившуюся из трубопроводной лаборатории.

бывал Л.С. Попырин, как и я, выпускник ИЭИ) на время, пока в Москве не будут решены вопросы стажировки и обустройства сотрудников новосибирских, иркутских и других академических институтов.

В ходе этих письменных переговоров я сообщил, что собираюсь жениться, на это мне ответили, что жену тоже устроят на стажировку в Москве и на работу в институте, а в Иркутске нам дадут однокомнатную квартиру, когда будет введен первый же академический дом...

Обустроившись в Москве, в общежитии СО АН на 4-й Черемушкинской, мы с Валентиной прибыли представиться начальству, в соответствии с любезным телефонным приглашением заведующего нашей лабораторией, к нему на квартиру. Квартира находилась в доме на углу Ленинского проспекта и улицы Дмитрия Ульянова. Улица после пересечения этого проспекта превращалась в Университетский проспект, в начале которого на Ленинских (до и после того – Воробьевых) горах вознеслась одна из московских высоток – новое здание МГУ.

Мы прибыли на эту встречу загодя, посидели в скверике, поднялись на лифте и позвонили в квартиру в назначенное время с точностью до секунды – буквально.

Все детали не помнятся: и волновался сильно, да и полвека прошло...

В вузе мне, естественно, приходилось контактировать с остепененными преподавателями на зачетах-экзаменах, а в работе по линии СНО довелось общаться с ними *tete-a-tete*. В наладке довелось иметь дело с людьми разными. В "Траекториях СЭИ" (2001) рассказано о контакте (после аварии во время пусковых испытаний парогенератора в Рустави) сразу с двумя генеральными секретарями: ЦК комсомола Грузии – Эдуардом Шеварнадзе и ЦК ПОРП – Ладиславом Гомулкой... В наладке моими меняющимися начальниками были специалисты высочайшего класса – и хорошие, и разные. Все у меня менялось и мелькало, как в калейдоскопе, но несмотря на интересную и неплохо оплачиваемую работу, мне такое надоело. И мы с женой собрались начинать нашу новую жизнь на новом месте с нуля.

Встреча предстояла если не судьбоносная, то весьма важная: это были взаимные смотрины, первый визуальный контакт двух сотрудников пока виртуальной лаборатории с человеком, кому они были переданы под начало. Наши с Валентиной предыдущие жизнь и работа уже ушли в прошлое как этап, предшествующий "всей оставшейся жизни" в чёрт-те как далекой от родительских мест Сибири и работе в особой сфере – науке. Соответственно, сейчас мы увидим нашего "душеприказчика", который, как минимум, надолго.

Четыре года после учебы в институте и отъезда из родительского дома в роскошном городе Ростове (если Одесса – мама, то Ростов – папа) у меня имелась лишь койка в полнометражной элитной ведомственной двухкомнатной квартире-общежитии без перспективы получения отдельной жилплощади до видимого горизонта, а до того я жил с двумя такими же молодыми специалистами-наладчиками в комнате частного дома, которую для нас сняла наша фирма. В Ростове я бывал лишь по праздникам, к которым собирали всех наладчиков, и при переездах с одного объекта на дру-

Жених Александр и невеста Валентина, г. Лиски, август 1960 г.

гой, от одного руководителя наладочных бригад со сменным составом к другому. Из движимости, кроме одежды-обуви, у меня имелся лишь отличный набор фотопринадлежностей да нарастающая библиотечка по теплоэнергетике, а интенсивно приобретаемую в командировках худлитературу я отсылал в Иваново. При этом я не планировал возвращаться в родительский дом, а рассматривал его лишь как “базу подскока”.

Насчет Иркутска все было окончательно обговорено, когда я находился в Лисках (это Воронежская область), – оттуда я послал два заявления: о приеме на работу – в Иркутск, об увольнении – в Ростов, а третье заявление было подано в тамошний ЗАГС. Через две недели приехал в Ростов, оформил увольнение, отправил багаж в адрес родителей и поехал туда с остановкой на три дня в Лисках, где была сыграна свадьба с юной лаборанткой ТЭЦ Валентиной в ее девятнадцатый день рождения. В Иванове мы с ней пробыли пару недель, пока не получили вызов в Москву. Там при Президиуме АН СССР существовала так называемая группа содействия СО АН – как бы наше консульство, дипломатическое представительство во главе с обаятельным менеджером Е.Н. Новоселовым, и имелась явочная квартира института – полуподвал старого дома в Хвостовом переулке возле станции метро “Серпуховская”, которая теперь “Добрынинская”*.

Вот такова предыстория нашего с женой официального визита на квартиру В.Я. Хасилева.

Виктор Яковлевич был дома один. Расположил к себе сразу же, на пороге: домашний облик, что-то такое отеческое, простое (но не простецкое!), гостеприимное – с пониманием нашей “приезжей” и молодоженной сму-

* О московской стажировке сотрудников института подробно рассказано в первом томе “Траекторий СЭИ”.

На чествовании “золотых пар” в Иркутском областном драматическом театре, декабрь 2011 г.

щенности (о нашем семейном положении ВЯ был уведомлен). Провел в кабинет, усадил. Дальше (отмечу, что и жена подтверждает мое тогдашнее впечатление) состоялся обстоятельный “тестовый” опрос в форме беседы, располагавшей к откровенности, перемежаемый общими планами-задумками – о лаборатории, об институте, о его директоре. Виктор Яковлевич к тому моменту еще не бывал в Иркутске, так что не мог ничего добавить к тому, что мы с Валентиной уже знали из книг. По получении от Мелентьева предложения насчет работы в создаваемом институте мы сразу же занялись углубленным виртуальным изучением того, что могло стать нашим ПМЖ, – от чтения книг с географией и историей края до целевого пересмотра фильма “Сказание о земле сибирской”, перечитывания повести лауреата Сталинской премии, будущего диссидента Рыбакова “Продолжение легенды” и пьесы Арбузова “Иркутская история” – о строительстве Иркутской ГЭС. У Анатолия Рыбакова о самом Иркутске специально не говорилось, но юный герой повести про контакт с городом упоминает без восторга. Про Байкал с Ангарой я писал сочинение в школе. Ожидая в Иванове вызова в Москву, я встречался со Львом Сергеевичем Попыриным, который в Иркутске побывал и соответствующими положительными впечатлениями со мной делился.

С нашим завлабом разговор ни о городе, ни о Байкале вообще даже не зашел – тогда мне это показалось странным: говорили лишь о работе... Нет, я не причислил это к “зауженности” кругозора нашего московского собеседника, а лишь понял, что его наука, его работа, его идеи – это для ВЯ пусть не все, но явно основное и главное в жизни – и это отлично, а с природой тамошней я и сам как-нибудь разберусь. Я ехал в Сибирь в значительной мере еще и потому, что природа Украины, Донбасса, Придонья

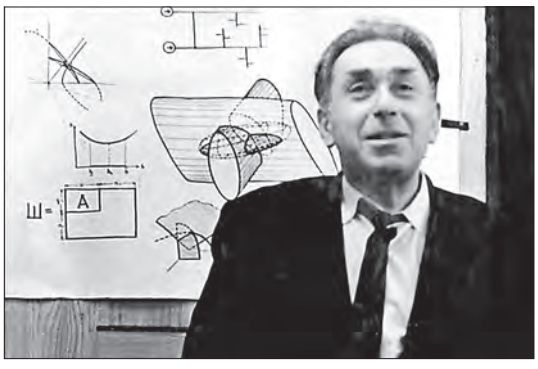
и Приднепровья, Средней Азии и Кавказа и моей родной Центральной России – это прекрасно, но это не по мне: чукче нужна тундра, бедуину – Сахара, а мне – Сибирь.

От Хасилева мы вышли успокоенные, умиротворенные, в надежде, что работать с ним будет легко, а если там все начальники будут, как он и Попырин, то совсем хорошо.

Мои первые задачи

В мемуарах Сумарокова упомянута и в этой книге представлена та "знаменитая фигура" (она видна на моих фотографиях с большого чаепития по поводу докторской защиты ВЯ), которая в оде "Хасилиада" поэтически описана как "Два эллиптических цилиндра / И огурцоид посреди – / Аналог тепловой сети" – там же упомянута "прохлада подмосковной дачи".

Предыстория такова. Не будучи прямо или хоть сколько-нибудь опосредованно причастным к разработке хасилевской теории гидравлических цепей (ТГЦ), имею основание утверждать, что "и мы пахали", как та муха на спине тащившего плуг вола. (В стенгазете "Энергия–Сибири" шла постоянная рубрика "От скромности не умрем".) Первое наглядное доказательство, во-первых, возможности, во-вторых, множественности решений очень непростой системы уравнений даже для простейшего случая – помнится, разветвленной цепи с двумя источниками – было получено именно мною – да, вот так вот! – с помощью проективной (или проекционной?) стереометрии летом 1961 г. во время стажировки в Москве. Виктор Яковлевич придумал и, уж не помню, с чего бы, попросил меня попытаться такое сделать: а вдруг получится. Начертательную геометрию как инженерную графику с элементами изобразительного искусства я очень любил, и она мне в вузе давалась легко, а в наладке я набил руку на пространственных изометрических схемах-чертежах трубной обвязки парогенераторов с арматурой, но тут оказалось ого-го: надо было найти в трехмерном пространстве сначала две линии пересечения двух эллиптических цилиндров, где один пронзает другой, затем найти точки пересечения этих линий с эллипсоидом (кто-то из наших назвал его огурцоидом – в точку!), пронзающим оба цилиндра (как видно на упомянутых фотографиях, таких точек оказалось восемь). При этом требовалось так изобразить эту систему из трех тел вращения, чтобы и ежу стало очевидно, что оно – вот так, только так и никак иначе. Наличие точек пересечения и их количество из системы уравнений не было очевидным для ВЯ, математика неслабого (о себе – вообще молчу). Так вот, я окончательно решил эту задачу (ясно стало не только любому ежу, но и мне) в электричке по пути на дачу, которую Хасилевы регулярно арендовали с весны до осени в Подмосковье, неподале-



ку от самого маленького – для местных авиалиний – аэропорта “Быково”. Ехал я, всего скорее, просто так, в гости и посмотреть, что такое есть подмосковные дачи (я их видел, пожалуй, лишь в фильме “Тимур и его команда”), но был настолько рад одолению задачи, что от остановки бежал, как голый Архимед, вытолкнутый из ванны рассчитанной им подъемной силой жидкости, или Ньютон с шишкой на голове от яблока (“от скромности не умрем”). Издали увидев святое семейство – ВЯ, Аллу Филипповну и пионерку Веру Викторовну, распивавших чаи под сенью каких-то фруктово-ягодных магнолий, я сначала прокричал: “Эврика”, – а уж потом поздоровался. ВЯ принял работу весьма спокойно: одесситы – они такие, они невозмутимые, а одесситы бывшими не бывают, даже став коренными москвичами.

Первая задача, решенная мною в Иркутске на Киевской, 1, связана с однотрубными тепловыми сетями. Однотрубный транзит тепла был обоснован еще в 1930-х годах В.Б. Пакшвером для дальнего теплоснабжения городов при двухтрубной (обычной) схеме разводки сетей внутри города.

Переход на однотрубную схему со сливом избытков воды, охлажденной в приборах отопления, насколько известно, впервые был предложен в 1950-х годах Д.О. Аграчевым (работавшим с Л.А. Мелентьевым) для Ленинграда в процессе проработки варианта подключения к городской сети мощной восьмой ЛГЭС в Дубровке, удаленной от города на 60 км. ЛГЭС – это прижившаяся аббревиатура, расшифровывающаяся как Ленинградская государственная электрическая станция, местный аналог ГРЭС, где первые две буквы – “Государственная районная”. По ряду причин проект не был осуществлен, но идею реализовали при подключении к системе теплоснабжения Свердловска загородной ТЭЦ, сооруженной в 40 км от города. Наша ТЭЦ-10 (Ангарск), которая рассматривается и сейчас в одном из альтернативных вариантов наращивания мощности системы теплоснабжения Иркутска, находится на расстоянии больше 20 км от окраины Ленинского района и 40 км от центра города.

Есть основание полагать, что Виктор Яковлевич если и не был непосредственно причастен к идее однотрубного транзита тепла, то имел здесь достаточно детальное представление: во-первых, потому что это комбинированная схема (термин мой) гидравлической цепи; во-вторых, в монографии 1962 г. по однотрубным системам среди их разработчиков указаны Л.К. Якимов, заведующий кафедрой энергетики МИНХ (там до и после СЭИ работал Виктор Яковлевич), и Л.А. Мелентьев.

Уже не знаю, для чего шеф поручил эту задачу именно мне – то ли потому что “а почему бы нет”, то ли в качестве квалификационной проверки, то ли для регенерации и развития моих знаний, полученных в вузе по дипломной специализации и затушеванных четырьмя годами работы котельщиком. Это была не оптимизационная, а одновариантная параметрическая задача на уровне задачника по тепловым сетям для студентов: определить минимальное значение температуры сетевой воды, при которой ее расход на отопление не превысит разбора на горячее водоснабжение. Задача меня увлекла: диапазон значений исходных расчетных параметров в справочниках оказался весьма широк, поэтому я, выдав заказчику ре-

зультат для заданных им условий, выполнил многовариантные расчеты, по результатам которых построил ну очень красивые графики, а по ним – номограмму. Номограммы как форму существования материи я "открыл" в вузе, спрессовав толстую пачку пофакторных зависимостей ЭДС, через которую измерялось содержание оксида углерода в дымовых газах на экспериментальном стенде кафедры котельных установок.

Я несколько разочаровался в себе, узнав, что я не первый в мире номографист, что и до меня на одном графике собирали сходящиеся и расходящиеся пучки линий, где у каждого пучка – свой аргумент. Правда, разочаровался в меньшей степени, чем Великий комбинатор Остап Бендер, когда промучившись всю ночь, он к утру написал замечательное стихотворение "Я помню чудное мгновенье", а потом оказалось, что его здесь на целых сто лет опередил такой-сякой Пушкин.

Номограммы стали моим "бзиком" (слово введено в СЭИшный оборот Хасилевым) на производстве во время наладки парогенераторов, когда приходилось выполнять много-многовариантные, зачастую весьма однообразные балансовые расчеты при испытаниях парогенераторов, где велись замеры температуры и давления в десятках точек газовоздушного тракта, температуры и расхода воды и пара, состава дымовых газов. В дополнение к универсальным номограммам нормативного метода я составлял "подномограммы" для конкретных условий, начав с простенькой номограммы для определения критерия Рейнольдса (поясняю для непричастных: значение Re нужно для расчета гидравлических потерь и коэффициентов теплоотдачи).

Помнится, мой заказчик результатами расчетов однотрубного теплоснабжения для условий Иркутска был вполне доволен: они укладывались в его экспертные оценки, т. е. "соответствовали"*. Ну а мои многовариантные расчеты с наукообразными номограммами результатов – тут не только он, но и я понимали, что это не Бог весть что, хотя оно красиво.

Вторая задача – это личный заказ одного из многочисленных друзей-коллег Виктора Яковлевича – фамилию не помню, а имя Самад Агаевич, из дагестанской академической епархии. Они с шефом поспорили, на какой момент глубина сезонного промерзания грунта бывает максимальной.

---

* В мемуарах Б.М. Кагановича рассказано, как В.Я. Хасилев от имени Л.А. Мелентьева обратился в Иркутский филиал Промэнергопроекта с просьбой просчитать вариант подачи тепла в Иркутск от ТЭЦ-10 без обратного трубопровода – можно предположить, что это было сделано после анализа результатов этих балансовых оценок.

При столь абстрактном заказе я поставил ее как задачу матфизики: нестационарный циклический теплообмен в сплошном однородном одномерном массиве при сочетании граничных условий третьего рода (циклически изменяющаяся температура воздуха при переменной глубине снежного покрова с постоянными коэффициентами теплопроводности снега и теплоотдачи от воздуха; постоянная температура грунта на глубине, куда сезонные колебания заведомо не доходят) и условия Стефана (попеременное таяние и замерзание грунта в его "активном" слое при соответствующем поглощении и выделении теплоты фазового перехода и изменении температуропроводности грунта при этом переходе). Для моего гидроинтегратора это была конфеточная задача: во-первых, проще некуда, во-вторых, при этом демонстрировались безграничные возможности ИГЛ и моего *know how* с переворотом шкалы отсчета температуры для решения подобных задач в сколь угодно сложной их постановке.

Задачка была отщелкана за пару дней: для принятых условий Иркутска ощутимое максимальное промерзание получилось, помнится, в мае, когда верхний слой грунта уже заметно протаивал, сужалась мерзлая линза между протаявшим грунтом сверху и непромерзавшим – снизу. Виктор Яковлевич был доволен: в споре с дагестанским академджигитом он оказался прав, утверждая, что наибольшая глубина промерзания имеет место не зимой, а к лету. Ну а для меня задача стала подступом к тепловым расчетам на гидроинтеграторе подземных водоводов и газопроводов большого диаметра, затем составления и отработки алгоритмов подобных расчетов на ЭЦВМ.

Первые теплоснабженцы и партизанщина на Киевской

Когда были сданы два дома – номера 2 и 4 по улице Академической на пустыре возле остановки "Гараж" автобуса № 3 (позже добавился № 18, ходивший по кольцу в обратном направлении, теперь там остановка "Поселок энергетиков" для автобусов, троллейбусов и маршруток – в сумме доброго десятка номеров), в Иркутске собрались сотрудники московской, ленинградской и новосибирской групп СЭИ. Первой задачей после переезда оказались разгрузка и размещение прибывающего оборудования: блоков электродинамической модели, гидроинтегратора и БЭСМ-2 (ох, ящички были... ломы гнулись, но будущие научные сотрудники – нет!).

Первым сотрудником лаборатории теплоснабжения, принятым в СЭИ в 1960 г. раньше ее заведующего, т. е. когда лаборатория еще не существовала, стал К.С. Светлов. В 1961 г. были приняты Ю.П. Грачев, А.А. и В.В. Кошелевы, В.Я. Хасилев, в 1962 г. – О.А. Балышев, Ю.Г. Горбунов, Ю.А. Смирнов, С.В. Сумароков, в 1963 г. пришел Р.Л. Ермаков. В камеральном помещении лаборатории стояли рабочие столы Н.Ф. Глядкова и Л.И. Кудиновой, которые занимались соответственно чертежной и редакторской работой для всего института и, вероятно, в штат лаборатории не входили.

На временную работу в лаборантских должностях для монтажа и обслуживания моделирующих установок в 1961–1962 гг. принимались

Первые сотрудники лаборатории теплоснабжения.
Слева направо сверху вниз: А.А. Кошелев, Ю.А. Смирнов, К.С. Светлов, Н.Ф. Глядков, С.В. Сумароков, 1962 г.

А.А. Атавин, А.И. Марчук, А.П. Сыроватский и Н.И. Пьянкова, в монтаже гидроинтегратора принимала участие Е.А. Троян.

В лаборатории "чужеродным" был лишь Ю.П. Грачев, аспирант Л.А. Мелентьева по ЛИЭИ. Юрий Петрович был приписан к Хасилеву, поскольку в названии его практически готовой диссертации (она была защищена в ЛИЭИ уже в 1964 г.) фигурировало слово "теплоснабжение". В научном плане Юра пересекся по тематике лишь со мной: результаты расчетов на гидроинтеграторе температурного режима зданий при переменном отоплении вошли в нашу с Грачевым совместную статью о прерывистом электроотоплении (отключение нагревательной печи с инерционным теплоаккумулирующим ядром и принудительным его продувом воздухом после отключения в часы пика электрической нагрузки – т. е. бескиловаттное отопление). Статья вышла в весьма престижном министерском производственно-научном журнале "Водоснабжение и сантехника". Юрий Петрович исполнял обязанности ученого секретаря института во время частых отъездов Л.С. Попырина, пока этот хлопотный и ответственный пост в конце 1961 г. не занял М.Б. Чельцов. Ю.П. Грачев привез в Иркутск жену и дочь, но все равно было очевидно, что Иркутск – это временное местопребывание их семьи. При этом нужно отдать Грачевым должное: Юрий Петрович установил и наладил активные связи с областным советом НТО энергетиков и электротехников ("Где Грачев?" – "Ушел в Дом техники".), которые развивались с обоюдной пользой до середины 1990-х, а Тамара Николаевна за три года наладила в СЭИ наше библиотечное дело, будучи в нем "профи".

На свадьбе Кости и Люси Светловых, 1962 г.

Полная противоположность Ю.П. Грачеву – Константин Светлов. Сразу же, еще пребывая в составе московской группы СЭИ, органически вписался в коллектив – точнее, он был среди основных кристаллизаторов ядра коллектива, закладывавших базу того, что в 1970-х назвали "духом СЭИ", в плане как научном (помнится, он вышел на БЭСМ-2 среди первых нематематиков, одновременно сотворил гидравлическую модель тепловой сети – то и другое с нуля; в 1962 г. участвовал в экспедиции СЭИ на Чару–Удокан), так и в общественном, семейном, бытовом, спортивном. Занимаясь в Москве туризмом выходного дня, он в Иркутске организовал и совершил летом 1962 г. с тремя сотрудниками ИЯФ СО АН СССР первый многодневный поход – от Байкала, через Баргузинский хребет в долину Баргузина, участвовал в дальнобойном, на весь отпуск турпоходе 1965 г. – радиалка через озера Фролиха и Укоинды на реку Томпуда. Чтобы иметь право приобрести охотничье ружье и заниматься охотой, выполнил спортивный разряд по стрельбе. Волейбол, футбол, лыжи в масштабах СЭИ, участие во всех видах многоборья институтских спартакиад – само собой...

Профессор Петербургского государственного политехнического университета Р.И. Ивановский, входивший в первый десант сотрудников СЭИ на иркутскую землю, в своих мемуарах вспоминает "белую зависть" к тоже "варягам" Косте Светлову и мне, обретшим столь внимательного и заботливого, равно по-научному и по-человечески близкого руководителя. Действительно, Виктор Яковлевич, единственный из всех завлабов по "высочайшему" разрешению работавший в Иркутске вахтовым методом ("Не суди – и не судим будешь", поскольку "судьба играет человеком"...), был с нами всегда, даже когда его рядом с нами не было. А уж когда ВЯ приезжал, словно всходило солнышко.

Сотрудники московской группы института много общались во время почти пятимесячной стажировки и жизни в столице. Общение с Виктором Яковлевичем с самого начала было каким-то неформальным. То, что назы-

вается авторитетом, создавать и утверждать ему не требовалось – это получилось сразу и само собой. Л.А. Мелентьев был для нас воплощением Бога на научной земле, куда мы вступили по Его воле и инициативе. В Москве директор нам являлся – спускался, нисходил по ступенькам в подвал в Хвостовом переулке, чтобы нас проведать, проверить, изучить, вдохновить. А Виктор Яковлевич в этом подвале сидел вместе с нами на одной ученической скамейке (последнее – буквально, а не фигурально), слушал лекции по программированию, по вычислительной математике, которые мы читали себе сами (о жизни московской группы есть в первом томе "Траекторий СЭИ"). Мы запросто просили у Хасилева денег до ближайшего перевода из Иркутска, а он запросто давал. Лично мне, в связи с гидроинтегратором входившему в новую епархию матфизики, он порекомендовал массу книг – по строительной теплофизике, вычислительной математике, теории и методам расчета поля (краевым задачам), аналоговым счетно-решающим устройствам. Причем некоторые свои книги он дал в бессрочную аренду. Две из них: "Строительная теплотехника" К.Ф. Фокина и "Моделирующие устройства" У. Карплюса, заметно потрепанные (для книг это показатель!..), хранятся в моей библиотеке как память об учителе. Кстати, вторая сильно помогла мне сдавать кандидатский минимум по языку, когда в Иркутске я достал ее на английском. Библиографическая память у Хасилева была фантастической; среди причин – многолетнее преподавание и занятия одновременно самыми разными вопросами вместе с выдающимися специалистами-учителями.

В лаборатории теплоснабжения в доме на Киевской сразу все стало не так, как у людей, как у наших коллег-соседей. Лаборатории выделили торец коридора на втором этаже, торец сразу же отгородили от всего остального мира СЭИ легкой, но плотной стенкой-перегородкой с дверью. Помнится, дверь не запиралась, но имела столь мощную пружину, что если не успеешь проскользнуть при открывании двери, можешь от нее схлопотать по спине или ниже. За дверью справа был вход в обширное камеральное помещение с неограниченным множеством больших добротных старых канцелярских столов, в которых жили тараканы. Слева имелась тоже весьма обширная, капитально отремонтированная, с подведенным водопроводом и канализацией комната для размещения гидроинтегратора, гидравлической модели тепловой сети, тарировочного стенда и циклопических многоярусных шкафов для частей этих установок и много чего еще.

Как-то так получилось, что в лаборатории Хасилева быстро образовалась критическая масса инициативных, ушлых умельцов. И "виноват" был ВЯ, который придумал создать "парк докембрийского периода" из монстров – аналоговых вычислительных установок. Их принято называть машинами – АВМ, по явной аналогии с ЭВМ (которые правильнее называть ЭЦВМ), но по мне причислять к машинам все это множество как-то не очень: машины – это движение, колеса, трансмиссии, шум-дым... – но здесь не об этом. Для обслуживания и постоянного развития, доделки-переделки наших установок нужны были люди не только с головами, но и с руками, растущими откуда надо. Методом проб и ошибок постепенно, но быстро такой коллектив сформировался: это иркутяне – Олег Балышев

(мы с ним даже силовой кабель по наружной стене провели с оплатой работы по трудовому соглашению, электроинспекция кабель приняла; выпускник строительного техникума, Олег уже имел двух сыновей, соответственно, умел многое) и Роберт Трубачеев (он умел или мог мгновенно научиться делать руками лучше учителей вообще все, при этом на ладонях его рук была какая-то спецкожа, он спокойно держал чуть ли не раскаленное железо), и выписанный из Комсомольска-на-Амуре брат мелентьевского аспиранта Ивана Смирнова – Юрий (тоже под стать Трубачееву, к тому же склонный к изобразительному искусству, включая резьбу по дереву), все студенты-заочники.

Наш завлаб в физико-механической деятельности непосредственно не участвовал, потому что мы не давали (нам-то было более-менее по двадцать лет, а ему-то целый полтинник!), он лишь прорывался на транспортно-такелажные работы – это когда волокли ящики со стойками гидроинтегратора. На ящиках, кроме международных знаков, зонтиков и рюмочек, имелись энергичные пожелания на “великом и могучем, правдивом и свободном” в адреса отправителя и получателя. От этих ящиков крошились мраморные ступени лестниц, переживших бои Гражданской войны, продавливались лиственничные плахи пола, гнулись ломы-рычаги... Вот тут советы ВЯ временами и местами оказались просто неоценимы: пусть его отцом был всего лишь интеллигент-печатник, но среди предков наверняка имелись именитые одесские крючники-биндюжники... А еще не забыть, как мы мучились, собирая на поддонах воду, рабочее тело наших гидравлических АВМ. При переборке схемы моделей вода неизбежно выливалась из них в некотором несерьезном количестве, а при разрыве цепи это могли быть десятки литров. В новом здании СЭИ гидроинтегратор установили на покрытой кафелем платформе со сливом в канализацию. А в поддонах на Киевской вода скапливалась очень нетонким слоем, убирать ее черпаком, насосом, грушей-клизмой было крайне обременительно. Понаблюдав за процессом, ВЯ предложил использовать... половую тряпку – это решение оказалось высокопроизводительным и вообще конгениальным, поскольку процесс можно было доверять уборщицам.

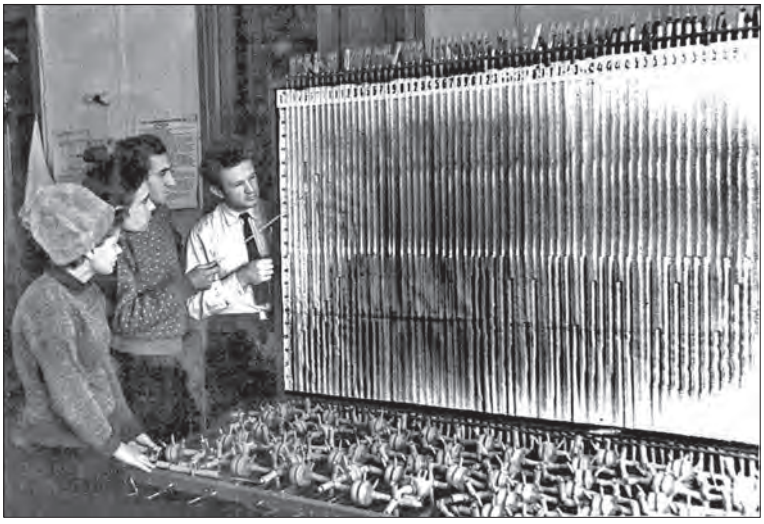
Для своих гидроАВМ мы сначала использовали подпиточную воду паровых котлов, которую возили с ТЭЦ-2 (это на набережной ниже старого моста) в 20-литровых бутылях, что было весьма хлопотно и, как заявил наш главбух, заметно увеличивало жесткую статью эксплуатационных расходов в смете. И шеф внес радикальное рацпредложение: установить дистиллятор у себя.

В самые первые годы отдел снабжения института безоговорочно принимал и оперативно выполнял через Центракадемснаб или напрямую буквально любые заявки по статье “научное оборудование”, в них не вникая: науке надо – значит, надо!

Лафа кончилась, когда директор увидел в окошко, что во дворе-колодце нашего здания стоят на попа аж три маломерных судна и, решив в этом деле разобраться, пошел на наш склад, где в большом подвале обнаружил массу предметов непонятного назначения – в частности, две задвижки диаметром с метр. Попытки выяснить, кто это такого назаказывал, ус-

пехом не увенчались. Когда дознаватели явились в лабораторию теплоснабжения, я оставался за ВЯ и, отмежевавшись от задвижек и кораблей, выдвинул гипотезу, что они – для экспериментов на строящейся Братской ГЭС, самой крупной в мире. И лодки, и задвижки, и что-то еще было нашими снабженцами мгновенно реализовано – это ж дефицит! – и на институтский счет поступили заметные суммы, а заявки лабораторий начали проверять и шерстить, требуя четких обоснований.

Дистиллятор мы достали высшего класса (в лаборатории тогда какое-то время числился сын замдиректора ИрИОХ) – хромированный корпус литров на сто, автоматика, производительность, помнится, чуть ли не 40 литров в час. Мы в свой супердистиллят добавляли формалин для дополнительной стерилизации, но это создавало в лаборатории запах морга, и Виктор Яковлевич предложил вместо формалина дистиллят... святить. Сказано-сделано: по специальному разрешению выписали тонкую серебряную пластину весом 200 г, отрезали от нее две узенькие полоски и в большой банке сделали “электролизер”, подведя к полоскам, погруженным в воду, стандартные 220 В переменного тока. Как истинные естествоиспытатели, мы провели пусконаладочные работы водосвятительной установки сначала на дистилляте, потом на воде из-под крана, затем щедро подсыпали в воду поваренную соль, питьевую соду, сдвигали и раздвигали электроды. Остановились на воде из-под крана (при дистилляте установка была какой-то безжизненной, а при добавках реагентов да еще сближении электродов получался кипятильник...). Виктор Яковлевич эти эксперименты не видел, главным теоретиком выступал Светлов (придя в гости к его матери в Иваново, я увидел там в “лаборатории” сына несметное количество банок с химреактивами – в наше время Костю явно замели бы по подозрению в подготовке терактов). Главным конструктором, как во всем и всег-



Гидравлическая модель тепловой сети.
Н.И. Пьянкова, Ю.А. Смирнов, К.С. Светлов, А.А. Кошелев, 1962 г.

да, выступал Трубачеев. Завлаб, осмотрев систему в действии, ее одобрил. На электродах рождались пузырьки, вода и электроды практически не нагревались, напряжение в сети на включение-выключение нашей святительной чудо-системы заметно не реагировало. Поступали ли ионы серебра в воду и, если да, то сколько – сие неведомо, но уж если в церковных серебряных сосудах вода успешно святится, стерилизуясь (насчет макания крестика в иордань – не знаю, не знаю...), то у нас процесс активного серебрения шел уж точно много интенсивнее. То ли от добавления экстракта святой воды в дистиллят, то ли как, но рабочее тело в своих АВМ мы вообще ни разу не заменяли специально, хотя за его чистотой, прозрачностью следили тщательно. Надо полагать, концентрация серебра в электролизере получалась более чем достаточной. Электроды мы взвешивали на точнейших аналитических весах (кроме гирек, там была невесомая проволочка-"всадник") – сначала для интереса, потом при периодических ревизиях (серебро относится к драгметаллам): уловить уменьшение массы не удавалось, а один раз контрольная комиссия получила даже прирост на сколько-то миллиграммов.

Мы сразу же устроили фотолабораторию, отгородив угол коридора: фотоаппараты у нас имелись свои (а потом мы еще назаказывали...), а я обзавелся в избытке всеми причиндалами высокого класса еще до Иркутска, реактивы аналитической чистоты получали через снабженцев и у коллег-соседей в ИрИОХе.

Упомянутый дистиллятор догадались использовать для глянцевания фотографий – зеркальный хромированный корпус давал отличное качество отпечатков неограниченного размера и количества, только успевай налеплять сырые и собирать отпадающие сухие снимки. А еще мы подогревали на крышке дистиллятора жареные в масле пирожки с рисом, повидлом и требухой – пирожки продавались через улицу напротив, под аркой магазина "Мясо", где на втором этаже выделили комнаты для СЭИ, в том числе для лаборатории Л.А. Крумма. Как видно, использование дистиллятора было комплексным – такому подходу учил академик Мелентьев.

Фотолаборатория использовалась для репродуцирования текстов и иллюстраций в научные отчеты, печати снимков со страниц литературы, получаемой ненадолго из центральных библиотек (это основной и немалый объем работы), в отчеты об экспедициях, для стенгазеты (личные нужды сотрудников – мелочь...). Поскольку фотобумага в больших количествах проходила по заявкам через отдел снабжения, то через какое-то время пришло требование сдавать отработанный раствор закрепителя, содержавший азотнокислое (кажется, так) серебро, в соответствии с потребленной фотобумагой.

Следующим инициативным добавлением к нашей производственно-экспериментальной базе явилась светокопировальная система: стол со стеклом, подсвечиваемым дюжиной лампочек; жестяной цилиндр-тубус для проявки синек в парах аммиака. Герметичность тубуса его проектировщик, изготовитель и владелец Роберт Трубачеев не смог обеспечить, и пары аммиака иногда с чего-то вдруг вырывались на свободу, и если мы не успевали включить свою автономную самодельную вытяжную вентиля-

цию, аммиак достигал столь высокой концентрации в коридоре (туда выходили двери всех остальных лабораторий и приемной), что там, наверное, можно было проявлять синьки без тубуса... А еще в нашем аппендиксе стоял могучий стол-верстак с громадными тисками, где, кроме всего прочего, точили коньки. Нашим оборудованием разрешалось пользоваться всем сотрудникам института, кроме лишенцев, хотя бы раз не оправдавших наше доверие и нарушивших правила технической эксплуатации и технику безопасности. Дистиллят мы давали институтским и академовским шоферам (автобаза входила в инфраструктуру Восточно-Сибирского филиала СО АН, как и лечебные учреждения, детсады, котельная, электрохозяйство...) и знакомым владельцам автомашин для заливки радиаторов, святую воду тоже давали – тем, кто просил (рекламации не поступали).

Здесь описываются такие детали, чтобы показать, что лаборатория теплоснабжения в первые годы работы СЭИ была не только научным – как все – но и структурным общеинститутским подразделением.

О том, что творится за дверью аппендикса, в СЭИ ходили слухи и легенды, в раздутом виде выходившие за пределы института. Мнение о том, что у нас не дистиллятор, а самогонный аппарат, мы не опровергали, да это было бы бесполезным: в баке кипело, булькало, а из крана в большие бутыли текла тонкая струйка. Особо любопытным мы говорили, что эта жидкость – рабочее тело наших гидроАВМ, и это было правдой.

Этаж над нами занимал Институт географии Сибири и Дальнего Востока, под нами размещалась редакция газеты "Советская молодежь" – грохот с верстака и запах аммиака иногда проникали и к ним. Клиенты-пользователи нас крышевали, директор как-то терпел, будучи отгорожен дверью приемной и двойной дверью кабинета. Хасилевцы помогали ему как председателю Президиума ВСФ, курируя системы теплоснабжения строящегося Академгородка. Так же, как Виктор Яковлевич, Мелентьев прошел через практику энергетики, поэтому сильнее других мог по большому счету оценить нашу партизанщину.

Вспоминается один курьез. Как-то, обходя институтские помещения в конце рабочего дня то ли 8 марта, то ли 23 февраля (эти дни стали в календаре красными много позже), когда кончились застолья и многие рабочие комнаты уже опустели, Лев Александрович зашел в апартаменты теплоснабженцев. Там было тихо-мирно и наличествовали лишь два лаборанта, уже хорошо посидевшие за столом. Наш чертежник Николай Флорентьевич Глядков, отставной железнодорожник, в форменном кителе с блестящими пуговицами, работал за кульманом: "Это что за цветные графики?" – "Не знаю, мне Светлов не объяснял". – "А что за фланцы с треугольничками?" – "Это Кошелев велел к завтрашнему дню начертить". Юра Смирнов прилаживал длиннющий шнур к тройной розетке на подставке: "Для чего это?" – "Это крыса для Кошелева". На светловских графиках фигурировали результаты экспериментов с гидромоделью. Кошелевские фланцы – это деталировка узла диафрагмы для измерения расхода воды в магистральном теплопроводе от котельной. Расчет диафрагмы срочно выполнялся со всей тщательностью по заказу и личной просьбе главного инженера СМУ "Академстроя" В.Ф. Балановского. Владимир Федото-

вич обратился в нашу лабораторию, когда не нашел в Иркутске, кто бы мог это рассчитать и сделать чертеж. По работе в наладке котлов мне такое было знакомо, у меня были справочник Гатеева и классический учебник Преображенского “Тепловые измерения и приборы” – там имелись и методики, и типовые чертежы. Рабочие размеры сужающей части диафрагмы я определил и проставил на эскизе до десятых долей миллиметра, а треугольнички – это класс чистоты обработки поверхностей. Что такое “крыса”, член-корреспондент АН СССР, бывший электрик-телефонист, мог бы и сам догадаться: неужели он забыл сленг электриков?

О других занимательных фактах из “киевского периода” жизни лаборатории теплоснабжения рассказано в мемуарах Олега Балышева.

Помнится, заведующий математической лабораторией А.П. Меренков, осмотрев наши чудо-АВМ и парк-арсенал разных устройств, то ли с восхищением, то ли с завистью, то ли как, изрек: “Если вам поручить, вы сможете соорудить самодельную ЭВМ – факт!” Олег Балышев в ответ хмыкнул, не поднимая головы, – он допаивал панель управления световым роботом на неоновых лампочках для выступления команды СЭИ на первом иркутском КВН (эту филигранную операцию ему поручил “отец” робота Игорь Шер), а лампочки у нашего робота мигали явно бойчее, чем на пульте БЭСМ-2. Кто-то из наших, вероятно Костя Светлов, на полном серьезе упомянул, что мы уже начали монтировать аэрогидравлическую цифровую ЭВМ – гость это принял за чистую монету.

Шеф поощрял практически все наши выдумки, связанные с обустройством лаборатории. Ему сильно понравилась идея выложить мозаикой из цветной паркетной плитки нашу трубопроводно-гидравлическую символику в комнатах нового корпуса. По эскизам, до деталей разработанным нами со Стасом Сумароковым, в кабинете В.Я. Хасилева появилась мозаичная формула Дарси, в других комнатах красовались изображения отопительных радиаторов, водопроводных кранов, контуров сетей – к восхищенной зависти сотрудников других лабораторий, у которых в свое вре-

мя на такое не хватило ума и фантазии, а потом поезд ушел. Последние остатки исторических научно-художественных мозаик канули в лету лишь при ремонтах помещений в конце XX века, их аналоги видны на фасаде института в мозаике из смальты работы Евгения Ушакова и Михаила Воронько – явно лучшем монументальном украшении Академгородка.

Одна деталь, которая пришла в голову, когда писались эти мемуары. Виктор Яковлевич сам не набирал сотрудников своей лаборатории. Светлова и Кошелева ему послал Бог в лице Мелентьева, который раскинул сети через коллег в разных городах СССР, он же прицепил Грачева к лаборатории. Собственно, вот и все теплоснабженцы. Что касается своего преемника – Меренкова, – то ВЯ заманил, соблазнил его готовенького, когда тот, выпускник матфака МГУ, был уже подарен директору СЭИ директором Института математики СО АН С.Л. Соболевым. Все остальные сотрудники, поступавшие в лабораторию с 1962 г., – это математики, выпускники ИГУ и других вузов. Студенты ИГУ дипломировались в СЭИ, привлеченные миганием лампочек БЭСМ-2 и агитацией преподававшего у них Меренкова, либо их занесло какими-то ветрами в СЭИ, где они подпали под обаяние личности Хасилева и увидели широкое поле для математико-вычислительно-программистского творчества. Помню, как в 1962 г. робкую девочку-заочницу ИГУ Нину Пьянкову привел в лабораторию ее отец, школьный учитель математики, а она навела на институт своего одногруппника Олега Балышева (Олег Анатольевич рассказывает об этом в мемуарах). Виктор Яковлевич, будучи математиком, точнее, и математиком, смог каждому из них поставить конкретную, интересную задачу не только на прикладном, инженерном языке (математики такой язык, мягко говоря, не очень любят...), но на языке математическом. Да, конечно, такое получалось не со всеми: требовались соответствующие знания, способности и совместимость менталитетов – наверное, так. К примеру, Галина Алексеева (потом – Ташкинова), обладательница красного диплома физматфака ИГУ, куда она перевелась из пединститута, пришла в лабораторию теплоснабжения в 1966 г. со стажем преподавательской работы в школе. Виктор Яковлевич почему-то отдал ее под начало Меренкова, а тот не смог найти интересную, достойную способностей Галины тему и дал априори никчемную задачу машинного построения пьезометрического графика распределения давления в сети (численная интерпретация графической информации). Это Алексееву не устраивало, она считала себя способной заняться чем-то посерьезнее. В университете Галине нравилась математическая физика (этот курс вел профессор Бельтюков), и был проведен обмен: от меня к Меренкову ушел Олег Балышев, уже подготовивший диссертацию с решением задач матфизического характера, которые ему поднадоели, а взамен я получил Галину Алексееву. Ей было предложено довести до совершенства расчетную схему и доработать алгоритм расчета нестационарного температурного поля в системе “цилиндрический источник–полуограниченный массив” при граничных условиях третьего (самого сложного) рода и при прямых и обратных фазовых переходах (условие Стефана, или условие пятого рода), реализовать алгоритм в универсальной программе, доведенной до возможности массового внешнего поль-

зования, и провести исследования для водо- и газопроводов в глубоко промерзающих грунтах. Вникнув в увлекшую ее задачу, Галина проявила высокую математико-программистскую самостоятельность и защитила диссертацию по техническим наукам. Представляется, что драма Галины Викторовны в лаборатории Хасилева была предопределена тем, что он отдал ее, математика, тоже математику для решения не математической, а сугубо прикладной, математически (да и технически...) элементарной задачи, а это "ни уму, ни сердцу" при ее априори высоких способностях, амбициозности, упорстве и общем интеллекте.

ВЯ до СЭИ шесть лет проработал на кафедре энергетики Московского института народного хозяйства – казалось бы, соблазненный Мелентьевым, он мог в свою очередь соблазнить кого-то из молодых ассистентов и наиболее продвинутых студентов МИНХ поехать с ним в Иркутск – при наличии веера идей и человеческого обаяния это, думается, не было бы проблемой. Именно так поступали другие "отцы-основатели" института в МЭИ, ЛПИ, ЛИЭИ, НЭТИ – такое было массовым для Сибирского отделения. Насколько известно, Хасилев заказал лишь одного студента – заканчивавшего Ленинградский институт точной механики и оптики Станислава Сумарокова с узкой целью создания модели гидравлической сети на электронных лампах. Позже, в 1965 г., ВЯ привлек в лабораторию сотрудника Иркутского отделения ГСПИ "Промэнергопроект" Бориса Кагановича (воспоминания и досье этих потом докторов наук и ведущих сотрудников СЭИ включены в настоящий сборник). Почему ВЯ был столь скромен, хотя в самые первые два-три года кадровых ограничений в СЭИ не существовало, свободные места для нескольких письменных столов в двух комнатах лаборатории теплоснабжения имелись до самого переезда в новое здание? Думается, потому, что ему вообще были свойственны, во-первых, скромность до аскетизма, во-вторых, осторожность в выборе ближайшего окружения с базовым критерием человеческой порядочности, в-третьих, он ни в чем не стремился к количественности, заботясь исключительно о качестве. Возможно, сказывались и "угрызения совести" по поводу его работы в Иркутске вахтовым методом (об этом ниже).

Состав лаборатории существенно и скачкообразно увеличился в 1968 г., когда Меренков перестал заведовать созданной им математической лабораторией, принял от Хасилева заведование лабораторией гидравлической и привел туда группу своих математиков-прикладников – это формально, а фактически они вместе с Меренковым уже были приложены к трубопроводным системам. На вкладке приведены групповые фотографии лаборатории в разные годы. В 1975 г. из 24 сотрудников по крайней мере 15 имели высшее математическое образование. На взгляд автора, это перебор, который исправило время – на снимке 2010 г. процент математиков в трубопроводном отделе существенно меньше.

Гидравлическая модель и гидравлический интегратор: пути и судьбы

Корни замысла создать в СЭИ гидравлическую модель сети уходят в московское прошлое ВЯ (помнится, он упоминал, что идея пришла, когда

во второй половине 1940-х годов в столицу пришел саратовский газ и там сооружалась система распределительных газопроводов), но насчет идеи гидроинтегратора неясно. Эта АВМ предназначена для расчета не цепей и сетей, а энерго- и массопереноса в сплошных средах, т. е. решения задач математической физики. Виктор Яковлевич рассказывал мне, как они в МИНХ по договору с пищевиками исследовали температурные поля ... в манной каше! – в зависимости от консистенции и интенсивности ее варки в сосудах разного объема. Задачка очень даже не простая – это может представить, думается, любой, кто знаком с этим технологическим процессом (особенно туристы при костровой кухне, где каша так и стремится реализовать возможности выкипать и пригорать). Составить нелинейное дифференциальное уравнение для процесса тепломассопереноса в трехмерном неоднородном поле – ерунда делов. Учесть в уравнениях и бульканье, и изменение консистенции, и пригорание можно без всяких “но”, но вот где взять соответствующие коэффициенты?! Конечно, единственный реальный путь – физическое моделирование, а если по-простому – эксперимент в производственных условиях. Так вот, мудрецы с кафедры энергетики МИНХ при этих экспериментах намучились. И дело не в пригорании и не в выбросах исследуемой среды на испытателей – это издержки производства.

Первая базовая трудность – это создание пространственной сетки безынерционных датчиков температуры при обеспечении возможности перемешивания испытуемой среды. Практически безынерционны лишь термопары. Автор в своей наладочной практике изготовил сотни различных термопар для измерения температуры по газовоздушному тракту парогенераторов, а потом имел с ними дело, поработав отпускное лето 1966 г. лаборантом в экспедиции лимнологов на Ушканьих островах посреди Байкала. Берутся две тоненькие проволочки из специальных сплавов меди, никеля, платины и других редких металлов, их концы попарно свариваются, один спай помещается в исследуемую среду, другой – в термостат. При разности температур спаев в цепи возникает термоЭДС, величина которой зависит от разности температур. Мы, наладчики, возили с собой катушки с проволокой толщиной в доли миллиметра, отрезали куски такой длины, как надо, а концы сваривали, погружая в тигли с порошком углерода (графита), включенные в электросеть, после чего каждая термопара тарировалась. При наличии опыта и сноровки все это легко, но одно дело – макромир газовоздушного тракта с диапазоном температур в сотни градусов, где ошибка измерений в один-два градуса – полная ерунда, а проводочки термопар достаточно электроизолировать кембриком или цепочками из керамических колечек, другое дело – манная каша, где этот самый диапазон – от изначальной кухонной температуры до точки кипения – составляет градусов восемьдесят, а в критические минуты кипения и густения – несколько градусов или даже их долей (думается, так), к тому же среда там электропроводящая, и изоляция должна обеспечивать герметичность. Но самое-самое – это совместить измерение температуры по всему объему с перемешиванием каши, необходимым в начале для предотвращения образования комочков и в конце – для равномерности густения и непригорания. Автор знакомился с тем, как измеряют температуру

при экспериментах на уникальном комплексе ИСЭМ – Высокотемпературном контуре, где имитируются процессы парообразования в рабочих каналах ядерных реакторов, – по сравнению с манной кашей это элементарщина! У каши одно бесспорное, явное преимущество: изучаемую среду после завершения эксперимента можно съедать! Ох, и поели манной каши экспериментаторы в МИНХ, кормили ею всю кафедру...

Итак, откуда и кому пришла в голову идея-фикс заиметь в СЭИ гидроинтегратор. Эта АВМ создана во Всесоюзном НИИ транспортного строительства, аббревиатура которого была ЦНИИС, а остановка электрички в подмосковном городе Бабушкин называлась "Институт пути". Конечно, при широте интересов и круга знакомств Хасилева все может быть, и общее у трубопроводов и рельсов найти можно, но о соприкосновении ВЯ с железнодорожным строительством неизвестно. Отсюда предположение: он увидел гидроинтегратор и понял, что это такое, в Московском инженерно-строительном институте, одном из четырех московских вузов, где ему довелось попреподавать. Эта чудо-АВМ использовалась кафедрой отопления и вентиляции для выполнения и научных, и студенческих лабораторных работ. Хозяином гидроинтегратора и, соответственно, моим тамошним коллегой-товарищем по несчастью был аспирант кафедры в 1960-х годах Володя Ройтман – на момент написания этих строк доктор наук, профессор Ройтман Владимир Миронович (он с благодарностью упомянут во вступлении за помощь в подготовке этого сборника). Область его исследований – повышение огнестойкости сооружений, и интегратор там очень ко двору для расчета нагрева массивных конструкций, в том числе с перемещением фронта термического воздействия – то бишь их обгорания. Начатые почти пятьдесят лет тому на базе общности научных интересов, наши контакты с Владимиром Мироновичем продолжаются до сих пор, скрепленные взаимной человеческой симпатией и общими вненаучными интересами: филателия, библиофилия. Ну, никак нельзя не упомянуть: В.М. Ройтман – постоянный, в течение многих лет участник международных соревнований по легкой атлетике в возрастной категории *masters* – это спортсмены 35 лет и старше – сначала в группе до 70 лет, на момент написания этих строк – 70–74 года, а летом 2012 г. перейдет в группу 75–79 лет. Он многократный призер и шестикратный (!) чемпион мира по тройному прыжку. По масштабам эти немолодежные соревнования сопоставимы с параолимпийскими играми. Так, в 2010 г. в этом чемпионате мира (он проводится и зимой и летом) в Канаде близ Ванкувера участвовали полторы тысячи представителей 60 стран (при этом великую Россию представляли лишь 14 спортсменов – меньше, чем даже команда Алжира – 19). Летом 2011 г. на соревнованиях в Сакраменто (США) Ройтман занял лишь третье место, но эта его бронза явно дороже – славнее! – золота. И вот почему. Чувствуя себя прекрасно (погода теплая, беговая дорожка "быстрая", ветер от старта попутный), "летающий профессор" (так его чуть ли не официально величают в институте, который теперь университет) рискнул испытать себя и в обычном, однотолчковом (термин мой. – *А.К.*) прыжке. И (я прошу прощения...), как говорят, в частности, в Одессе и Ростове, "жадность фраера сгубила": добавив скорости в последнем тре-

нировочном забеге, почувствовал резкую боль в мышцах бедра левой ноги. Дальше цитирую университетскую многотиражку: «Произошла достаточно распространенная история в спорте высших достижений, когда непродуманное решение перечеркивает все результаты многомесячной подготовки. На следующий день, придя в себя после сильнейшего психологического шока, профессор начал анализировать ситуацию. У него возник план – провести интенсивное лечение травмированной мышцы и попытаться использовать известный в строительной науке принцип восстановления поврежденного элемента конструкции с помощью специальных элементов усиления для принятия нагрузки на поврежденном участке конструкции и, таким образом, повысить ее несущую способность. “За три часа до соревнований по тройному прыжку я начал конструировать так называемый “тейт”. Выше и ниже травмированного участка бедра я наклеил опорные элементы из специальной прочной и липкой ленты. Затем соединил эти опорные элементы несколькими слоями продольных элементов этой ленты. Получился “дублер” поврежденного участка мышцы”, – рассказал В.М. Ройтман. Так что даже испортившаяся погода не помешала профессору МГСУ сосредоточиться и завоевать бронзу».

Возможно, здесь есть основание упрекнуть автора в злоупотреблении правами составителя, но, думается, случай уникален тем, что опытнейший практик-спортсмен использовал свои глубочайшие знания теоретика-ученого, специалиста в области обеспечения агрегатной надежности, устойчивости, выживаемости.

Исследования школы Хасилева, связанные с ТГЦ, называют междисциплинарными: здесь и синтез конкретных особенностей канального транспорта разных энергоносителей (энергоносителем является и кровь, движущаяся по разветвленной сети сосудов), и – обратно – конкретизация общих положений ТГЦ применительно к свойствам энергоносителей и специфике систем их транспорта. То, что изобрел и успешно применил профессор Ройтман в Сакраменто, тоже можно считать “междисциплинарным” – это синтез знаний из областей анатомии (и физиологии), механики (кинематики) и спортивного характера (честолюбия) с конкретизацией для достижения цели в виде медали.

При решении задачи (может быть, точнее сказать, в процессе решения новой задачи с разработкой для этого нового метода) может получиться (сложиться, появиться) на каком-то этапе одна из двух ситуаций (целей, тенденций).

Математик А.П. Меренков пытается понять принцип действия гидроинтегратора, 1962 г.

Первая – это естественная доминанта, примат задачи, для решения которой (под которую) разрабатывается метод. Вторая – примат метода: он либо сразу же разрабатывается как универсальный, пригодный для решения не только поставленной задачи, но априори нацеленный на решение целого ряда (класса) задач, имеющих и базовую общность, и качественные особенности. Вторая ситуация начала проявляться в СЭИ, когда не только математики-вычислители, но и технологи-энергетики, войдя во вкус численного математического моделирования, стали создавать алгоритмы и программы явно более универсальные, чем требовалось для решения задач (экономических, технических, физических) управления развитием и оптимальной эксплуатации систем и объектов топливно-энергетического комплекса страны и отдельных регионов. Эти тенденции встревожили Л.А. Мелентьева, и он сделал ряд предупреждений, напоминая коллективу, что СЭИ – он по цели создания хотя и нового типа (профиля): экономико-технико-физического и насквозь математизированный, – но это все-таки не вычислительный центр, а институт энергетический ("Не к ночи будь сказано, друзья мои, уважаемые сэры".). А вот с гидроинтегратором возникла ситуация, которая для автора, попечителя-"владельца" этой АВМ, поначалу оказалась (или показалась, проявилась) драматичнее некуда. Когда интегратор смонтировали и запустили, "вдруг" увидели, что в веере институтской тематики-проблематики для ИГЛ ("Интегратор гидравлический Лукьянова") нет не то что достойного, но вообще никакого места. Оказалось, что те, кто придумал установить в СЭИ эту очень умную, оригинальную, красивую – блестящую! – АВМ, которая *made in USSR*, а ее создатель, капитан первого ранга профессор Владимир Сергеевич Лукьянов, получил не один десяток авторских свидетельств (думается, и патентов), а за всю АВМ и решенные на ней задачи удостоен Сталинской премии, если

не ошибаюсь, первой степени в 1946 г. – эти придумщики (конечно же, В.Я. Хасилев и соблазненный им Л.А. Мелентьев) не очень-то представляли, для каких исследований институтской тематики это "чудо-юдо" может быть использовано.

В родной лаборатории гидравлических и электрических аналогий ЦНИИС гидроинтегратор называли "машиной, которая делает кандидатов". Так оно и было: с помощью ИГЛ решались ранее непосильные задачи тепломассообмена для выбора оптимальных конструкций и режимов эксплуатации объектов в разных отраслях строительного комплекса – прежде всего для переменных во времени температурных и влажностных режимов, в том числе – это особо! – при фазовых переходах замерзания–таяния и испарения–конденсации.

Светловская гидромодель была сутью своей предназначена для решения сетевых задач потокораспределения в каналах, а гидроинтегратор, как упомянуто, – для исследования процессов в сплошных средах. Будучи обручен, повязан с гидроинтегратором, я должен был находить ему применение, которое для хасилевской ТГЦ оказалось невозможным и ненужным, – это быстро поняли мы оба. Да, ВЯ помогал искать задачи для интегратора, и поиск оказался успешным – это нестационарный теплообмен трубопроводов неглубокого заложения (расстояние до поверхности грунта от верха трубы не превышает ее диаметра) с окружающей средой. Результаты могли быть использованы и в хасилевских трубопроводных задачах при учете изменения свойств энергоносителя вдоль подземной трубы, но главным там была гидравлика, а внешний теплообмен учитывался агрегированно, упрощенно. Помнится, лишь А.А. Морев хоть как-то использовал эти результаты для гидравлического расчета нефтепродуктоводов, где свойства энергоносителя существенно менялись вдоль трубы из-за внешнего теплообмена.

Вместе с блоками и деталями ИГЛ были специально заказаны и получены стеклянные и каучуковые трубки, а также регулируемые гидравлические сопротивления (трубки с переменной длины "капиллярным" промежутком между цилиндром-корпусом и штоком-плунжером) для гидравлической модели Светлова. Комбинация (последовательное, а при необходимости и параллельное соединение) регулируемых гидравлических сопротивлений с линейной зависимостью напора от расхода и сменяемых сопротивлений с квадратичной зависимостью позволяла иметь практически любую зависимость в диапазоне от линейной до квадратичной – вероятно, последнее было новацией. Для тарировки отдельных сопротивлений и их комбинаций использовался тарировочный стенд, входивший в комплект ИГЛ. Не исключено, что наша гидромодель сети вот в таком комплексе не имела аналогов.

Судьба вообще всех АВМ, парк которых постепенно наращивался в 1960-х, и самой металло-, трудо- и капиталоемкой установки (комплекса) для физических экспериментов – электродинамической модели (ЭДМ), которая детально описана в первом томе "Траекторий СЭИ" и которой посвящен большой "философский" раздел во второй книге трехтомника "Вехи полувековой истории", – их судьба печальна. Лишь одна-единственная

физическая модель СЭИ – уникальный даже на мировом уровне Высокотемпературный контур, найдя свое место, используется и поныне, модернизируясь и развиваясь (о нем подробно в первом томе "Траекторий СЭИ"). Сам по себе конец АВМ естествен: они попали под колесо истории, поскольку, являясь моделями математическими (дискретное или непрерывное моделирование при гидравлическом или электронном воспроизведении моделируемых процессов и систем – это детали), сначала утратили вычислительную монополию в связи с появлением универсальных и, несомненно, более удобных цифровых электронных вычислительных машин (ЭЦВМ), а потом последние при наращивании их быстродействия и объема оперативной памяти (практически до бесконечности по сравнению с АВМ), уменьшении габаритов – вообще похоронили АВМ.

Но считать из нашего электронного, цифрового, компьютерного сегодня, что ВЯ, как и будущий академик Мелентьев, а вслед за ними и мы все, ошиблись, делая первоначальную ставку и на ЭЦВМ, и на АВМ, – нельзя. Во-первых, тогда – это не сейчас (или, по-другому, "если бы я сразу был такой умный, как моя жена – потом"). Во-вторых, институтские АВМ в 1960-х успели сделать свое дело, которое было не по силам тогдашним, первым отечественным ЭЦВМ. В-третьих, позволив тогда решить такие задачи и так, какие и как иными средствами вообще не решались, АВМ тем самым себя окупили. Пример с ИГЛ: по результатам расчетов на нем по просьбе ВНИИгаза были оперативно даны конкретные рекомендации для не терпящей отлагательства реконструкции магистральных газопроводов Бухара–Урал и Средняя Азия–Центр (на них нарастали лавинные аварии), а это многие миллионы тогдашних рублей. (Негазовику трудно поверить, что энергетическая мощность потока сжатого природного газа в трубопроводе предельного диаметра 1,4 м эквивалентна мощности нескольких Братских ГЭС.) В-четвертых, возможность визуального наблюдения за ходом расчетов на АВМ по всему расчетному полю, в том числе во временно́й динамике (электронные АВМ с конденсаторами, ИГЛ), существенно облегчила и ускорила создание алгоритмов и математических моделей для расчетов на ЭЦВМ. В общем, по Шекспиру: мавр сделал свое дело – и мавр ушел.

Его вахтовый метод руководства

Виктор Яковлевич вынужден был работать в Иркутске вахтовым методом – это, естественно, не могло нравиться Л.А. Мелентьеву, но было характерно для немалого количества ведущих сотрудников Сибирского отделения АН СССР, поступивших на работу в его институтах в зрелом возрасте. С этим пытался бороться организатор и первый председатель СО АН М.А. Лаврентьев, но... но эти маститые ученые могли работать в Сибири либо так, либо никак – по совокупности причин. Среди причин – глубокие и разветвленные столичные корни в плане научных школ, преподавания в вузах, научно-производственных связей; семейно-родственные связи – работа их супругов, учеба детей, престарелые родители; достойные жилищно-бытовые условия, достигнутые не сразу и не легко; столичная культурно-развлекательная инфраструктура. Последнее уж бы ладно, но все-таки:

телевидение тогда только-только начиналось, а до создания мало-мальски удовлетворительной “инфраструктуры”, как и комбыта, в академгородках было ох как далеко.

Жена Виктора Яковлевича в своих мемуарах упоминает, как Л.А. Мелентьев пытался зайти с тыла: нанес семейный визит (вместе со своей Верой Ивановной) Хасилевым с целью уговорить Аллу Филипповну на поступок *a-la* жены декабристов, но ничего не получилось. А ведь, как многие отмечали по разному поводу, аргументация, сила убеждения, общий человеческий авторитет и обаяние Мелентьева были прямо-таки всепобеждающи, в разговоре с ним (или после разговора) люди могли кардинально изменить свои взгляды, убеждения и решения (а потом удивлялись, как это они так...).

Как следующий за К.С. Светловым сотрудник хасилевской лаборатории, я не видел тогда и не припоминаю сейчас какого-то ущерба от вахтового режима завлаба. Да, конечно, очень жаль, что ВЯ не всегда жил и работал в Иркутске, рядом с нами, но он сразу поставил дело так, что оно шло и без него: каждый имел свою задачу, каждый ее решал, а вынужденная самостоятельность нас воспитывала и закаляла. От шефа шли генеральные целеполагающие (этот термин пришел к автору от Б.Г. Санеева) идеи и благословение на творчество – в том числе и в обустройстве лаборатории.

Сейчас и не вспомнить, кто конкретно придумал каждый инфраструктурный элемент лаборатории в конце коридора, которая описана выше, – кто там первый сказал “э”. Вероятно, идеи рождались “сами собой” при наличии нашей кадровой критической массы, но ведь наш коллектив-то формировался вокруг ВЯ – это факт, и ВЯ нашей партизанщине потворствовал – тоже факт!

Оклад Хасилева как завлаба-кандидата наук составлял 350 рублей (для сопоставления: у лаборанта – 74, старшего лаборанта – 83, инженера – 100, младшего научного сотрудника – 135, старшего научного сотрудника при научно-педагогическом стаже больше пяти лет – 280; поясных коэффициентов тогда не было, их ввели году в 1967-м – 20 % оклада, но не больше 60 рублей) – это по тогдашним меркам немало, но мы понимали, что при вахтовом образе жизни с длительными отрывами от семьи и от Москвы у шефа с финансами была напряженка: командировочные ему, помнится, не полагались, лишь оплачивался проезд. Заметной статьей расходов были буквально ежедневные звонки из Иркутска домой.

В основных датах жизни и деятельности Хасилева в конце книги приведены его общественные посты и должности в московской жизни. В СЭИ хоть какой-то вненаучной, “политической” или просто общественной работой ВЯ не занимался, в отличие, скажем, от Г.Б. Левенталя. Не собираясь здесь давать каких-то оценок, просто рассуждаю. Так вот, если для сотрудников лаборатории теплоснабжения их существование определялось не только лабораторией – ее коллективом, ее стенами, столами, но и всем институтом, академическим кварталом у остановки “Гараж” (а потом – Академгородком) и Иркутском, Ангарой, Байкалом, лесами-горами – и, соответственно, их активность реализовывалась во всем этом производ-

ственно-бытовом и рекреационном географическом пространстве, их среде обитания (естественно, в разной мере и по-разному), и они вынуждены были заниматься работой не только научно-производственной, а и общественной (термин здесь условный, но суть его, вероятно, понятна, хотя каждому по-своему), то у Виктора Яковлевича, работавшего в Иркутске вахтовым методом, это было не так по сути уже в базе. У него здесь существовал лишь чисто научный круг (а лучше – сектор или сегмент) занятий и, соответственно, интересов, куда была вовлечена лишь его лаборатория – его коллектив, занимающийся непосредственно тем, что относилось к гидравлическим цепям во всех их проявлениях и аспектах: это математика, физика в части термодинамики и гидравлики, экономика в части определения экстремума какого-то функционала и инженерные аспекты реализации всего этого. Естественно, у него имелись контакты и вне этого круга, но они – единичные.

Трудно сказать, почему я не сидел за партой школы Хасилева, почему он не выделил мне колею в развитии или хотя бы в приложении его ТГЦ. Наши чисто человеческие отношения, по-моему, были полны и практически безупречны. Гидроинтегратор, повешенный мне на шею Мелентьевым и Хасилевым, исправно функционировал, имел внешнюю клиентуру и худо-бедно нашел свое место в системе проблематики-тематики СЭИ – о признании этого говорят гидроинтеграторные (*klein aber mein*) и гидроинтеграторно-цифровые раздельчики, соответственно, в первой и второй (синей и рыжей) коллективных книгах СЭИ. Систематизировать и “одиссертачить” накопленные результаты исследований Хасилев предложил мне первому в лаборатории уже в 1964 г., первым я и защитился в 1966-м (до меня защитился Ю.П. Грачев, но он был аспирантом Мелентьева, приехав с практически уже готовой работой из ЛИЭИ), хотя явно мог бы на год раньше. Для защиты выбрали совет МИСИ, престижный и весьма непростой. Выбор сделал – естественно! – лично ВЯ: «Саша, как учил Суворов, “тяжело в ученье – легко в бою”. Пройдя через чистилище МИСИ, где хоть как-то можно наблюдать за смолой и сковородкой, вы будете иметь сертификат, который может сослужить службу в ВАКе, – на стадии, где от нас уже ничего не зависит». В совет МИСИ работа была представлена к осени 1965 г., а защиту назначили на март 1966-го. А потом, накануне защиты там не удалось обнаружить оба экземпляра работы, слава Богу, еще один экземпляр нашелся в Энергосетьпроекте, куда он был передан как в головную организацию по защите. Пришли с Хасилевым туда – никто не знает, где работа, а она обнаружилась методом тыка в одном из письменных столов одной из комнат: “Давайте-ка, Саша, заглянем вот сюда”, – вот он, системный и междисциплинарный подход!

На моей защите ВЯ, естественно, присутствовал, но именно присутствовал, скромно сидючи в уголочке среди публики: я защищался в тот день, помнится, не один, а довольно близких знакомых в МИСИ на кафедре отопления и вентиляции к тому времени у меня было уже много, пришли и знакомые моих знакомых, отопленцы и стройфизики из других организаций. Помню, когда в 1980 г. моя аспирантка Г.В. Алексеева защитилась – блестяще! – в Московском институте нефтехимической и газовой

промышленности им. И.М. Губкина*, где была и “группа поддержки” коллег-москвичей, и кто-то из нашей лаборатории, то потом Галина Викторовна высказала мне “кровную обиду”, что я на этой защите не выступил как ее руководитель (Галю науськали мои заклятые друзья). А не выступил я потому, что, во-первых, защита шла нормально, и соискательница, выполнившая работу очень самостоятельно, отвечала на вопросы и реагировала на критику, как из пулемета; во-вторых, я вообще против поддержки там, где можно обойтись без нее (это идет от практики туризма: страховка – всегда, когда есть хоть малейшая опасность, а поддержка – лишь когда опасность вот-вот реализуется) – излишним маслом можно испортить вкус блюда. И это кредо идет от ВЯ: он тоже молчал на моей защите**, будучи готов вступиться (я эту готовность видел), и подал лишь одну реплику, когда кто-то из мэтров в президиуме проворчал, что, мол, в работе все путем, но зачем в ее названии даны сведения об инструменте: “с использованием гидравлического интегратора и ЭВМ” – а если б канцелярские счеты? или логарифмическая линейка?.. Вот тут ВЯ высказался в манере *a la* Одесса насчет этой самой линейки***.

Подобные замечания были достаточно часты на наших первых защитах, пожалуй, вообще во всех ученых советах, кроме Объединенного совета по физико-математическим и техническим наукам в столице Сибирского отделения АН СССР, в новосибирском Академгородке, который имел ЭЦВМ в составе основы и инструментария не только физмат, но и вообще всех исследований – вместе с пробирками, синхрофазотронами, молотками, пожелтевшими фолиантами, черепами динозавров... В СЭИ слова “ЭВМ” или “математическое моделирование” были вплетены в названия диссертаций у А.П. Меренкова (1963 г., защита в упомянутом Объединенном совете), Ю.А. Кузнецова (1963 г., защита в ЛИЭИ), А.С. Макаровой (1965 г., ЛПИ), М.Б. Чельцова (1965 г., ЛИЭИ), К.С. Светлова (1967 г., МИСИ), С.М. Каплуна (1967 г., Объединенный совет)...

Диссертационные работы К.С. Светлова и моя, соответственно, – исследования воздухообмена в многоэтажных зданиях и теплового режима зданий – показывают, в частности, роль АВМ в разработке цифровых моделей с их реализацией на ЭЦВМ. Возможности ЭЦВМ в то время были весьма ограничены в плане оперативной памяти, т. е. количества расчетных точек, и быстродействия, а у АВМ ограничены их сутью. Поэтому расчетные схемы задач: размер поля, краевые условия, агрегирование, имитация, переменные шаги в пространстве и времени – все это было хотя бы в первом приближении отработано при расчетах на АВМ при свойственных им возможностях непрерывного визуального наблюдения за процессом расчета и домысливания *on line*.

---

* О перипетиях, предшествовавших защите, рассказано во второй книге трилогии “Вехи полувекового пути” – в очерке о Г.В. Ташкиновой, которая приобрела такую фамилию вскорости после защиты.

** О поведении В.Я. Хасилева на защите О.А. Балышева в МИНХиГП рассказано в его мемуарах.

*** Об этом подробно – в очерке о В.Я. Хасилеве в первом томе “Траекторий СЭИ”.

Термин “самостоятельность” В.Я. Хасилев реализовывал для своих учеников с учетом их индивидуальности, в том числе в динамике: в момент, который представлялся шефу нужным и возможным, он отходил в сторону – полностью снимал поводок, который до того то удлинял, то укорачивал, но никогда не применял парфорс (для несобачников поясняю: строгий ошейник с шипами, которые при натягивании не дают даже повернуть голову в сторону).

Работая над этим разделом, я пытался вспомнить, как Виктор Яковлевич руководил моей заочной аспирантурой. Получается, что руководства-то как бы и не было никакого. Я проработал в институте два с половиной года, решая задачи, которые “подкидывались” мне шефом или появлялись откуда-то сами. Постепенно прорезалась основная колея: расчет температурных полей во временно́й динамике с применением сначала гидроинтегратора, потом ЭВМ. Определилась, оконтурилась область применения, приложения разработанной методики – выбор допустимых режимов, графиков неравномерного, переменного, “провального” отопления зданий как потребителей в системах теплоснабжения. Когда пошли результаты, явно интересные для В.Я. Хасилева и Л.А. Мелентьева как теплофикаторов, мне было сказано: оформляйся в заочную аспирантуру. Оформился, приналег на кандидатский минимум по философии и английскому, скачал его. Экзамен по специальности не сдавал: сформулировали с Виктором Яковлевичем три вопроса, ответы на которые я, собственно, нашел в своих исследованиях. ВЯ заполнил официальную форму экзаменационного листа, поставил там три отлично, подписал лист сам, потом у Л.А. Мелентьева и Г.Б. Левенталя, соответственно председателя и члена экзаменационной комиссии. Всю диссертацию Виктор Яковлевич явно не читал, лишь начало и конец: зачем читать-то, он и так знал, что и как я смогу и не смогу написать, – а защищаться-то мне.

Виктор Яковлевич внимательно, с замечаниями и указаниями прочел лишь вступительный обзор литературы (К.С. Светлов, мастер острого словца, ввел термин “обвор литературы”) – это чтобы я кого-то по незнанию не пропустил или не забыл. Замечаний руководителя по основному, содержательному тексту я вообще не помню – это меня сначала обижало, как вроде бы его наплевательство, но вскорости я оценил это как доверие, как учебу, как воспитание самостоятельности и самоответственности. Шеф скрупулезно прочел выводы, конкретные и – особенно – обобщающие (обезличенные), дав немало советов ценнейших и явно необходимых, общих и конкретных, заставив дважды переписать текст. Лев Александрович Мелентьев брал диссертацию на просмотр и потому что директор, и потому что работа касалась переменных, “нестандартных” режимов теплоснабжения, аукавшихся с режимами когенерации энергии на теплоэлектроцентралях, которые были первым хлебом Мелентьева в молодости и где он стал одним из теоретиков-основоположников со стороны топливно-энергетического комплекса.

Научный руководитель замечания в процессе исследований мне не делал вообще, лишь давал соображения, учет которых – как бы дело хозяйское. И получалось, что все сделанное – это я сам и придумал, и осуще-

ствил... Конечно, было не совсем так (“совсем не так” сказать тут все же, наверное, нельзя), но, действительно, методы его руководства были весьма научны (по Д. Карнеги: высказывай идеи так, чтобы подчиненный счел их своими), весьма деликатны и явно применительно ко мне оптимальны. Как руководитель аспирантуры он сделал лишь то, что было нужно, а это, естественно, немало. Сначала помог найти беспроигрышную тему – основной ствол дерева, потом стаскивал меня с уходящих в стороны ветвей, на которых не могли вырасти полновесные плоды – раз. Сказал “стоп”, когда я наработал явно достаточный объем (“стоп” был в смысле перехода к оформлению в виде диссертации этапа работы, которая шла дальше без паузы) – два. Подобрал ученый совет для защиты, “организовал” оппонентов и головную организацию, лично состыковал меня со всеми – три.

Наимудрейший совет Виктор Яковлевич дал мне накануне защиты. Совет этот можно сравнить, пожалуй, лишь с обезличенным советом Юрия Михайловича Горского. “Главный кибернетик СЭИ”, который от электроэнергетики поднял себя до высот гомеостатики, когда я попросил его помочь при подготовке команды института к участию в первой встрече иркутского КВН, посоветовал заготовить ответы, пригодные для любых, как общих, так и конкретных вопросов, причем Горский не привел ни одного примера. А мне на ум могло тогда прийти только такое, как “сам дурак”, “сам ты три дня не умывался”... Кстати, в одной из встреч КВН капитан команды СибИЗМИР Андрей Галкин на вопрос: “Почему сарделька при нагревании лопается вдоль, а не поперек?” ответил: “*Cest la vie*” (“Такова жизнь”), – но на защите за ответ такого типа можно было схлопотать черный шар.

Так вот, суть напутствия ВЯ была в следующем. Делая серьезный доклад или просто выступая перед любой, особенно новой и разношерстной аудиторией, следует исходить из того, что сказанное никто не поймет полностью, и стараться, чтобы каждый понял хоть что-нибудь и смог подумать: “Ага. То, что я понял, – хорошо, – значит, и то, что я не понял, тоже хорошо”. Здесь очевиден и обратный постулат: если кто-то увидит, что то, что он понял, – плохо, неверно, то он решит, что непонятое тоже плохо. Этому постулату я стараюсь следовать и его пропагандирую. Готовя студентов к экзаменам, я даю им совет из Библии в ту же степь: “Не поминай имя Господа всуе” – в смысле, не задевай чего-то постороннего, без чего здесь можно обойтись и на чем можешь попасться.

Ну очень товарищеский чай

Запомнилось: Виктор Яковлевич пару раз сказал, что ему надо побыстрее защитить докторскую, потому что он когда-то пообещал своему приятелю Олегу Ляхову досыта накормить того красной икрой на банкете в ресторане “Прага”, и Олег Георгиевич ему об этом при встречах ненавязчиво напоминает. Не знаю, как насчет красной икры в “Праге”, но после приезда из Новосибирска с защиты своей докторской ВЯ организовал многолюдный товарищеский чай в вечернем кафе СЭИ.

Скоро полста лет, а я помню ту чайную атмосферу – сугубо дружескую, радостную, остроумную, “равноправную”, с веселыми подначками –

короче, помесь сибирского с одесским. А уж как мы все, теплоснабженцы, старались, готовя "самодеятельность" для шефа... как я придумал написать "Хасилиаду", как написал и читал ее... как смеялись и ВЯ, и Л.А. Мелентьев... А Вера Ивановна (что она – аж третья, основная и окончательная жена Льва Александровича* лично я узнал, лишь когда готовил в 2011 г. сборник воспоминаний о нашем "создателе") потом, в антракте, подошла ко мне с "интеллигентским" упреком, суть которого: молодежь, вы талантливые, вы хорошие, но неужели в стихах нельзя обойтись без унитазов?.. В "Хасилиаде", когда я славлю сантехнику – к ней тоже применимы законы ТГЦ! – на фоне генетики-кибернетики, у меня есть слова: "Вот отключат под праздник газ, / Иль засорится унитаз" – нежная душа супруги академика, несмотря на ее теплотехническое образование, такую поэзию отвергала. Все еще не выйдя из артистического экстаза, я ответил, что у меня не нашлось другой гидравлической рифмы к слову "газ". Из песни слова не выкинешь (хотя отечественная практика такого выкидывания и переиначивания весьма богата...). Кстати, поэтический образ этого древнейшего инженерного устройства пришел в "Хасилиаду" из одной из любимых песен К.С. Светлова времен нашего проживания в составе московской группы СЭИ на 4-й Черемушкинской – в Костиной песне говорилось: "Как у нас, как у нас / Поломался унитаз, / И соседи в страшном горе / Собрались в коридоре. / Но соседский мальчик Гога, / Попыхтев совсем немного", устранил агрегатную аварию.

Массовый чай по случаю докторской защиты ВЯ был вторым таким в масштабах пусть не всего СЭИ, но близко к тому мероприятием. Первое – по случаю 60-летия заведующего лабораторией промтеплоэнергетики Александра Лавровича Перепелицы – имело место в фабрике-кухне на улице Урицкого (1964 г.) и прошло как стандартный юбилейный банкет, к тому же лаборатория-организатор была особой, точнее, стояла наособицу своей тематикой и "менталитетом": она перешла в СЭИ готовенькая и в кадровом плане, и в плане экспериментальной базы, имея опытно-промышленные установки при заводе полукоксования в Черемхове**. А чай ВЯ был первым на собственной территории – в недавно введенном вечернем кафе СЭИ (днем – столовая), там родилась и успешно апробировалась форма таких событийных чаев с элементами шоу. Среди новаций – яркие поздравления на фоне шаржированных иллюстраций "в тему" – их блестяще выполнил Стас Сумароков, главный художник-монументалист стенгазеты СЭИ. Виновник чая был весьма – и весьма! – остроумным человеком, любившим подначки (одессит!), – соответственно, коллектив в этом плане тоже постарался. Запомнилась одна из зачитанных поздравительных телеграмм в адрес ВЯ – от начальника управления инженерных коммуникаций одной из планет Солнечной системы: "Приглашаем прибыть

---

* Краткое досье третьей жены Льва Александровича, верной спутницы иркутского, а затем московского периода его жизни, и ее прекрасно написанные мемуары украшают сборник воспоминаний о Л.А. Мелентьеве (2011 г.).

** Об этом подробно в первом томе "Траекторий СЭИ" и немного во второй книге юбилейного трехтомника "Вехи полувекового пути".

оптимизации реконструкции марсианских каналов зпт оплатим проезд одну сторону тчк". Одним из гвоздей программы стало авторское первопрочтение "Хасилиады". Автор – в смысле, я – скромно подписался под ней как кандидат поэтических наук и обозначил жанр тоже скромно, хотя и развернуто: "Героико-эпическая, малость сатирическая ода для народа". Перед каждой частью оды шел конферанс Игоря Шера, где конферансье со свойственной ему беспощадной прямотой давал пояснения, а также нелицеприятную оценку авторским трактовкам событий и самому автору. Этот конферанс* явно способствовал успеху номера и приводится полностью вместе с текстом оды и авторскими примечаниями к ней: документ исторический.

Сократовские беседы и анекдоты от Хасилева

Среди первых спектаклей Иркутского молодежного театра-студии-клуба "Диалог", с которым в 1970–1990-х годах дружил институт и где участвовали дети его сотрудников (в том числе – дочери директора и замдиректора института!), помнится, были "Беседы с Сократом" по пьесе Э. Радзинского. Так вот, беседы с Хасилевым – именно беседы, неспешные разговоры на "отвлеченные" темы, зачастую с уходом от темы за первоначально видимый горизонт – давали лично мне пользу огромную, которая осмысливалась потом и осмысливаться продолжает. Выше упомянуто первое, учебное задание мне от ВЯ насчет выявления зоны нулевого баланса расходов воды на отопление и горячего водоснабжения для оценки целесообразности однотрубного теплоснабжения в условиях Иркутска. Когда мы с ВЯ анализировали результаты расчетов, то шеф, отвечая на мой вопрос, почему же эта схема не нашла "всеобщего признания", "широкого распространения", – объяснил, в частности, что при двухтрубной схеме в случае разрыва подающей трубы ее роль возьмет на себя обратная труба (потери со сливом всей обратной воды – это мелочь по сравнению с замораживанием отопительных систем и теплопроводов при прекращении циркуляции). И ВЯ добавил здесь пример насчет повышения надежности из другой оперы: в царской армии оба солдатских сапога были одинаковы – для возможности их взаимозамены и чтобы при тревоге обуться побыстрее. А дальше разговор перешел на армейскую обувь вообще (похоже, сапоги носили солдаты лишь русской и немецкой армий), на сопоставительные особенности ботинок и сапог. (Не мне одному сейчас не нравится перевод Вооруженных сил России на пижонское, нефункциональное, непрактичное обмундирование "от Юдашкина" и что у нас стандартной армейской обувью стали берцы.) Потом я добавил, что советские танки работают на соляре, а немецкие в войну работали на бензине. Шеф в армии не служил, а мне на военных сборах после института довелось попасть на маневрах в экипаж танка-разведчика, так что я тут имел хотя бы некоторое личное, прямое представление. Мой тесть имел представление более чем некоторое: старший лейтенант-танкист, он участвовал в самом круп-

* Текст оды с комментариями представлен ниже, в разделе об отражении В.Я. Хасилева на полосах стенгазеты "Энергия–Сибири".

ном в истории танковом сражении – под Прохоровкой. Владимир Федорович, кавалер ордена Отечественной войны обеих степеней, доходчиво объяснял, как по-разному горели "тигры" и "тридцатьчетверки"... По линии "взаимозаменяемости" я напомнил, из чего исходили, выбрав стыковочный узел в программе "Аполлон–Союз": тип "конус-воронка" отбросили и взяли трехлепестковые торцы, где лепестки одного корабля могли входить в межлепестковые зазоры другого, где требуется лишь строгая соосность, и каждый корабль мог стыковаться с каждым. Столь широкий диапазон сюжетов, тем, ситуаций, предметов позволял в сократовских беседах с ВЯ оценить, показать и доказать многоплановость и диалектичность проблем надежности–живучести–выживаемости, проиллюстрировать постулат о том, что "истина конкретна и относительна" – системный подход, многофакторный анализ, комплексный метод...

Авторы ряда мемуаров упоминают, что Виктор Яковлевич интересовался разными видами искусства и старался приобщить приезжавших в Москву сотрудников лаборатории к театру, музыке, используя столичные возможности, и рекомендовал, когда и куда надо сходить. Мне он таких советов не давал – думаю, потому что убедился в моей здесь продвинутости: ВЯ был "в курсе" того, как интенсивно мы с женой посещали театры, выставки и другие мероприятия на стажировке в составе московский группы.

Он явно зауважал нас после нашего восторженного описания воздушного парада в Тушине. Таких когда-то ежегодных шоу до 1961 г. не проводилось много лет, а столь грандиозного – никогда до того и, похоже, никогда после (об этом параде рассказано в первом томе "Траекторий СЭИ"), и из иркутян там удосужились побывать лишь мы, а другие потом кусали локти.

Во время столичной стажировки будущих иркутян прошел Московский международный – практически всемирный! – кинофестиваль, явно беспрецедентный: уже не вспомнить, была ли там продукция Голливуда, но вообще там демонстрировались фильмы киностудий стран с разных континентов. В этом плане тот праздник можно сравнить, пожалуй, лишь с Московским фестивалем молодежи и студентов 1957 г. Кроме собственно фильмов, удалось увидеть вживую ряд кинозвезд разной величины. Не знаю, уделил ли Виктор Яковлевич внимание этому событию, мы с ним его не обсуждали.

Получив в 1970 г. ярко-красный с золотом членский билет Союза журналистов СССР, я мог посещать не только Дом журналистов, но и различные "дефицитные" мероприятия – к примеру, выставки до их официального открытия. Пока в конце 1960-х был членом Иркутского обкома комсомола, я брал лимитную книжку в Кировском (помнится, так) райкоме и по ней покупал билеты в театры...

Приезжая в Иркутск, Виктор Яковлевич не оказывал внимания весьма богатой культурно-художественной сфере столицы Восточной Сибири – во всяком случае, я не припомню, чтобы он посещал драматический и музыкальный театры, филармонию, выставки, музеи – а ведь все эти элементы инфраструктуры Иркутска были на высоте всегда. Пока СЭИ размещался в центре центра города, все это располагалось не более чем в нескольких сотнях метров, т. е. условия лучше столичных. И более того, Виктор Яковлевич ни разу не посетил на моей памяти мероприятия нашего клуба “Минимакс”, которые в большинстве проходили в СЭИ. А ведь это и абонементные концерты симфонического оркестра (однажды – под управлением аж Максима Шостаковича), доэкранный просмотр в конференц-зале института новейших зарубежных фильмов для киносекции клуба – мы добились такого через обком комсомола. Мы смотрели недублированные и даже не субтитрованные свеженькие ленты при синхронном переводе кого-нибудь из Иняза (из фильмов точно помню лишь “Самурая” с Аленом Делоном). Я более чем уверен, что у Виктора Яковлевича это не было каким-то пренебрежением к нашей провинции, не было столичным снобизмом: просто он не мог себе позволить во время пребывания в Иркутске никаких развлечений, никакого роздыха от напряженной работы, когда шли расчеты на ЭВМ с анализом результатов *on line*, с внесением корректив и в исходные данные, и в алгоритмы. И второе: он в Иркутске переживал разлуку с любимыми близкими. Явно по этим же причинам он не участвовал в коллективных краеведческих поездках, включая выезды на Байкал на институтском катере, в наших семейных пикниках по выходным. Не помню, как он относился к таким отвлечениям от науки своих сотрудников, к нашим горным походам на весь отпуск, восторженными впечатлениями от которых мы (Ермаков, Светлов, Кошелев) просто не могли не делиться со своим шефом. Лишь из рассказа Веры, дочери ВЯ, помещенном в этот сборник, я узнал, что они с матерью однажды приез-

жали в Иркутск и вместе с отцом посетили Байкал и Тункинскую долину, получив впечатления неизгладимые – ну, слава Богу, хоть это!

Пока СЭИ размещался в центре города, сотрудники позволяли себе целевое нарушение трудового распорядка, в том числе “санкционированное” посещение кинотеатров в обеденный перерыв, выходя за его временные пределы. Так, мы смотрели многосерийную ленту Ромма “Обыкновенный фашизм”, “Зеркало” Тарковского.

Билеты на дневные сеансы были существенно дешевле, чем на вечерние, к тому же добираться вечером из центра города на автобусе (на работу утром и с работы нас возили ведомственные “коробочки”) было непросто. Совесть нарушителей на мучила: мы регулярно оставались на работе при расчетах на БЭСМ-2, в том числе и до утра. Помнится, мы несколько раз соблазнили на такое нарушение и Виктора Яковлевича для просмотра каких-то хроникальных фильмов. А однажды, будучи в командировке в Москве, я днем вытащил шефа в ближайший к его дому кинотеатр на Ломоносовском проспекте – на очень красивый голливудский фильм “Странствия Одиссея” с участием дочери Чарли Чаплина, Джеральдин.

Запомнилось, как после фильма мы дискутировали с ним насчет правомерности и целесообразности мести – не наказания, а именно мести за преступление. Наводкой на тему стал эпизод тотального истребления Одиссеем и его сыном Телемахом женихов, безрезультатно добивавшихся Пенелопы в отсутствие мужа, автора нечестной идеи насчет троянского коня – он столь долго возвращался с неправедной войны, что вполне мог считаться убитым. Женихи-то особо не охальничали и лишь пили хозяйское вино, и за это их, безоружных, папаша и сын всех поубивали стрелами. Консенсуса мы с ВЯ не достигли, да такое и не требовалось.

Культурная среда Иркутска 1960-х

Драматический театр

Филармония

Художественный музей

Краеведческий музей

Органный зал

Концерт симфонического оркестра под управлением Максима Шостаковича в клубе "Минимакс"

Не имея оснований причислять Виктора Яковлевича к супербиблиофилам (эх, как же мало я его знал...), отмечу, что шеф приобщил меня к изящному, изысканному творчеству Арнольда Гессена, который писал о декабристах, о связях с ними Пушкина – писал с таким, видать, знанием предмета и так, что я начал собирать и собрал в 1970-х целую библиотечку декабристской тематики разных авторов.

По-моему, Владимир Солоухин не принадлежал к любимым писателям Виктора Яковлевича, но как-то у нас получилась читательская микроконференция по произведениям Владимира Алексеевича. В повести "Владимирские проселки" в жанре путевого очерка писатель рассказывал о встречах с разными людьми во время путешествия с женой по Владимирщине. Однажды в перелеске на них вышел (пишу по памяти, так что в деталях могу ошибиться) поддатый мужик в накинутой на плечи форменной тужурке и сразу, без здравствуйте: "Ваши документы!" Встречное: "А ваши?" – мужика прямо-таки ошарашило, он к такому не привык и существенно сбавил тон, объяснив, что он здешний лесник, после чего Солоухин ответил, что они просто путешествуют с рюкзаками. Мораль очевидна: если ничего не нарушил, то перед представителями правопорядка не следует пасовать, опираясь на святая святых юриспруденции – презумпцию невиновности, которая в СССР отменялась недоброй памяти генпрокурором Вышинским.

Вторая солоухинская притча такая. Они с женой на лето снимали полдома в деревне. И вот, вернувшись из поездки в Москву, Владимир Алексеевич застал жену рыдавшей на кровати в истерике. Оказалось, что хозяйский петух, склевав выброшенные женой забродившие ягоды вишни с косточками от самодельной настойки, – скончался, а хозяйка в отместку убила их котенка. Да, вендетта... Что, отравить хозяйскую собаку или кринки на заборе перебить?.. Солоухин отрезал половину палочки дрожжей, которую привез – страшный дефицит! – и вручил жене: "Поди, передай хозяйке от меня". Жена аж поперхнулась, но послушалась. От хозяйки она вернулась улыбающаяся с лукошком яиц: "Пойдем, нас пить чай пригласили".

Третье – рассказ “Прекрасная Адыгенé”. Солоухин с дочкой отдыхали на кавказской турбазе. После соответствующей теоретической подготовки инструктор повел на восхождение группу “чайников”. Гора. Жара. Спортсмены канючат: “Далеко ли еще? Скоро ли придем?” – “Вот видите там дерево? Как дойдем, будет ровно половина”. Ничего себе, сколько еще тащиться... Дотащились и видят: они на вершине – “Всё, пришли”.

Если концовка и мораль в двух первых историях оказалась, возможно, неожиданной, но однозначной, то в последней притче – дело спорное: был ли полезен обман инструктора? Этот прикол – он издевка, дедовщина или стимул, обман во благо?

Думается, многие могут привести примеры подобных сократовских бесед с ВЯ, где он “оставлял вопрос открытым”, показывая, что истина – она конкретна и относительна, она в разных ситуациях может проявляться с точностью до наоборот, и что не надо навязывать свое мнение, давя авторитетом.

Похоже, Виктор Яковлевич своих денег вообще не считал – неизгладимый одессит! Помню, на мой первый в Иркутске день рождения шеф преподнес нейлоновую рубашку – тогдашний шик моды и вещь недешевую. Перед покупкой ВЯ поручил Косте Светлову незаметно узнать размер моего воротничка. Тот подкрался, когда я за столом наклонил голову, и посмотрел этикетку на рубашке. На мое недоумение – в смысле, чего тебе надо? – ответил, что ему привиделся клещ у меня на шее. А сам Костя, помню, подарил мне на том дне рождения рубанок. Уходя, он взял этот инструмент в аренду – рубанок пошел по рукам как вещь ходовая. Многие из нас тогда делали себе мебель – и по причине отсутствия наличия средств, и потому что понравилось, а досок всяких на стройке было море. Упомянутую суперрубашку шеф вручил мне с фокусом: произнес свое любимое: “А песни – их есть у меня!” – достал сверток из-за спины, и он раскрылся, как парашют.

О финансовом состоянии, пожалуй, всех наших приезжих молодоженов, вероятно, даст представление такой пример оптимизации. Чтобы оценить целесообразность приобретения трехлитрового эмалированного бидона для разливного молока, мы с женой определили срок его окупаемости, разделив капиталовложения на разность цен бутилированного и разливного продукта – эта разница составляла, если не ошибаюсь, две копейки на литр. Срок окупаемости получился немаленький, но мы бидон с зарплаты все же приобрели, учтя риск: у молочных бутылок иногда под крышкой-нахлобучкой обнаруживалось надбитие горлышка, и такую тару не принимали. Когда я рассказал ВЯ о нашей семейной оптимизации, он расхохотался и высказал одобрение, особенно в части учета риска. Вдохновленный этим одобрением (как часто повторяет Николай Воропай, “в каждой шутке есть доля шутки”), я рассказал шефу случай с Костей Светловым на московской стажировке. Мы там старались экономить на всем, что можно и нельзя. Одной из заметных статей расходов был транспорт. Не знаю, по какой схеме ездил Светлов из общежития в Черемушках до места стажировки в НИИ сантехники, а вот мы с женой “отрывались по полной”: ав-

тобус, метро с пересадкой, электричка с пересадкой – и это туда и обратно, в сумме до четырех часов ежедневно. Не помню, имелись ли тогда автобусные проездные, но на метро и электричках такого не было. И вот Костя, убедившись, что проверка билетов производится крайне редко, во всяком случае в утренние и вечерние часы пик на его маршрутах, приняв усредненную вероятность этих проверок и зная величину штрафа за безбилетность, высчитал, что вариант заячьего проезда экономически оправдан и дает заметную месячную добавку к зарплате.

Но – увы! – сработал закон Мерфи: если неприятность может с кем-нибудь когда-нибудь произойти, она произойдет непременно именно с тобой и немедленно. На второй день эксперимента наш оптимизатор нарвался на две проверки... Мы оба с Виктором Яковлевичем вспомнили тут пример насчет теории вероятности, приведенный в одной из замечательных книг Перельмана (наверное, "Занимательная математика"): двое поспорили, могут ли по улице мимо их окошка пройти за час подряд сто мужчин, не разбавленных женщинами. Ситуация прямо-таки невероятная, поэтому один из спорщиков на "не пройдут" поставил велосипед, а другой на "пройдут" – копейку. И велосипед был проигран: по улице прошла рота солдат в баню – во! А дальше Виктор Яковлевич объяснил мне, что если вести оптимизационные расчеты с учетом риска вариантов, то возможный ущерб следует определять умножением его вероятности – скажем, сколько случаев по статистике бывает из ста ситуаций или за наблюдавшийся период – на величину ущерба при его возникновении.

Собственно, это вполне естественная, логичная сопоставительная оценка – как же еще-то? – но Лев Александрович Мелентьев не признавал целесообразности введения категории "экономический ущерб" в оптимизационные расчеты. Последнее отражено в моей оде на докторскую защиту Ю.Н. Руденко, где Мелентьев отбил упрек Юрию Николаевичу в неучете ущерба при исследованиях надежности электроэнергетических систем: "Ущерба тигра полосатая / Из-за кустов клыки оскалила, / Но Лев своей могучей лапою ей помахал, / И та растаяла".

Эти примеры сюжетов сократовских бесед с Виктором Яковлевичем показывают, во-первых, методологическую значимость и практическую пользу его воспитательной работы с учениками, во-вторых, поистине необъятный спектр его знаний, включая экономику, при самостоятельности взглядов (в другом месте упоминается его поначалу не принятое мэтрами предложение использовать понятие "замыкающее топливо").

Вот отрывок из текста, написанного Б.М. Кагановичем и включенного в первый том "Траекторий СЭИ": «Среди любимых анекдотов-афоризмов В.Я. Хасилева был и такой: "Жора, жарь рыбу". – "Так нет же ж рыбы!" – "А ты жарь, Жора. Рыба будет!" Так вот, ВЯ при всей своей доброте не переносил, когда люди "жарили" то, чего нет, и думали, что что-нибудь "будет", и при этом использовали красивые слова. По поводу красивых слов он иронически замечал: "*Schone Wart* – красивое слово, по-немецки – канализация!"».

В моем представлении, приведенный Борисом Моисеевичем афоризм – это один из целого ряда анекдотов ВЯ, имеющих весьма глубокий смысл и

“аллегоричность” на уровне басен Эзопа–Лафонтена–Крылова–Цапаха*, где мораль, во-первых, пригодна для широкого круга ситуаций, во-вторых, может быть истолкована по-разному, вплоть “до наоборот”, в зависимости от конкретики ситуаций. В данном случае – про Жору и рыбу – лично я как раз и допускаю толкование противоположное, а концовка притчи запомнилась несколько иная: “Будешь жарить – будет рыба!” Конечно, хорошо, когда рыба уже есть. А если ее пока нет в руках, и точно неизвестно, где она есть и как ее поймать? То, что будет дальше, дискуссионно, но, вероятно, именно поэтому интересно. В моей туристской практике помню три случая прохождения новых (во всяком случае, новых для нас) перевалов, где тропа не была известна, а седловина перевала не просматривалась – она была “примерно где-то там” – и при этом надо было “жарить рыбу” без промедления. Во всех случаях применили “стрельбу по площадям” – веерное движение во всех направлениях предполагаемого нахождения цели. При этом я выбирал для себя вариант наименее вероятный – до абсурдности, по-тупому. Но выбор был не на авось, не на “а вдруг”: допускалось нестандартное решение – наперекор категоричному: “Этого не может быть, потому что этого не может быть никогда” – один из любимых афоризмов В.Я. Хасилева из чеховского “Письма ученому соседу”, где высмеивается невежество полузнания при отрицании всего того, чего не знаешь, не понимаешь, не видел.

Помню, Юрий Александрович Кузнецов, один из первых сотрудников Л.А. Мелентьева, делил людей на “качественных” и “количественных” – вероятно, смысл понятен. Виктор Яковлевич пришел в СЭИ человеком “качественным”, имея генеральную идею создания теории гидравлических цепей, но в моем представлении он вышел на уровень качественности через количественность. Вряд ли я ошибусь (ну а ошибусь, так что́ плохого кому от этого?) в утверждении, что к идее ТГЦ, т. е. идее общности свойств систем каналов, закрытых и открытых, по которым движутся разные жидкости, капельные (собственно жидкие) и газообразные – к пониманию этой общности и возможности ее обобщенного математического описания Хасилев пришел “количественно”, снизу, соприкоснувшись с конкретными системами трубопроводного транспорта, которые посылал ему Бог (его дочка Вера в воспоминаниях об отце пишет, что тот собирался пойти в астрономы – если б пошел, то тоже создал бы ТГЦ, только Г – это “галактические”). В моем представлении, многие первые сотрудники СЭИ начали готовиться к жаренью рыбы: собирать дрова, разводить огонь, греть сковородки, – этой рыбы еще не имея, потом попробовали жарить по-разному рыбу разных сортов, пока не нашли тот сорт, который им подошел, блюдо из которого у них получилось удачным и на которое появился или просматривался потребитель.

Когда текст уже верстался, в книжке “Слово о науке. Афоризмы. Изречения. Литературные цитаты” мне попались высказывания двух древних философов. Первое принадлежит Конфуцию: “*Три пути ведут к зна-*

* Цапах Александр Соломонович – единственно известный сотрудник ИСЭМ, пишущий басни, образцы которых представлены во втором томе “Траекторий СЭИ”.

нию: путь размышления – это путь самый благородный; путь подражания – это путь самый легкий и путь опыта – это путь самый горький". Второе – от Сенеки: *"Лучше изучить лишнее, чем ничего не изучить"*. Библейское: "Толцитесь – и отверзнется, ищите – и обрящете" и слова в песенке: "Если долго мучиться, что-нибудь получится" – это ведь в ту же степь... А мораль такая: Виктор Яковлевич, ставя каждому своему сотруднику конкретные задачи, ставя каждого в свою, личную колею (Константин Светлов упоминает о хасилевском принципе "веника" при формировании своего коллектива – индивидуальные колеи-прутики и общий веник-дорога друг другу не противоречат, они соответствуют раннему ленинскому лозунгу-кредо: "Сначала разъединяйтесь, потом объединяйтесь!"), занимался и "методологическим воспитанием" всех и каждого, вел "идеологическую учебу" – в том числе через свои философские афоризмы на высочайшем уровне библейских притч.

Виктор Яковлевич явно был и количественным, и качественным – это же нормально сочетается. Принцип "знать немного обо всем и все – о немногом" – разве плох? При отпуске тепла на отопление и горячее водоснабжение сочетают качественное регулирование (температурой воды) и количественное (регулирование пропусками)... Но количественное – не обязательно поверхностное, которого Виктор Яковлевич очень не любил.

Вот пример. В день открытия институтского симпозиума 1970 г. в "Восточно-Сибирской правде" были напечатаны два моих материала. Первый – в связи с симпозиумом, за "официальной" подписью как ученого секретаря института. Второй – что-то такое по охране природы под журналистским псевдонимом (он у меня в членском билете) К. Александров. И вот пришел в лабораторию с этой газетой А.С. Некрасов, стал Виктору Яковлевичу при мне эти статьи показывать, то ли хваля меня, то ли наоборот – в смысле, и про это я пишу, и про то. У меня с Александром Семеновичем сложились специфические отношения (скажем так), поэтому я сказал, что у меня здесь вовсе не две статьи. "Ой ли? Я же Ваш псевдоним знаю. Две статьи!" – "Вот и не две!" И я показал ему третью – маленькую и злую, фельетонную издевку по поводу того, что в магазинах уже месяц нет сапожного крема – за подписью, придуманной редакцией. Виктор Яковлевич по-хитрому улыбался. А когда Некрасов ушел, шеф прочел мне нотацию насчет всеядства и посоветовал в журналистике на чем-то сосредотачиваться, чтобы пахать поглубже. Ну, я на стенку полез: что тут сосредотачиваться, если сразу и симпозиум, и лес рубят, и гуталина нет. Хасилев развел руками и поклонился: "И вы правы!" Эти слова – концовка одного из его одессизмов. Когда докладчика забрасывали замечаниями, он каждому учтиво отвечал: "Да, конечно, вы правы!" – "Но ведь не могут же быть правы все!" – "Да, конечно, и вы правы тоже". Вот такие смягчения прорывавшейся резкости, как это и упомянутая Мишей Такайшвили критика бороды, – великое дело! Лично я считаю в этом плане шедевром слова́, услышанные от Валерия Ивановича Зоркальцева: "Чтобы это было в предпоследний раз!" – я их использую в разных интерпретациях.

В начале 1963 г. партгруппорг СЭИ Иван Митрофанович Пилипенко (до возможности иметь свое партбюро коммунисты института тогда еще не

дотянули: их явно можно было пересчитать по пальцам двух рук) предложил А.П. Меренкову и мне вступить в ряды КПСС (кто еще тогда до такого сподобился, не помню, но это был в институте первый набор)*. Мы с Анатолием Петровичем были не то чтобы ошарашены, но все-таки...

Поблагодарив за высокое доверие, мы ответили, что предложение почетное, но нам надо обдумать, шаг серьезный и т. п. И пошли мы советоваться к Виктору Яковлевичу как к отцу родному – это на полном серьезе, больше-то нам было идти не к кому. Детали разговора не запомнились, но самый близкий нам среди "взрослых" сотрудников института однозначно изрек, что предложение надо принять – по совокупности причин, которые ему, беспартийному, объяснять для нас излишне. Нет, он за нас не радовался, он, скорее, отдавал нас на заклание – он воспринял это как неизбежное для нас – для таких, как мы, – и, значит, это нужно принять как оптимальное (у Солженицына есть автобиографическое эссе "Бодался теленок с дубом"). Выйдя от шефа, мы с Меренковым "констатировали": если бы ВЯ высказался отрицательно – просто не одобрил бы это, не аргументируя, – мы бы тогда – именно тогда, в тот момент! – предложение не приняли: "Мы пока не доросли, не достойны..."

Второй раз я обратился к ВЯ за судьбоносным советом в 1975 г. (он в СЭИ уже не работал), когда Л.А. Мелентьев через Ю.Н. Руденко абсолютно неожиданно предложил мне организовать и возглавить в СЭИ лабораторию экологии энергетики. Вот тут шеф однозначно совета мне не дал: он не представлял, что́ вот такая лаборатория могла бы делать в таком институте, как СЭИ: "А вообще беритесь, Саша, раз предлагают, хотя я конкретно помочь вряд ли смогу". И мудрый Виктор Яковлевич оказался – как всегда! – прав: лаборатория заработала, были локальные успехи, был заказной доклад на мелентьевском Научном совете по комплексным проблемам энергетики в 1985 г., была премия СО АН СССР на конкурсе по фундаментальным исследованиям 1990 г. за монографию "Экологические проблемы энергетики" – все это без "но", ...но это оказался тот случай, когда жарили мелкую рыбу, а крупную выловить не смогли.

ВЯ вспоминал очень даже не курьезный случай. Как-то после войны, когда он шел в Москве по улице Горького (бывшей и будущей Тверской) и наклонился завязать шнурок на ботинке, он был задержан "по подозрению". Оказывается, в тот злосчастный момент мимо проезжала кавалькада автомобилей, сопровождавших то ли Клима Ворошилова, то ли Семена Буденного, то ли сразу двух этих сталинских маршалов, и, соответственно, были приняты повышенные меры по обеспечению их безопасности. После обыска и проверки личности завязыватель шнурков был отпущен.

В ответ я рассказал случай, который можно считать аналогичным. Летом 1960 г., возвращаясь из командировки, я решил "злоупотребить" и, вместо поезда или самолета, проехать автобусом Тбилиси–Орджоникидзе (бывший и будущий Владикавказ) через Главный Кавказский хребет – по

---

* Раздел "СЭИ и КПСС" в блоке "Общественная жизнь" тома 1 "Траекторий СЭИ" – самый объемный в двухтомнике – 43 с. Там, в частности, описано, почему, зачем и как в институте вступали в партию.

знаменитой и экзотической Военно-Грузинской дороге, построенной русскими войсками в конце XVIII века. Естественно, я напропалую фотографировал – и на остановках, и на ходу из окошка. И вот, уж не помню в каком месте, автобус был остановлен грозным окриком. Подошел военнослужащий при винтовке и потребовал, чтобы я вышел с вещами и следовал с ним. На контрольном или как он там пункте меня подвергли допросу, составили протокол, потребовали вынуть и отдать фотопленку для проверки (перематывая, я ее засветил – на всякий случай, вдруг там окажется сверхсекретный минеральный источник – начальник это сокрытие улик видел, но то ли не понял, то ли как). Взяв подписку о невыезде из Ростова, где я тогда работал, начальник сказал, что "дело" перешлют туда, и там со мной разберутся. Автобус меня дождался, пассажиры кавказской национальности встретили мое освобождение радостными криками и пустили по кругу оплетенную бутылку. Как и в шнурковом инциденте, обошлось без последствий, но – пустячок, а неприятно.

"Анекдоты от Хасилева" помнят или припоминают, пожалуй, все, кто имел с ним сколько-то близкие контакты*. Но при этом считать Виктора Яковлевича завзятым анекдотчиком – как, к примеру, Юрий Никулин или сотрудники СЭИ Владимир Войлошников и Игорь Шер, – это и неправильно, и неверно. ВЯ использовал эту форму народного творчества сугубо утилитарно – он так иллюстрировал, подкреплял, закреплял соответствующие истины, идеи, постулаты. Это были собственно не анекдоты, а притчи (на всякий случай из энциклопедии: притча – малый дидактико-аллегорический литературный жанр, заключающий в себе поучение). Когда шеф "поучал" меня как, по какому клише следует писать автореферат диссертации, то в качестве примера краткости рассказал такой милый анекдот, услышанный им от Шера в знак протеста против одного особенно долгого и нудного доклада на ученом совете.

В английской школе писали сочинение на вольную тему. Учительница подошла к девочке, которая сидела в задумчивости: "Ну, в чем дело?" – "Я не знаю, о чем писать". – "Пиши, о чем хочешь, но в хорошем сочинении должно быть немного о Боге, немного о королеве, немного о сексе и немного таинственности". И девочка написала: "Боже мой, – подумала королева. – Я беременна. От кого бы это?"

Вот два "нейтральных" анекдота от Хасилева. Диалог министра культуры СССР, единственной женщины в Президиуме ЦК КПСС Фурцевой и Ойстраха, профессора и дирижера оркестра Московской консерватории: "Давид Федорович, оказывается, вы со своими концертами зарабатываете больше, чем получаю я!" – "Но, Екатерина Алексеевна, я-то ведь зарабатываю, а вы – получаете..."

Лев Спиридонович Беляев, по стажу сотрудник института номер один и заместитель всех четырех его директоров, когда ему была изложена идея этого сборника воспоминаний с просьбой что-то написать – если не он, то кто? – откупился анекдотом, рассказанным ему Хасилевым почти 50 лет назад – надо полагать, рассказано было к месту и ко времени, коли запом-

* Об этом есть в мемуарах Б.М. Кагановича и М.К. Такайшвили.

нилось. Пришел к доктору крутой больной с жалобой на недержание. Доктор выписал рецепт и велел прийти через месяц. Когда посетитель укатил на лимузине, доктор спохватился: “Да я ж ему прописал совсем не то, я прописал успокоительное. Ну, он придет – мне даст...” Через месяц пациент явился и сразу от двери: “Ну, доктор, спасибо огромное, вы мне сильно помогли!” – “Что, недержание прекратилось?” – “Да нет, оно не прекратилось, но я его теперь воспринимаю спокойно”.

Дежурными у меня сразу же стали моралистические концовки двух анекдотов от Хасилева: “Так вам что нужно: шашечки или поехать?” и “Если вы можете пить и работать, пейте и работайте, если не можете пить и работать – бросьте работу”.

Мои угрызения совести

После смерти близкого человека всплывают в памяти обиды, которые ему невольно нанесены, и допущенные неделикатности – чем ближе и чем дороже был человек, тем тяжелее воспоминания...

Проходя в нашей лаборатории практику, хорошо показала себя студентка мехмата ИГУ Ольга Райхбаум – и как программист, и как человек. Когда Виктор Яковлевич отказал мне в настойчивой просьбе взять Олю в штат (Хасилев – заведующий, ему виднее), я в запальчивости выдал что-то такое: “Нельзя же обижать молодежь!” – а он мне спокойненько-философски: “А старших – можно?”

Когда после моей защиты в МИСИ мы с ВЯ, прохаживаясь по коридору, долго ожидали результаты голосования (кажется, не один я тогда защитился, а на повестке заседания стояли и другие вопросы), я посетовал: “Что они там так долго? Цыплята табака остынут!” (кстати, “товарищеский ужин” был заказан в ресторане “Байкал” – это не супер, как “Прага” или “Центральный”, но зато название-то какое и заведение находится буквально в нескольких сотнях метров от МИСИ). Вот тут ВЯ вскипел и действительно выругал меня: “Какие цыплята? О чем Вы сейчас заботитесь? За дверью решают Вашу судьбу, Саша!”

Следующее “угрызение совести” – это когда ВЯ в один из приездов в Иркутск остановился в нашей двухкомнатной квартире (жена с дочкой были на югах) и я поселил его на диване, а потом заметил, что ему там было неудобно, он ворочался, скрипел пружинами – мне там спать бывало нормально, но он-то ростом заметно больше.

Приехав как-то в Москву утречком, я сразу позвонил ему из автомата. Виктор Яковлевич сказал, что бреется, и пусть я позвоню попозже: и пустячок, и ответил мне он вежливо, но – моя неделикатность (аналогия с предрассветным звонком Тамары Ощепковой, о которой вспоминает М.К. Такайшвили в этом сборнике, – и чьим-то злосчастным звонком на кафедру в МИНХ, когда Виктор Яковлевич побежал к телефону и запнулся о линолеум...).

Наверное, не сильно тактичной была просьба к научному руководителю на всякий случай встретить в аэропорту меня с годовалой дочкой, которую я вез транзитом через Москву к моим родителям в Иваново. На тот момент – 1963 г. – у меня в Москве не имелось вообще ни одного близкого

знакомого, кроме ВЯ. Он меня встретил – разумеется! – мы приехали к ним, я оставил дочку на пару часиков, чтобы купить билет на поезд и что-то из продуктов (1963-й...) и не сидеть на вокзале... Когда вернулся к Хасилевым, увидел Аллу Филипповну со Светланкой на руках – они обе улыбались, обе выглядели довольными... До сих пор у меня кошки скребут на сердце: я позволил себе обременить занятых людей, отвлек своего уважаемого шефа... Наверное, я счел такое "нарушение субординации" возможным после того, как Виктор Яковлевич останавливался в нашей квартире во время его приезда в Иркутск, о чем я упоминал выше.

Хасилев, Мелентьев, Кржижановский и вокруг

В текстах ряда ветеранов СЭИ об организаторе и первом директоре института утверждается, что Лев Александрович способствовал защите диссертаций всех сотрудников не только в "идейном" плане, но и непосредственно – в организации этих защит, которые тогда проходили в квалификационных советах в Москве, Ленинграде, Новосибирске. Мелентьев действительно непосредственно помог ускоренной защите ряда руководителей лабораторий, сотрудников его отдела общей энергетики и математиков-соискателей ученых степеней по техническим наукам. Мелентьев конкретно – и заметно! – помог успешно защитить докторские диссертации Ю.П. Сырову (1967 г., ЛПИ, Оптимизация структуры ЭЭС с помощью матмоделей) и Ю.Н. Руденко (1971 г., ЛПИ, надежность ЭЭС). В первом случае в совете были гидроэнергетики, привыкшие к турбинам, плотинам и т. п., для которых и ЭЭС, и матмодели были не ко двору, а во втором претензией к соискателю было отсутствие учета ущерба – Лев Александрович с высоты своего академического роста дал соответствующие пояснения. Насколько помнится, Мелентьев присутствовал на защите докторской диссертации ВЯ в Новосибирске, но там какие-то пояснения не потребовались: работа была настолько сильной, что оппонент, профессор С.Ф. Копьев* на полном серьезе заявил, что работа выходит за рамки докторской диссертации.

Если взять кандидатские защиты сотрудников хасилевской лаборатории теплоснабжения, то тут директор и пальцем не притронулся (хотя, естественно, само его имя способствовало...).

Не помнится, чтобы ВЯ читал мораль своим сотрудникам, явно хвалил их или наоборот. Вероятно, именно поэтому лично мне так запомнились – запали в душу! – его поучительные анекдоты, приведенные выше, с элементами притч в плане морали.

Виктору Яковлевичу довелось общаться непосредственно с Глебом Максимилиановичем Кржижановским, в том числе не только по чисто служебной, производственной линии – о последнем вспоминает А.Ф. Хасилева. Внимательно читая тексты, где об этом говорится или упоминается, можно отметить не то чтобы противоречия в толкованиях и оценках, но во всяком случае различные "детали" этих контактов.

---

* Досье Копьева приведено ниже.

Живописный портрет Г.М. Кржижановского, заказанный Л.А. Мелентьевым для своего кабинета в СЭИ

В любом случае В.Я. Хасилеву, как и Л.А. Мелентьеву, сильно повезло, что им довелось соприкоснуться с этим, безусловно, великим человеком, которого можно официально признать советским энергетиком номер один. Ну а сотрудники СЭИ, работавшие под непосредственным руководством Мелентьева и Хасилева, могут с гордостью считать себя третьим звеном этой исторической энергетической цепочки.

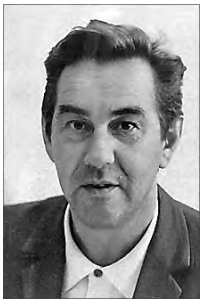
И одна деталь. Готовя очерк к 100-летию со дня рождения Кржижановского (1972 г.) и прочтя о нем все, что нашлось, – я обратился к Л.А. Мелентьеву с просьбой рассказать что-нибудь личностное об этом многостороннейшем, ярчайшем, интереснейшем человеке. Так вот, Лев Александрович, отведя взор, сказал лишь буквально следующее: "Знаете, это был сложный человек" – и точка! Если с Мелентьевым я не был – совершенно не был! – близок, хотя работал тогда ученым секретарем, то с Виктором Яковлевичем я был, в моем представлении, много ближе, – но и ВЯ, помню, лишь сказал, что в ЭНИНе, где он работал с 1944 по 1953 г., атмосфера была суровой (что ж, понятно: директор – ленинец, закаленный тюрьмами-ссылками, борьбой с меньшевиками, который и Сталину противоречил...), а однажды он был свидетелем, как высокопоставленный сотрудник вылетел из кабинета кого-то из замдиректоров, сопровождаемый громким матом. Конечно же, у Виктора Яковлевича имелось, что сказать, но он был, во-первых, весьма – и весьма! – порядочен и деликатен, во-вторых, осторожен (жизнь научила).

В "Траекториях СЭИ" есть блок "Отцы-основатели". Термин – из историографии США: *The Founding Fathers* – это те, кто сначала создавали идеологическую платформу объединения тринадцати британских колоний для получения независимости, а после победы в освободительной войне (американцы считают ее своей революцией: до того они были под властью монархии, а после того установили демократию) создавали юридическую основу нового государства и возглавили важнейшие звенья структуры его управления, и некоторые занимали пост президента. Так вот, в "Траекториях" после основателя и первого директора СЭИ, потом двух его заместителей и первого ученого секретаря – соответственно Л.А. Мелентьева, Л.С. Беляева, Ю.Н. Руденко и Л.С. Попырина – первым стоит Г.Б. Левенталь – верный помощник Льва Александровича еще до СЭИ, на кафедре в

Сподвижники, ученики и последователи Л.А. Мелентьева

Г.Б. Левенталь

Л.С. Попырин



Л.С. Беляев

Ю.Н. Руденко

ЛИЭИ, который создал лабораторию теплоэнергетики, и она первой начала исследования не по одной, а по вееру тем, став самой многочисленной в институте. На панорамном снимке из трех состыкованных кадров, отснятых во время какого-то общелабораторного мероприятия левенталевцев в их трехмодульном помещении, – виден целый ряд тех, кто потом возглавил новые подразделения института, в том числе не теплоэнергетического профиля (снимок есть и в "Траекториях", и во второй книге трехтомника "Вехи полувекового пути").

Лев Александрович не случайно доверил именно Григорию Бенедиктовичу прочесть свой целеполагающий, генеральный доклад на симпозиуме СЭИ 1974 г., где сам не смог присутствовать. В "Энергии–Сибири" это отражено так: "Левенталь голосом Левитана прочел доклад Мелентьева" – слова тогдашнего редактора стенгазеты Г.В. Войцеховской.

В отличие от Г.Б. Левенталя, Виктор Яковлевич не был ни учеником, ни последователем, ни помощником Л.А. Мелентьева. Он был, если здесь можно так сказать, союзником или даже просто попутчиком Льва Александровича на общем отрезке их жизненных траекторий. Представляется, что Хасилев не очень-то проникся большесистемной идеологией Мелентьева, имея свой мир, мир гидравлических цепей, который являлся, естественно, частью мира энергетики в его широком понимании, но при этом был миром вполне самостоятельным, чьи законы и закономерности по их проявлению явно шире, чем Большие Системы Энергетики – БСЭ – в трактовке Мелентьева и его школы. В БСЭ царил экономический функционал, в гидравлических цепях свет сходился клином на физико-технических аспектах. У хасилевской теории гидравлических цепей – ТГЦ – были "свои колокола". Декларированное Львом Александровичем одно из базовых свойств и непременных признаков БСЭ – неопределенность исходной информации и, соответственно, зона неопределенности решений – это ТГЦ не было чем-то "сакраментальным", каким-то камнем преткновения. Конечно, неопределенность, вероятность, стохастичность – они и в Африке такие, но приложения ТГЦ – они инженерны, конкретны, дискретны – "детерминистичны". То, что здесь сказано, – оно дискуссионно относительно, но, думается, нисколько не умаляет ни значимости теорий БСЭ и ТГЦ, ни заслуг их создателей.

Виктор Яковлевич как инженер был – не мог не быть! – и экономистом тоже (деньги – "общий знаменатель", "обезличенный критерий", всеобщий эквивалент...), хотя зоной, полем его исследований – *field of research* – были гидравлические цепи во всем многообразии их проявления и содержимого – чем дальше, тем больше! Вот бесспорное подтверждение высокой квалификации Хасилева как экономиста. Когда в конце 1940-х годов сооружался газопровод Саратов–Москва, обсуждались планы использования большого газа для большого города и определялись приоритетные потребители, В.Я. Хасилев выдвинул идею использования замыкающих затрат на топливо в технико-экономических расчетах. Как вспоминает Б.М. Каганович, Виктор Яковлевич сказал ему, что эта идея первоначально была отвергнута Л.А. Мелентьевым. А через 20 лет его ученик и преемник А.А. Макаров сделал благодарственную надпись на подаренной Виктору Яковлевичу своей методике использования замыкающих затрат, утвержденной Госпланом.

Динамика отношения Л.А. Мелентьева к В.Я. Хасилеву иллюстрирует одно из свойств основателя и первого директора института: возможность диаметральной переоценки человека с реализацией нового мнения в соответствующих, иногда далеко идущих оргвыводах. Когда по стране, особенно в столицах, шла широкая "охота на ведьм" как эхо "дела врачей", и В.Я. Хасилев в апреле 1953 г. был уволен Г.М. Кржижановским из ЭНИНа (об этом упоминается в мемуарах его жены Аллы Филипповны), то резон-предлог выбрали такой. После войны по инициативе Л.А. Мелентьева в Ленинграде была организована энергетическая группа (позже лаборатория), входящая в отдел общей энергетики ЭНИНа. Заведующим официально являлся М.А. Шателен, а его заместителем – Лев Александрович, занимавшийся вопросами теплоснабжения и теплофикации. Так вот, В.Я. Хасилева и уволили потому, что ЭНИНу в Москве теплоснабженцы будто бы были не нужны, их хватало в ленинградской лаборатории. В.Я. Хасилев подал в суд на Г.М. Кржижановского по поводу этого произвола. И иск был удовлетворен, чему способствовало письмо Л.А. Мелентьева, где говорилось о недостаточном обеспечении специалистами высокой квалификации этого важнейшего направления отечественной энергетики. Не исключено, что сам факт иска и особенно его удовлетво-

Сподвижники, ученики и последователи Л.А. Мелентьева

Л.А. Крумм

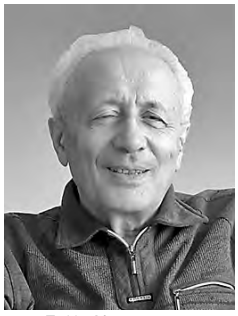
А.А. Макаров

Ю.А. Кузнецов

Л.С. Хрилев

Доктора наук — ученики и последователи В.Я. Хасилева

А.П. Меренков



Б.М. Каганович

С.В. Сумароков

Е.В. Сеннова

рения для “эпохи произвола и беззакония” беспрецедентны: тогда – не теперь. Какой-то Хасилев и сам Кржижановский – “старый большевик” (это официальный титул!), ближайший друг-товарищ Ильича, член ЦК РСДРП и ВКП(б)... Среди причин, кроме письма Мелентьева, – на уровне авторского домысла – что Глеб Максимилианович к этому времени уже перестал быть супер*VIP*, его постепенно отстранили от крупномасштабной научно-организационной деятельности, а членом ЦК ВКП(б) и вице-президентом АН СССР он перестал быть уже в 1939 г., в процессе пошагового очищения партии от влиятельных ленинцев.

Виктор Яковлевич, гордый одессит, в ЭНИН не вернулся: побыв безработным до сентября 1954 г., он устроился доцентом на кафедру Л.К. Якимова в МИНХ. Выполненная в ЭНИНе докторская диссертация “О параллельной работе ТЭЦ” к защите представлена не была (этот факт и многие другие приведены по воспоминаниям Б.М. Кагановича, одного из немногих оставшихся в СЭИ непосредственных, первичных учеников В.Я. Хасилева). Виктор Яковлевич преподавал студентам теплотехнические дисциплины, занимался различными исследованиями, в том числе достаточно случайными, на которые поступали заказы (вышеупомянутая оптимизация варки манной каши).

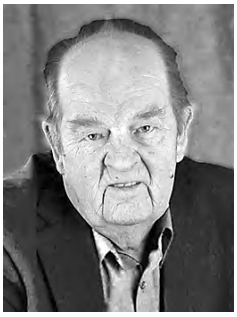
Хасилев был приглашен на заведование лабораторией теплоснабжения в СЭИ как специалист в этой области, понимающий в кибернетике и уже имеющий опыт применения вычислительной техники в области гидравлических расчетов. ВЯ был, в моем представлении, наиболее математически подкованным среди нематематиков СЭИ в 1960-х. Соперником мог считаться, наверное, лишь Лембит Арсентьевич Крумм, хотя “цепные” уравнения для электрических сетей по сути линейны, а для гидравлических – квадратичны (возможно, электрики тут не согласятся...).

Вопросами теплоснабжения в целом, сосредоточившись на их источниках, занимался Л.С. Хрилев, аспирант Мелентьева по ЛИЭИ, сначала в его отделе общей энергетики, затем в лаборатории экономики энергетики, которую возглавлял Ю.А. Кузнецов, тоже бывший аспирант Льва Александровича. Леонард Сазонтович, защитив кандидатскую и докторскую диссертации и имея богатого опытом и идеями помощника в лице Ивана Андреевича Смирнова, занимался схемами теплоснабжения в целом, в том числе углубленно и де-

тально – выбором источников – это ТЭЦ и котельные с разными технологическими схемами, параметрами, топливом вплоть до ядерного (начав заниматься атомной теплофикацией в СЭИ, Хрилев потом в нее углубился – об этом он рассказывает в сборнике воспоминаний о Л.А. Мелентьеве). При этом системы (или подсистемы) транспорта, связующее звено между источниками и потребителями – тепловые сети – рассматривались весьма агрегированно. А хасилевцы, занимаясь трубопроводным транспортом всех энергоносителей (воды, пара, газа, нефти), в теплоснабженческих исследованиях рассматривали источники тепла как "приточные точки" в своих сетях. Криминала в этом разделении, естественно, не было, но пообъектный анализ требует последующего системного синтеза. При решении гидравлических задач источники напора можно без заметного вреда, действительно, считать просто точками. А вот если при выборе схемно-параметрических решений для систем теплоснабжения в целом, включая принципиальные решения по источникам тепла, соединять эти источники с потребителями просто прямыми линиями на схемах, то можно получить очень даже не оптимальные решения по самим источникам. Короче, если лаборатория В.Я. Хасилева (потом – отдел А.П. Меренкова) не была бы отлучена от исследований по теплоснабжению, то это направление стало бы полнокровнее. Тем более что сам Виктор Яковлевич являлся признанным специалистом и в системных вопросах теплоснабжения, которые он в отличие от хрилевцев познал в своей инженерной практике "от земли". Нормальные, хорошие человеческие отношения у всех названных персон сохранились, но предложение Л.С. Хрилева–Ю.А. Кузнецова работать совместно Виктор Яковлевич отверг*.

Я это знаю со слов Юрия Александровича, с которым мы были весьма близки: Юра пришел ко мне чуть не со слезами после разговора с Хасилевым, который если уж обижался, то навсегда. Все мы люди, все мы человеки... Я здесь несколько утрирую, но суть в том, что в СЭИ под флагом большесистемной комплексности, единства постановок и методов получилась ситуа-

Доктора наук – ученики и последователи В.Я. Хасилева



О.А. Балышев

В.А. Стенников

Н.Н. Новицкий

В.Р. Чупин

* Похоже, среди исходных причин – "ревность" Виктора Яковлевича, проявившаяся, когда А.П. Меренков, работавший с Хасилевым, подключился и к исследованиям Ю.А. Кузнецова по оптимальному синтезу газопроводов, – об этом упомянуто в мемуарах Б.М. Кагановича.

ция, в дух СЭИ не вписывающаяся. И вряд ли лишение В.Я. Хасилева “лицензии” на теплоснабжение оказалось ему полезным в смысле возможности углубиться в гидравлику, создать ТГЦ: его бы явно хватило на все! Но – без всяких “но”! – нельзя не вспомнить, что при всем при этом Л.А. Мелентьев помог Виктору Яковлевичу защитить докторскую диссертацию. Точнее, работая в МИНХе, Хасилев докторскую вряд ли когда-нибудь мог защитить. Ну и – это уж безусловно! – без СЭИ, т. е. без Л.А. Мелентьева, не было бы ШКОЛЫ ХАСИЛЕВА, которая дала целую плеяду докторов наук: А.П. Меренков, Б.М. Каганович, Е.В. Сеннова, С.В. Сумароков, В.Р. Чупин, О.А. Балышев, Н.Н. Новицкий, В.А. Стенников (кандидатов не перечисляю – школа Хасилева представлена ниже в виде непланарного графа, изображенного О.А. Балышевым и доведенного до блеска Л.М. Ширяевым для “Траекторий СЭИ”). А что касается теплоснабженческих направлений исследований, то искусственно разорванное слилось, срослось: на момент написания этих строк в СЭИ есть отдел трубопроводных систем – это системы тепло-, водо-, нефте- и газоснабжения, а в нем – лаборатория теплоснабжения, которую после ее создания в 1989 г. возглавлял доктор наук А.В. Федяев, представляя направление Л.С. Хрилева, с 1992 г. – доктор наук Е.В. Сеннова, вышедшая из школы В.Я. Хасилева–А.П. Меренкова, с 2003 г. лабораторией и отделом заведует доктор наук В.А. Стенников.

Он контактировал лишь с людьми порядочными

В 1930-х годах, заочно обучаясь в МГУ и затем в аспирантуре Московского института инженеров коммунального строительства, В.Я. Хасилев поработал в ряде проектных организаций строительного профиля, а в военные годы преподавал и вел научную работу в МИСИ. Похоже, деловые связи со строителями у него сохранились навсегда. Так, во время одной из моих командировок в Москву в середине 1960-х мы поехали с ВЯ в какую-то организацию, занимавшуюся проектированием, в частности, хитрых зданий с массивными многослойными ограждениями, с сейсмическими и температурно-компенсационными швами-стыками, где имелись лабиринтные уплотнения. К Хасилеву обратился, как я понял, его старый и хороший знакомый Пинхус Абович Певзнер с просьбой рассчитать переменные температурные поля в этих стыках с учетом фильтрации воздуха, а шеф поручил это дело мне, поскольку мы с Олегом Балышевым подобную задачку, только попроще, решали для здешнего Промстройпроекта. Увезя в гостиницу крупногабаритный тяжеленный альбом синек, я составил расчетную схему задачи, алгоритм и таблицу требуемых исходных данных и уже один приехал в ту контору (помню, ехать на автобусе было очень далеко, а альбом мне мешал) за уточнениями. Задачка осталась подвешенной, поскольку мои прикидки показали, что фильтрация сильно влияет на температурное поле в швах, а интенсивность фильтрации зависит от разности давлений – короче, необходимо сначала провести расчет воздухообмена, чем в лаборатории теплоснабжения СЭИ уже перестал заниматься К.С. Светлов. Но, как сказал Певзнер, даже предложенные расчетная схема и алгоритм весьма интересны и ему полезны, а особо он по-

благодарил за... возвращение альбома. Последнее меня удивило, и я сказал что-то типа: “Как же иначе, я же из лаборатории Хасилева!”

Выше я упоминал, что по просьбе ВЯ для его дагестанского приятеля я провел на гидроинтеграторе расчеты максимальной глубины сезонных колебаний температурного поля грунта. Потом из Риги без предупреждения прилетел сотрудник Физико-технического института АН Латвии Фортынь: через два дня у него была назначена защита кандидатской диссертации, и “вдруг” сорвался отзыв от ведущей организации. Фортынь занимался регулированием режимов отопления – это было близко к моей тематике, поэтому шеф поручил срочно написать отзыв от СЭИ именно мне. Как видно, круг коллег Виктора Яковлевича был широк и тематически, и географически. И еще: Певзнеру и тому дагестанцу помощь была оказана чисто альтруистски, поскольку их *fields of research* явно были далеки от ТГЦ, и ВЯ с них в принципе не мог ничего поиметь для своих исследований.

Личные производственные связи были у шефа с людьми из абсолютно всех отраслей топливно-энергетического комплекса и из комплекса строительного. И Виктор Яковлевич эти свои связи не монополизировал, он ими щедро делился с сотрудниками лаборатории, сводя их с этими людьми и отходя затем в сторону. Одна деталь: все, с кем меня В.Я. Хасилев состыковал в Москве, были не просто порядочными, но и обладали повышенной обязательностью в выполнении договоренности. Естественно, это стимулировало такое же отношение и к ним. Исключение случилось, помнится, лишь однажды. Виктор Яковлевич познакомил меня с одним из ведущих специалистов ВНИИгаза по трубопроводному транспорту Б.Л. Кривошеиным, весьма активным, владеющим информацией, с хорошим чутьем проблем. До меня с Борисом Лейбовичем уже работал наш Ю.А. Кузнецов, потом с ним контактировали напрямую сотрудники нашей тепловой группы – О.А. Балышев, В.А. Тарабрин, А.Ф. Редько и другие газовики СЭИ – короче, это был наш человек в Москве. Мое сотрудничество с Б.Л. Кривошеиным продолжалось более 10 лет, вышла масса совместных отчетов, публикаций. А потом мне показали письмо, где Борис просил одного из моих сотрудников привезти программы с реализацией нашего главного *know how* – доведенного до универсального совершенства так называемого АВС-алгоритма – учета условия Стефана (граничного условия пятого рода) для знакопеременных процессов таяния–промерзания грунтов в n-мерной постановке.

Просьба из Москвы поступила ненавязчивая, этакая доверительная, деликатная, где мысль “ты – мне, я – тебе” улавливалась лишь при знании ситуации... Я – жаловаться к Виктору Яковлевичу, весь из себя возмущенный. Он глянул на меня по-хасилевски и по-хасилевски же сказал: “Саша, что вы хотите, это же Москва”. Я продолжал работать с Б.Л. Кривошеиным, поскольку это было полезно нашему общему делу и нам обоим, а потом узнал о его второй, еще более деликатной попытке заполучить наши программы через другого сотрудника, который тоже “сдал” мне Бориса. Позже, когда Кривошеин уже перешел в другую организацию и наши рабочие контакты с ним умерли естественной смертью, те программы

вошли в “Методику теплового и гидравлического расчета на ЭЦВМ магистральных газо- и конденсатопроводов в мерзлых грунтах”, выпущенную СЭИ и ВНИИгазом и 1 июля 1982 г. утвержденную начальником Технического управления Мингазпрома (мы же не собаки на сене, но и не губошлепы и не настолько валенки, чтобы позволить московскому могуществу продолжать прирастать Сибирью за так).

Я не знаю, сам ли А.П. Меренков (великий кадровик!), ближайший ученик и официальный – и достойный! – наследник Виктора Яковлевича, вставший после его ухода во главе лаборатории, придумал постулат, которым руководствовался: “Человека либо надо принимать, как он есть, либо вообще не принимать”, но суть здесь явно от Хасилева. Если душа ВЯ кого-то не могла принять, то это всё – туши свет, сливай воду, выноси мебель. И я помню, как шеф объяснял мне это свое кредо. Выше упоминалось, что перед СЭИ и после он работал на кафедре энергетики МИНХ у профессора Льва Константиновича Якимова. Мы шли тогда от метро “Дзержинская” на какой-то маленький заводик за квартирными регуляторами температуры воздуха, которые сконструировал Якимов. Такие простейшие регуляторы прямого действия, где клапан перемещался силой плоской пружины из термобиметалла, долго и успешно работали в квартире Хасилевых – маленькая штучка, на вид обычный кран на штуцере отопительного радиатора в каждой комнате. Так вот, говоря про Якимова, которого он сильно любил, Виктор Яковлевич, в частности, рассказал, что на одном из заседаний кафедры после соответствующего обсуждения в протокол было занесено такое положение: ни в коем случае не принимать на работу сколь угодно нужного и высококвалифицированного сотрудника, если у него есть моральные изъяны.

Это положение вспомнилось, когда на мой вопрос в совете Иркутской федерации туризма, почему только что введенное почетное звание “Заслуженный путешественник России” не присвоили одному из видных краеведов-популяризаторов туризма, автору прекрасных путеводителей по Байкалу, ответили, что они представляют к этому званию лишь людей порядочных.

В мемуарах Константина Сергеевича Светлова названы поименно больше трех десятков классных специалистов, инженеров и ученых в московских, ленинградских и киевских организациях разных ведомств. Этот список, естественно, не полон, его можно и продолжить. Далее приводятся досье и портреты тех, для кого из наиболее близких Виктору Яковлевичу удалось изыскать необходимую информацию.

В 1968 г., уволившись из СЭИ, В.Я. Хасилев вернулся на кафедру энергетики МИНХ (он работал там в 1954–1961 гг.), которую возглавлял тогда его близкий друг доцент Олег Георгиевич Ляхов, преемник Л.К. Якимова. Представленный снимок сделан после смерти Виктора Яковлевича, когда в состав кафедры вошла лаборатория холодильной техники и коллектив возглавил профессор Виктор Федорович Лебедев (на снимке в центре). Из работавших с В.Я. Хасилевым на снимке в правом ряду видны О.Г. Ляхов (рядом с Лебедевым), В.В. Русанов (третий слева), Александр

Кафедра энергетики Московского института народного хозяйства им. Г.В. Плеханова

Стрельцов (четвертый) и Олег Львович Якимов (сидит откинувшись). Хасилев, Русанов и Якимов вели курс теплотехники, тесно сотрудничая в учебной и научной работе, где двое первых были в основном теоретиками, а третий (он сын профессора Льва Константиновича Якимова, заведовавшего кафедрой в 1950-х–начале 1960-х годов) дополнительно ведал экспериментальной котельной, построенной на загородном шоссе. (Снимок и информация к нему любезно представлены доцентом Владимиром Русановым.)

Богословский Вячеслав Николаевич (1923–2001)

Доктор технических наук, профессор, в 1967–1989 гг. заведовал кафедрой отопления и вентиляции в Московском инженерно-строительном институте им. В.В. Куйбышева (теперь Московский государственный строительный университет), семь лет был деканом факультета теплогазоснабжения и вентиляции.

Поступив на учебу в МИСИ в 1941 г., закончил его в 1950 г. В 1941–1942 гг. Богословский участвовал в сражениях под Москвой и Ржевом, за что был награжден не только боевыми медалями, но и орденом Отечественной войны I степени – для семнадцатилетнего рядового такой орден не рядовой. Был демобилизован в связи с тяжелым ранением, после которого всю жизнь плохо слышал, что не мешало его активной многогранной деятельности.

Здание МИСИ на Шлюзовой набережной,
где учился и затем работал В.Н. Богословский

Вячеслав Николаевич был по-человечески близок В.Я. Хасилеву, на которого походил энергией, мультивалентностью, сложностью жизненного пути, бескорыстной благожелательностью, безоглядной смелостью в отстаивании своего мнения, заботой об учениках. На его кафедре имелся гидроинтегратор – это также сблизило кафедру МИСИ и лабораторию СЭИ.

Богословский представил к защите в престижном совете МИСИ диссертации К.С. Светлова и мою, вместе с группой сотрудников своей кафедры участвовал в работе симпозиума СЭИ в 1966 г. Атмосфера на кафедре

Защита диссертации А.А. Кошелевым в Ученом совете МИСИ, 1966 г.
А.А. Кошелев, М.Л. Закс, В.Н. Богословский

была прямо домашней – там стояли огромные напольные антикварные часы, доставленные завкафедрой из дома.

В.Н. Богословский – крупнейший специалист в области строительной теплофизики и тепломассообменных процессов в системах и аппаратах отопления, вентиляции и кондиционирования. Его фундаментальные учебники неоднократно издавались в СССР и в ряде стран, его школа строительной теплофизики получила мировое признание, им введен ряд новых понятий и терминов. Кафедра успешно сотрудничала со многими проектными организациями Госстроя СССР, АПУ Мосгорисполкома, участвовала в реконструкции зданий Кремля, в улучшении условий труда и повышении долговечности конструкций в условиях Заполярья...

Участвуя во Второй комплексной Антарктической экспедиции АН СССР (1956–1957 гг.), Богословский разработал физико-математическую модель термодинамического состояния ледника и дал прогноз динамики Антарктического ледникового щита. При этом он сочетал аналоговое моделирование на гидроинтеграторе с пассивными натурными экспериментами. Именно так велись в СЭИ исследования по оптимизации пиролиза угля в первой половине 1960-х годов (лаборатория А.Л. Перепелицы), по тепловому режиму водоводов в мерзлых грунтах в 1970-х совместно с СибВНИПИэнергопромом (В.Г. Соболев) и Иркутским политехническим институтом (Н.З. Гусев, Г.С. Мауришнин).

Вейц Вениамин Исаакович (1904/05–1961)

С 1932 г. работал в Энергетическом институте им. Г.М. Кржижановского АН СССР, возглавлял отдел общей энергетики, где в 1953 г. его заместителем был В.Я. Хасилев.

За свою короткую жизнь В.И. Вейц успел очень многое сделать для становления и развития отечественной энергетики. В 1933 г. избран членом-корреспондентом АН СССР (возможно, самым молодым в то время). В 1924 г. закончил 1-й Московский университет, в 1925 г. – Московское высшее техническое училище им. Н.Э. Баумана.

Область исследований – энергоресурсы, энергетика отраслей. Разработал основы энергетической статистики (1925–1930 гг.), обосновал создание Единой электроэнергетической системы СССР. Самый капитальный труд – “Структура энергетического баланса и основы электрификации, газификации и теплофикации промышленности” (1947). В 1942 г. удостоен Сталинской премии “За развитие народного хозяйства Урала в условиях войны”.

В.И. Вейц участвовал в конференции по изучению производительных сил Иркутской области (август 1947 г.). Конференция, судьбоносная для Восточной Сибири вообще и ее науки в частности, высказалась за организацию в Иркутске филиала Академии наук СССР – предложение было реализовано в 1949 г.

В.И. Вейц в соавторстве с Л.А. Мелентьевым и М.А. Стыриковичем в 1960 г. представил доклад "Основы составления топливно-энергетического баланса в СССР" на Мировую энергетическую конференцию в Мадриде.

Как видно из перечисленного, В.И. Вейца можно отнести к тем, благодаря кому был создан СЭИ и чью идеологию здесь развивал Л.А. Мелентьев. Учеником, носителем и продолжателем развития идей В.И. Вейца был Александр Семенович Некрасов, один из первых сотрудников СЭИ (1960–1965), заместитель Л.А. Мелентьева на посту заведующего отделом общей энергетики.

Брат В.И. Вейца – Илья Исаакович Вейц (1911–1944) – видный ученый-гидроэнергетик, разработал ряд теоретических положений и практических решений в области конструкций гидроузлов с совмещенными плотинами, нашедших применение при сооружении ряда ГЭС, в том числе Куйбышевской.

Громов Николай Константинович (1911–1991)

Главный инженер тепловых сетей Мосэнерго с 1932 по 1972 г. – уникально длительное пребывание на столь трудной, ответственной, одной из судьбоносных для столицы СССР должности. Под его руководством и при его многоплановом участии сформирована самая мощная в СССР и одна из сложнейших систем централизованного теплоснабжения.

В 1931 г. закончил Тверской индустриальный техникум, в 1935 г. получил диплом инженера-теплотехника, обучаясь на вечернем отделении без отрыва от работы техником абонентской группы в тепловых сетях Мосэнерго.

В 1972 г. избран на должность руководителя сектора теплоснабжения и вентиляции (с 1986 г. – отдел энергетики) Академии коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова*, где работал до 1986 г. Отдел решал научно-технические проблемы

* Памфилов Константин Дмитриевич (1901–1943) – с 1938 г. нарком коммунального хозяйства РСФСР, в 1940–1942 гг. – заместитель председателя, с 1942 г. – и.о. председателя Совнаркома РСФСР.

развития всех звеньев систем теплоэнергоснабжения городов – котельных установок, тепловых и электрических сетей, отопления и электрооборудования потребителей. При Н.К. Громове в течение 15 лет решались вопросы создания крупных контрольно-распределительных пунктов в тепловых сетях, совершенствования организационных структур систем централизованного теплоснабжения, разработки методических основ определения тепловых потерь в тепловых сетях. Были начаты работы по развитию нетрадиционных источников энергии – биогаза, солнечных коллекторов, а также по оптимизации и автоматизации отпуска тепловой энергии потребителям, обеспечивающие экономию тепла и топлива.

Николай Константинович отслеживал, реализовывал и развивал научно-практические разработки школ С.Ф. Копьева и Е.Я. Соколова, поддерживал постоянную связь с лабораторией В.Я. Хасилева, которая использовала сложнейшую тепловую сеть Москвы как объект и полигон для проверки и развития своих алгоритмов и программ и для внедрения оптимизационных расчетов с применением ТГЦ. В.Я. Хасилев инициировал переход К.С. Светлова на работу в Информационно-вычислительный центр Мосэнерго – прежде всего для выполнения расчетов послеаварийных режимов тепловых сетей.

Заслуги Н.К. Громова в организационно-производственной деятельности и внедрении научно-технических разработок отмечены присуждением Сталинской премии (1951 г.), пятью орденами и 10 медалями СССР.

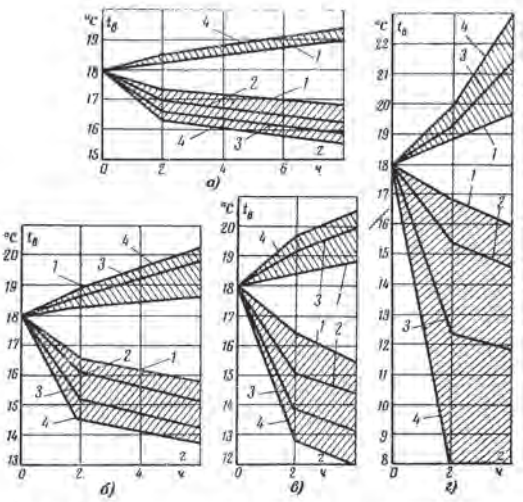


Рис. 1-3. Натоп и выстывание помещений при изменении подачи тепла на отопление.
а – Q=75%; *б* – Q=50%; *в* – Q=25%; *г* – Q=0%.

Книги Н.К. Громова “Эксплуатация тепловых сетей” (соавт. Е.Я. Соколов и А.П. Сафонов. М.: Госэнергоиздат, 1955) и “Абонентские установки водяных тепловых сетей: Проектирование и эксплуатация” (М.: Энергия, 1968) сразу же стали популярны как пособия для студентов и проектировщиков, так и – это главное – для инженерно-технических работников сферы теплоснабжения. Я горжусь тем, что во второй книге использованы мои графики-номограммы натопа и выстывания разных характерных помещений при изменении подачи тепла.

Зингер Николай Михайлович (1923–2002)

Доктор технических наук, профессор, выпускник МЭИ, в 1977 г. сменил Е.Я. Соколова на посту начальника лаборатории теплофикации ВТИ. В его монографии “Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем” использованы и самостоятельно развиты (применительно к сложным многокольцевым тепловым сетям) результаты исследований В.Я. Хасилева и его школы в СЭИ по гидравлическим цепям – в этом плане лаборатория ВТИ стала конкурентом отдела трубопроводных систем СЭИ/ИСЭМ.

Особо практически значимы результаты исследований Николая Михайловича по повышению эффективности тепловых пунктов (абонентских вводов) тепловых сетей – это эффективные пластинчатые теплообменники и струйные аппараты, получившие распространение на ТЭС и в промышленных системах теплопотребления.

Общее у него с Л.А. Мелентьевым – увлечение автотуризмом.

Копьев Сергей Федотович (1903–1974)

Один из двух – вместе с Е.Я. Соколовым – теоретиков и практиков централизованного теплоснабжения и отечественной теплофикации, способствовавших ее масштабному развитию и занятию передовых позиций в мире.

В 1943 г. возглавлял кафедру теплотехники, созданную в строительном институте Моссовета, с 1949 г. после вхождения этого института в МИСИ более тридцати лет заведовал там кафедрой теплофикации и газоснабжения. Эта кафедра была организована в 1937 г., и возглавлял ее Б.Л. Шифринсон. В 1942–1946 гг. на кафедре работал В.Я. Хасилев.

Научные и инженерно-технические разработки С.Ф. Копьева (в том числе термическая подготовка сетевой воды, водоструйные элеваторы, теплофикационные водонагреватели) способствовали широкому развитию систем теплоснабжения с непосредственным водоразбором в целом ряде городов страны, включая Ленинград и Иркутск.

Разработанная им теория гидравлической устойчивости используется при наладке и эксплуатации тепловых сетей.

Его учебник для студентов строительных вузов “Теплоснабжение”, конкурируя с учебником Е.С. Соколова для энергетиков “Теплофикация и

тепловые сети", пользуется особой популярностью равно у студентов и производственников, давно став раритетом. Этот учебник включает не только методические, но и сугубо практические, предельно "приземленные" материалы – вплоть до инструкции по технике безопасности.

В.Я. Хасилев и сотрудники его лаборатории поддерживали творческие контакты с Сергеем Федотовичем, он способствовал их защитам в МИСИ, был оппонентом на защите докторской диссертации Хасилева в Новосибирске, о чем упомянуто в оде "Хасилиада", включенной в этот сборник, участвовал в симпозиуме СЭИ 1966 г.

Сергей Федотович Копьев и Виктор Яковлевич, оба очень общительные и интересные собеседники с кладезем знаний в разных областях – не только науки, при десятилетней разнице возрастов были похожи даже внешне.

Мелентьев Лев Александрович (1908–1986)

Организатор и первый директор СЭИ (1960–1973), где изначально в структуре была предусмотрена лаборатория теплоснабжения, создание которой было поручено В.Я. Хасилеву.

Академик АН СССР (1966 г.).

Окончил инженерно-экономический факультет Ленинградского электромеханического института (1930), на базе которого создан ЛПИ. Еще в годы учебы работал на ЛГЭС-3 – тепловой электростанции, которая фактически стала одной из первых отечественных ТЭЦ.

Первоначальная и одна из основных областей исследований – промышленное и коммунально-бытовое теплоснабжение, в том числе и прежде всего – теплофикация, где он стал одним из основных теоретиков и методологов.

Сформулировал основные положения системного подхода к энергетике, управлению развитием топливно-энергетического комплекса как единого целого ("учение об энергетике"), среди основных звеньев (подсистем) которого – трубопроводный транспорт энергоносителей.

Герой Социалистического Труда (1969), награжден семью орденами (в том числе – четыре ордена Ленина) и шестью медалями СССР.

О нем написано:

Мелентьева В.И., Хрилев Л.С. Академик Лев Александрович Мелентьев: очерки о жизни и деятельности. – М.: Наука, 1988. – 207 с.;

Лев Александрович Мелентьев. Воспоминания о жизни и деятельности. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. – 349 с. + 88 ил.

Меренков Анатолий Петрович (1936–1997)

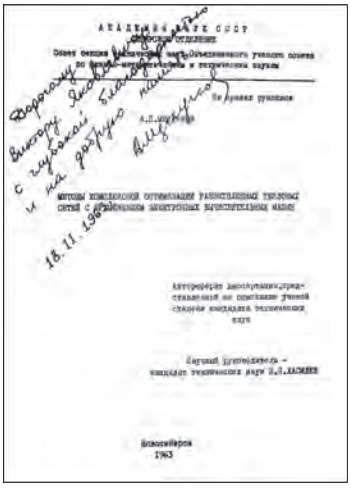
Ближайший помощник, ученик, последователь и преемник В.Я. Хасилева, удостоенный вместе с ним премии им. Г.М. Кржижановского АН СССР (1990 г.) за разработку теории гидравлических цепей (ТГЦ).

Член-корреспондент АН СССР (1990 г.).

После окончания в 1958 г. механико-математического факультета МГУ работал в Институте математики СО АН СССР, с 1961 г. – заведующий лабораторией прикладной математики и кибернетики СЭИ. В 1961–1962 гг. разработал (вместе с Н.Е. Байбородиным) программу для решения симплекс-методом большеразмерных оптимизационных задач. Эта программа как универсальный инструмент широко использовалась в СССР для решения разнообразных оптимизационных задач и прежде всего в СЭИ для исследований проблем топливно-энергетического комплекса.

С 1968 г. заведующий лабораторией моделирования аэрогидравлических и трубопроводных систем (с 2003 г. это отдел трубопроводных систем). В 1982–1988 гг. – начальник лаборатории оптимизации газотранспортных систем ВНИИгаза. С 1988 г. – директор СЭИ.

С 1987 г. – руководитель постоянно действующего всероссийского научного семинара “Математические модели и методы анализа и оптимального синтеза развивающихся трубопроводных и гидравлических систем”. Семинар продолжает работать по настоящее время под председательством ученика В.Я. Хасилева и А.П. Меренкова, заведующего лабораторией трубопроводных и гидравлических систем Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева доктора технических наук Николая Николаевича Новицкого.



А.П. Меренкову посвящен сборник “Анатолий Петрович Меренков: Научное наследие. Воспоминания близких. Документы”. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2006. – 654 с. + 40 ил.

Соколов Ефим Яковлевич (1905–1999)

Выдающийся ученый, теоретик и практик отечественной теплофикации и трубопроводного транспорта тепла (с 1937 г. он работал в лаборатории теплофикации Всесоюзного теплотехнического института им. Ф.Э. Дзержинского, 35 лет ее возглавляя), внесший огромный вклад в подготовку инженеров-теплоснабженцев (24 года возглавлял кафедру промышленных теплоэнергетических систем МЭИ, его ставший уже классическим учебник “Теплофикация и тепловые сети” начиная с 1948 г. издавался в постоянно обновляемом виде шесть раз при жизни автора и продолжает издаваться, последние издания постоянно находятся на руках у читателей библиотеки СЭИ).

Доктор технических наук, профессор, лауреат Ленинской премии (1966 г., за участие в создании и освоении уникальной турбины Т-100-130 с предварительным нагревом обратной сетевой воды в конденсаторе), член редколлегий четырех центральных реферируемых журналов...

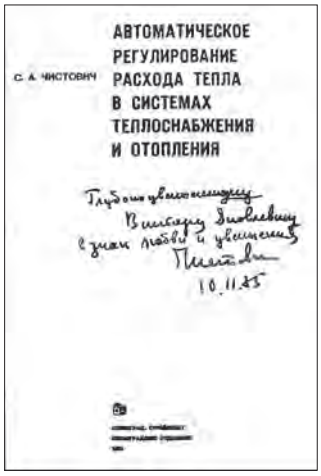
Ефима Яковлевича близко знали, уважали и ценили Л.А. Мелентьев и В.Я. Хасилев, с ним контактировали первые сотрудники лаборатории теплоснабжения СЭИ, консультировались перешедшие в СибВНИПИэнергопром И.А. Смирнов и Р.Л. Ермаков (в том числе – при разработке уникальной схемы теплоснабжения Иркутска). Он участвовал во всесоюзных конференциях по системным исследованиям в энергетике – симпозиумах СЭИ 1966 и 1980 гг.

Биографические сведения о Е.Я. Соколове приведены в учебнике “Теплофикация и тепловые сети”, 1982 г.

Чистович Сергей Андреевич (1927–2011)

Доктор технических наук, профессор, ведущий специалист в области теплоснабжения и отопления, конкретизировал основные положения ТГЦ для различных схем централизованного теплоснабжения.

Исследовал гидравлические режимы открытых тепловых сетей, в том числе с количественно-качественным регулированием – автор “горизонтальной дорожки Чистовича”, разработал принцип автоматического управления системами централизованного теплоснабжения при сочетании центрального, местного и индивидуального



регулирования. Предложил технические решения для не имеющей мировых аналогов системы теплоснабжения при передаче тепла по закрытой схеме от загородной ТЭЦ в открытые распределительные тепловые сети с котельными.

В 2004 г. возглавил созданный по его инициативе Союз энергетиков России, объединивший специалистов разных отраслей и звеньев энергетики.

Ученик ведущих теплоснабженцев России, в том числе С.Ф. Копьева и Л.А. Мелентьева, представлял следующее поколение отечественных ученых в этой области, воспитал большую плеяду учеников, работающих в разных городах России, СНГ, Германии и Югославии.

С середины 1950-х годов Сергея Андреевича и В.Я. Хасилева связывали творческие контакты и тесные дружеские отношения. С.А. Чистович участвовал в симпозиуме СЭИ 1966 г., выступал оппонентом на защитах диссертаций сотрудниками СЭИ в МИСИ и НИСИ.

Шифринсон Борис Львович (1902–1949)

Родился раньше всех, чьи “досье” представлены в сборнике, и прожил из них самую короткую жизнь – вероятно, именно поэтому удалось найти о нем лишь отрывочные сведения (основные взяты из Российской еврейской энциклопедии).

В.Я. Хасилев называл Бориса Львовича своим учителем – думается, Шифринсона можно считать предтечей Хасилева в создании ТГЦ*.

После окончания в 1925 г. Московского высшего технического училища им. Н.Э. Баумана был назначен главным инженером тепловых сетей Мосэнерго. При его участии разработан и реализован первый проект теплофикации центра Москвы. Автору довелось ознакомиться со сложнейшей схемой теплоснабжения города на преддипломной практике в девятом районе московских теплосетей с диспетчерским пунктом возле станции метро “Автозаводская” зимой 1956/1957 г. Тогда там произошел разрыв прямого трубопровода большого диаметра, и для обнаружения точки разрыва потребовался непростой поиск – здесь помог бы “математический расходомер”, авторское свидетельство на изобретение которого получили К.С. Светлов, В.Г. Сидлер и В.Я. Хасилев в 1970 г.

* О Б.Л. Шифринсоне и его заслугах в становлении отечественного теплоснабжения подробно рассказано в мемуарах В.А. Стенникова (см. наст. изд., с. 40–49).

Организовал и возглавил кафедры теплофикации в МЭИ (1930 г.) и МИСИ (1937 г.), его преемниками стали там, соответственно, Е.Я. Соколов и С.Ф. Копьев, значительно более известные, чем Б.Л. Шифринсон, признанные мэтры отечественной теплофикации.

По предложению Шифринсона на тепловых вводах были впервые и успешно применены водоструйные насосы (элеваторы смешения прямой и обратной воды). В 1928 г. он разработал новый метод тарификации электроэнергии, вырабатываемой в энергосистемах с ТЭС.

Ввел принцип оптимального распределения нагрузок между параллельно работающими электростанциями (1930 г.), предложил метод расчета падения температуры в длинных паропроводах (1933 г.), разработал метод расчета потокораспределения, гидравлической устойчивости и гидравлических режимов в системах теплоснабжения.

Автор монографий “Теплофикация городов” (1929 г.) и “Технико-экономический расчет систем центрального отопления” (1941 г.).

Как видно, Б.Л. Шифринсон еще в 1930-х годах заложил основы в области не только теплоснабжения, но и общей энергетики, что было развито Л.А. Мелентьевым и его школой и стало элементами “Учения об энергетике”.

У В.Я. Хасилева и Б.Л. Шифринсона были совместные публикации, среди них Б.Л. Шифринсон, В.Я. Хасилев “Рациональная трассировка теплопроводов” // Строит. промышленность. – 1944. – № 2–3.

Автографы коллег-теплоэнергетиков на их печатных трудах

МЕСТО ДЕЙСТВИЯ

И.А. Шер

Трудовая деятельность и жизненный путь В.Я. Хасилева связаны в основном с тремя городами – это Одесса, где он родился и учился; Москва, где провел бóльшую часть жизни, продолжал учебу, занимался проектной и научно-исследовательской работой и преподавал в нескольких вузах; Иркутск, где он организовал и возглавлял лабораторию теплоснабжения в новом академическом институте, где хранят память о нем и где его ученики и последователи продолжают главное дело жизни В.Я. Хасилева – развивают теорию гидравлических цепей.

В этом разделе представлен ряд зданий, где жил, учился или работал В.Я. Хасилев и где, мы надеемся, помнят его и продолжают начатые им дела. Приводятся краткие характеристики размещенных там учреждений и даются пояснения, как они связаны с жизнью и работой Виктора Яковлевича. На отдельных зданиях из этого списка могли бы быть установлены памятные знаки о В.Я. Хасилеве.

К сожалению, составителям не удалось отыскать изображения всех зданий, упомянутых во включенных в книгу мемуарах, да и явно не все отмечено авторами и указано в перечне основных дат жизни и деятельности Хасилева, приведенном в конце книги. Но при этом собранная информация дает представление не только о пути этого выдающегося ученого и преподавателя, но и о ряде научных и образовательных учреждений, обеспечивших становление и развитие централизованного теплоснабжения, теплофикации и трубопроводного транспорта, в том числе трансконтинентальных газо- и нефтепроводов. Изображения зданий представляют и самостоятельный интерес – это образцы отечественной архитектуры разных лет.

Помощь в подборе фотографий оказали В.М. Ройтман, К.С. Светлов (Москва) и А. Шахин (США), в подготовке текстов участвовал А.А. Кошелев.

ШЕР Игорь Алексеевич работает в институте с 1961 г., после окончания Ленинградского политехнического института. В 1972–1988 гг. – заместитель директора, руководитель вычислительного центра СЭИ.
В кругу его интересов – изобразительное искусство, история, архитектура. Став работающим членом редколлегии институтской стенгазеты “Энергия–Сибири” практически с момента ее организации, он участвует в выпуске номеров “Э–С” как фотограф, автор текстов, обозреватель и дизайнер. В этом качестве он выступает и при подготовке выпускаемых институтом книг историко-мемуарного характера, различных сборников и научно-информационных обзоров.

В Театральном переулке Одессы (ныне пер. Чайковского) протяженностью всего 300 м кроме знаменитого Оперного когда-то существовали еще три театра. В этом переулке жили пианист Э. Гилельс, писатели Ю. Олеша, К. Паустовский, И. Бабель и реальные прототипы героев их произведений. В гостинице "Северная" подолгу останавливались А. Куприн и А. Чехов, композиторы П. Чайковский и Н. Лысенко, педагог К. Ушинский. В театре "Крот" начинали свою творческую жизнь В. Инбер и Рина Зеленая, здесь же выступал В. Маяковский. И вполне закономерно, что в семье Хасилевых, жившей в этом переулке, вырос столь талантливый и разносторонний человек, как Виктор Яковлевич.

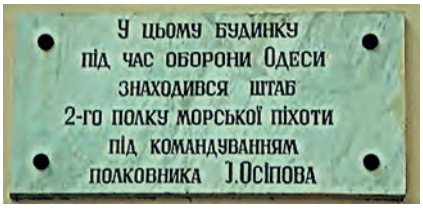
Современный вид переулка Чайковского

Тот, кто родился в Одессе и провел здесь детство и юность, не может не впитать специфическое чувство юмора и особую способность видеть суть вещей за их внешней формой.

В этом знаменитом Одесском национальном академическом театре оперы и балета В.Я. Хасилев приобщался к высокому искусству и даже участвовал в постановке оперы Дж. Верди “Аида” в массовке в сцене замуровывания Радамеса.

Здание было построено в 1877 г. по проекту архитектора Ф.В. Гонсиоровского для Коммерческого училища имени Императора Николая I. В нишах 2-го этажа установлены фигуры покровительницы ремесел Афины и символа коммерческого успеха Изобилия.

В этом здании в Одессе по ул. Преображенской, 8 с 1918 по 1941 г. размещался Одесский индустриальный (позже политехнический) институт. В 1930–1933 гг. здесь на энергетическом факультете учился В.Я. Хасилев.



В 1941 г., после эвакуации института в Пензу при обороне Одессы, в здании размещался штаб 2-го полка морской пехоты под командованием И. Осипова. В память об этом установлена мемориальная доска.

В настоящее время институт, преобразованный в Одесский государственный политехнический университет, размещается в новом комплексе зданий.

Работая в 1933–1936 гг. в Теплосетьстрое Наркомата энергетического строительства, В.Я. Хасилев принимал участие в инженерном проектировании отопления и вентиляции Московского Дворца Советов. Это было бы циклопическое сооружение: общей высотой 416,5 м, объемом семь с половиной миллионов кубических метров (три пирамиды Хеопса!). Большой зал дворца высотой 100 м должен был вмещать 22 тысячи человек, малый зал – 6 тысяч человек. Общая площадь помещений дворца – 11 гектаров.

Применительно к системе отопления и вентиляции решались чрезвычайно сложные теоретические и практические задачи и велись необходимые расчеты. В построенных к 1941 г. семи этажах дворца уже были заложены инженерные коммуникации, в том числе и теплофикационные. Принятые проектные решения не были практически проверены в связи с тем, что во время Великой Отечественной войны построенная часть сооружения была разобрана для нужд фронта.

В Москве В.Я. Хасилев жил сначала на Арбате в коммунальной квартире в доме 2 по Калашному переулку, украшенном строчкой В. Маяковского “Нигде кроме как в Моссельпроме”. Верхний снимок – 1936 г., нижний – дом Моссельпрома в наши дни.

Имея диплом инженера-теплоэнергетика, В.Я. Хасилев стремился углубить свои знания в математике и в 1935 г. поступил на заочное отделение мехмата Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Учебный корпус МГУ находился тогда на Моховой улице, совсем близко от Арбата. В 1938 г. Виктор Яковлевич ушел со второго курса МГУ, поступив в аспирантуру Московского института коммунального хозяйства и строительства.

В 1950-х годах факультеты МГУ, и среди первых – мехмат, перемещаются на Воробьевы горы (тогда – Ленинские горы). В это время на мехмате учились будущий ученик и преемник В.Я. Хасилева А.П. Меренков и будущие сотрудники СЭИ В.Ф. Скрипник, Г.В. Войцеховская, Г.М. Трошина, А.С. Апарцин и др.

Кооперативная квартира Хасилевых находилась на углу Ленинского проспекта и улицы Дмитрия Ульянова (бывшая 1-я Черемушкинская, дом 4, корп. 2, кв. 467) – продолжения Университетского проспекта. Уже будучи профессором, В.Я. Хасилев согласился войти в домовой комитет и взять на себя ответственность за систему теплоснабжения дома. В этой квартире Хасилевых постоянно бывали сотрудники лаборатории Виктора Яковлевича, когда они приезжали в Москву в командировки.

Угол Ленинского и Университетского проспектов напротив дома, где жили Хасилевы. Фото конца 1960-х

На кафедре теплофикации Московского института коммунального хозяйства и строительства В.Я. Хасилев обучался в аспирантуре и одновременно работал ассистентом. Здесь он начал вести систематическую научную работу и в 1940 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему “Оптимальная мощность установок районного теплоснабжения”.

В 1942–1946 гг. В.Я. Хасилев преподавал и вел научную работу на кафедре теплофикации Московского инженерно-строительного института им. В.В. Куйбышева (МИСИ) сначала в должности старшего научного сотрудника и старшего преподавателя, а затем доцента по совместительству. В 1944 г. кафедрой теплосиловых установок и промышленной энергетики МИСИ заведовал будущий создатель СЭИ СО АН СССР Л.А. Мелентьев.

Руководимая В.Я. Хасилевым лаборатория теплоснабжения СЭИ поддерживала творческие контакты с родственными кафедрами МИСИ. В совете МИСИ защитили диссертации первые кандидаты наук лаборатории теплоснабжения – А.А. Кошелев (1966) и К.С. Светлов (1967).

Выдающиеся заслуги МИСИ в области подготовки инженерных кадров для строительства и научно-исследовательской работе отмечены орденом Трудового Красного Знамени (1946 г.).

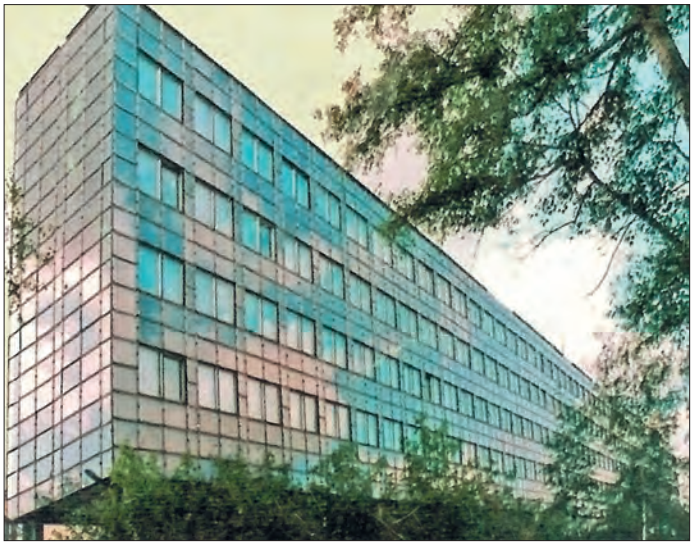
Ныне МИСИ вырос и количественно и качественно, приобрел статус Московского государственного строительного университета и расположился в новом комплексе зданий. В профиле обучения Института строительства и инженерной инфраструктуры, входящего в структуру МГСУ, сохранилась специализация “теплогазоснабжение и вентиляция”, в становлении которой в МИСИ участвовал В.Я. Хасилев.

Всесоюзный теплотехнический институт им. Ф.Э. Дзержинского (ныне Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени теплотехнический научно-исследовательский институт) – ведущее научно-исследовательское учреждение теплоэнергетического профиля в стране. Именно здесь уже в 1920-е годы Б.М. Якубом и Е.Я. Соколовым выполнены первые работы по теплофикации. Здесь же работал Н.М. Зингер, с ними тесно сотрудничал В.Я. Хасилев. Соколов и Зингер бывали в Иркутске, с ними контактировали сотрудники лаборатории теплоснабжения СЭИ.

Московский орденов Ленина и Октябрьской революции энергетический институт им. В.М. Молотова (теперь Национальный исследовательский университет). Создан в 1930 г. и включил в себя электропромышленный факультет МИНХ – института, где до и после Иркутска работал В.Я. Хасилев. Кафедра тепловых сетей на теплотехническом факультете МЭИ была создана по инициативе Б.Л. Шифринсона, его В.Я. Хасилев называл своим учителем. На этом факультете работали С.Ф. Копьев и Е.Я. Соколов, с которыми В.Я. Хасилев тесно сотрудничал, работая в ряде московских организаций. Выпускники МЭИ были среди первых сотрудников СЭИ, в МЭИ проектировалась для СЭИ уникальная электродинамическая модель электроэнергетической системы.

Ивановский энергетический институт им. В.И. Ленина (теперь – Ивановский государственный энергетический университет) – один из двух (вместе с МЭИ) вузов чисто энергетического профиля. Кафедрой тепловых сетей ИЭИ заведовал П.В. Трошин, который способствовал пионерной реализации в Иванове открытой системы теплоснабжения. Павел Васильевич участвовал в строительстве тепловых сетей в Иванове, начатом в 1932 г., и в первой реализации разбора горячей воды из тепловых сетей для коммунально-бытовых нужд. Эта идея была опробована в 1935 г. в Ивановском цирке, когда для водяной пантомимы со слонами “вдруг” потребовалось большое количество нагретой воды.

Среди первых сотрудников лаборатории теплоснабжения СЭИ, организованной В.Я. Хасилевым, – выпускники ИЭИ, рекомендованные Л.А. Мелентьеву профессором Трошиным: К.С. Светлов, А.А. Кошелев, Р.Л. Ермаков и Е.В. Сеннова, первая среди женщин СЭИ защитившая докторскую диссертацию и возглавлявшая отдел трубопроводных систем. Л.А. Мелентьев и заведующий лабораторией теплоэнергетики СЭИ Г.Б. Левенталь участвовали в работе Всесоюзной конференции по теплофикации, проведенной в 1967 г. на базе ИЭИ.



В 1944–1953 гг. В.Я. Хасилев работал в ЭНИНе – Энергетическом институте АН СССР (ныне им. Г.М. Кржижановского), сначала старшим научным сотрудником, затем заместителем заведующего отделом общей энергетики. Здесь у него возникли рабочие и дружеские контакты с Г.М. Кржижановским, В.И. Вейцем и Б.Л. Шифринсоном. В частности, совместно с последним В.Я. Хасилев исследовал проблему трассировки тепловых сетей.

В 1951–1953 гг. В.Я. Хасилев читал курс гидравлики в Московском нефтяном институте им. И.М. Губкина (ныне Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина; награжден орденами Трудового Красного Знамени, Октябрьской Революции, Дружбы Народов Социалистической Республики Вьетнам).

У лаборатории теплоснабжения СЭИ сохранились творческие связи с этим институтом. Там защитили кандидатские диссертации сотрудники СЭИ О.А. Балышев (1974), Г.В. Ташкинова (1979), А.А. Морев (1982).

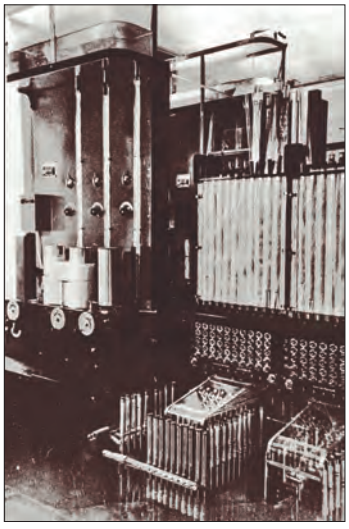
В 1973–1986 гг. здесь заседал Научный совет по комплексным проблемам энергетики АН СССР под председательством Л.А. Мелентьева, где в 1985 г. А.А. Кошелев выступил с докладом об экологической эффективности централизации теплоснабжения городов Сибири.

В 1946–1948 гг. В.Я. Хасилев работал старшим преподавателем (по совместительству) кафедры тепловых установок в Московском инженерно-экономическом институте им. Серго Орджоникидзе (ныне Государственный университет управления). В 1953–1954 гг., будучи старшим научным сотрудником, он выполнил здесь ряд работ по режимам тепловых электростанций в энергосистемах Сибири.

В Московском институте народного хозяйства им. Г.В. Плеханова (позже Российская экономическая академия, теперь Российский экономический университет, награжден орденом Трудового Красного Знамени) В.Я. Хасилев работал доцентом кафедры энергетики в 1954–1961 гг. Здесь им выполнен ряд важных теоретических работ по технико-экономическому расчету тепловых и других гидравлических сетей и оптимизации их параметров, предложены обобщенные зависимости для решения этих задач.

Здесь же В.Я. Хасилев с 1968 по 1980 г. продолжил работать в должности профессора кафедры энергетики после возвращения в Москву из Иркутска.

С 1960 по 1966 г. в этом здании в центре Иркутска (ул. Киевская, 1) размещался Сибирский энергетический институт СО АН СССР. Две комнаты на втором этаже занимала лаборатория В.Я. Хасилева. Здесь были собраны и работали гидравлическая модель трубопроводной сети и аналоговая вычислительная машина для расчета нестационарных физических полей – гидроинтегратор. Здесь же находилась самая крупная тогда в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке ЭВМ БЭСМ-2.



Стойки граничных условий и основные секции гидроинтегратора 3-ИГЛ-2-12-2

Для отладки программ на БЭСМ-2 пользователям отводились минуты работы за пультом. А.П. Меренков был привилегированным пользователем – он отлаживал программу решения задач линейного программирования симплекс-методом. Ему давали десятки минут и даже часы.

Два первых жилых дома на улице Академической, в которые поселялись первые сотрудники СЭИ, приглашенные Л.А. Мелентьевым из различных городов СССР. Часть квартир использовалась в качестве общежития для холостых сотрудников. Комнату в двухкомнатной общежитской квартире получил и В.Я. Хасилев. Он вынужден был мириться с неблагоустроенным бытом и шумными молодыми соседями, но никогда не жаловался на эти неудобства. Фото 1961 г.

Первая очередь котельной, от которой снабжались теплом дома на улице Академической, а позднее и Академгородок.

К.С. Светлов на наладке теплосети

В зиму 1961–1962 гг. температура в квартирах, где жили сотрудники СЭИ, не поднималась выше +14 градусов. В котельной не хватало квалифицированного эксплуатационного персонала, тепловая сеть и элеваторы в домах были не отрегулированы. Проблема отопления стала головной болью для Л.А. Мелентьева и лаборатории В.Я. Хасилева. Нужно было не только получить теоретическое решение проблемы, но и осуществить его на практике. Сотрудники лаборатории рассчитывали регулировочные диафрагмы, контролировали их изготовление и установку в сети. Эта практическая работа помогла сформулировать и реализовать идею “математического расходомера”.

Первый корпус Иркутского государственного университета на Вузовской набережной (теперь набережная Ю.А. Гагарина), где на физико-математическом факультете вел курс линейного программирования А.П. Меренков. Этот факультет закончили сотрудники лаборатории теплоснабжения СЭИ М.К. Такайшвили, О.А. Балышев, Л.Е. Черноусова (Сидлер), В.Г. Сидлер, А.В. Храмов, Г.В. Алексеева (Ташкинова), Л.А. Сирик, Н.Я. Бирюкова, В.А. Тарабрин, Л.А. Хорун и многие другие сотрудники СЭИ, сохранившие статус математиков или переквалифицировавшиеся в энергетиков.

Корпуса Иркутского ордена Трудового Красного Знамени и ордена Трудового Красного Знамени МНР политехнического института, в который к 1960-м перерос образованный в 1930 г. Сибирский горный институт (теперь это Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет), самого первого и самого крупного технического вуза восточнее Новосибирска, строились на улице Лермонтова одновременно с Академгородком. Фото 1970 г.

На энергофаке ИПИ, открытом в 1963 г., сотрудники СЭИ поставили и вели все специальные и профилирующие дисциплины, в том числе сотрудники лаборатории теплоснабжения “хасилевского призыва” – А.А. Кошелев (теплопередача и парогенераторы, а также теплоснабжение на строительном факультете), Р.Л. Ермаков и К.С. Светлов (теплоснабжение). Там заочно учились Р.Ф. Трубачеев, В.М. Мирошниченко, И.М. Янышева. В.А. Тарабрин стал заведующим кафедрой теплотехники, А.А. Морев – заведующим кафедрой санитарной техники и деканом факультета специальных строительных работ, В.Р. Чупин назначен директором Института архитектуры и градостроительства НИ ИрГТУ.

СЭИ СО АН СССР переехал в это здание в апреле 1966 г. Здесь исследования трубопроводных систем велись уже на ЭВМ БЭСМ-4, а позднее – на БЭСМ-6. Фото 1967 г.

Современный вид ИСЭМ – Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН

НА ПОЛОСАХ СТЕНГАЗЕТЫ “ЭНЕРГИЯ–СИБИРИ”

И.А. Шер

Историю СЭИ можно изучать по стенгазете “Энергия–Сибири” (и даже отдельно – по этапным рисункам в ней: “Раздача больших систем энергетики”, “Явление Л.А. народу”, “Письмо турецкому султану”, “Возвращение блудного Сени”, “Утро комплексной проверки”, “Три директора СЭИ на привале” и др.), а также по публикациям в иркутских газетах, в “Науке в Сибири”, журналах “Байкал”, “Ангара” и по ...дружеским шаржам.

Все это было (и, надеюсь, осталось) проявлением обстановки демократичности, гласности, критичности, юмора и творческого отношения ко всему – того, что было названо “духом СЭИ”. На такого рода “дрожжах” замесил “тесто” СЭИ основатель и первый директор института академик Л.А. Мелентьев, а затем эти традиции всегда поддерживались и на них мы все опирались...

Из предисловия директора СЭИ А.П. Меренкова
к “ненаучной монографии” – сборнику дружеских шаржей
А.З. Гамма и газетных статей, выпущенному
в 1995 г. к 35-летию института

Естественно, что стенгазета не обошла вниманием такого яркого и самобытного человека, как В.Я. Хасилев. Он был персонажем рисунков и картин, цитировались его меткие и остроумные высказывания и реплики, его мнение стремились узнать и опубликовать при проведении различных опросов на серьезные и шутливые темы.

В предлагаемой подборке даны некоторые материалы “Энергии–Сибири”, связанные с Виктором Яковлевичем.

Автор большинства рисунков – С.В. Сумароков. Автор шаржей – А.З. Гамм.

Элементы теории надежности трубопроводных систем в картинках

Нормальный режим

Аварийная ситуация

Мероприятие по повышению живучести

Математическое ожидание ущерба

Автор этих картинок С.В. Сумароков

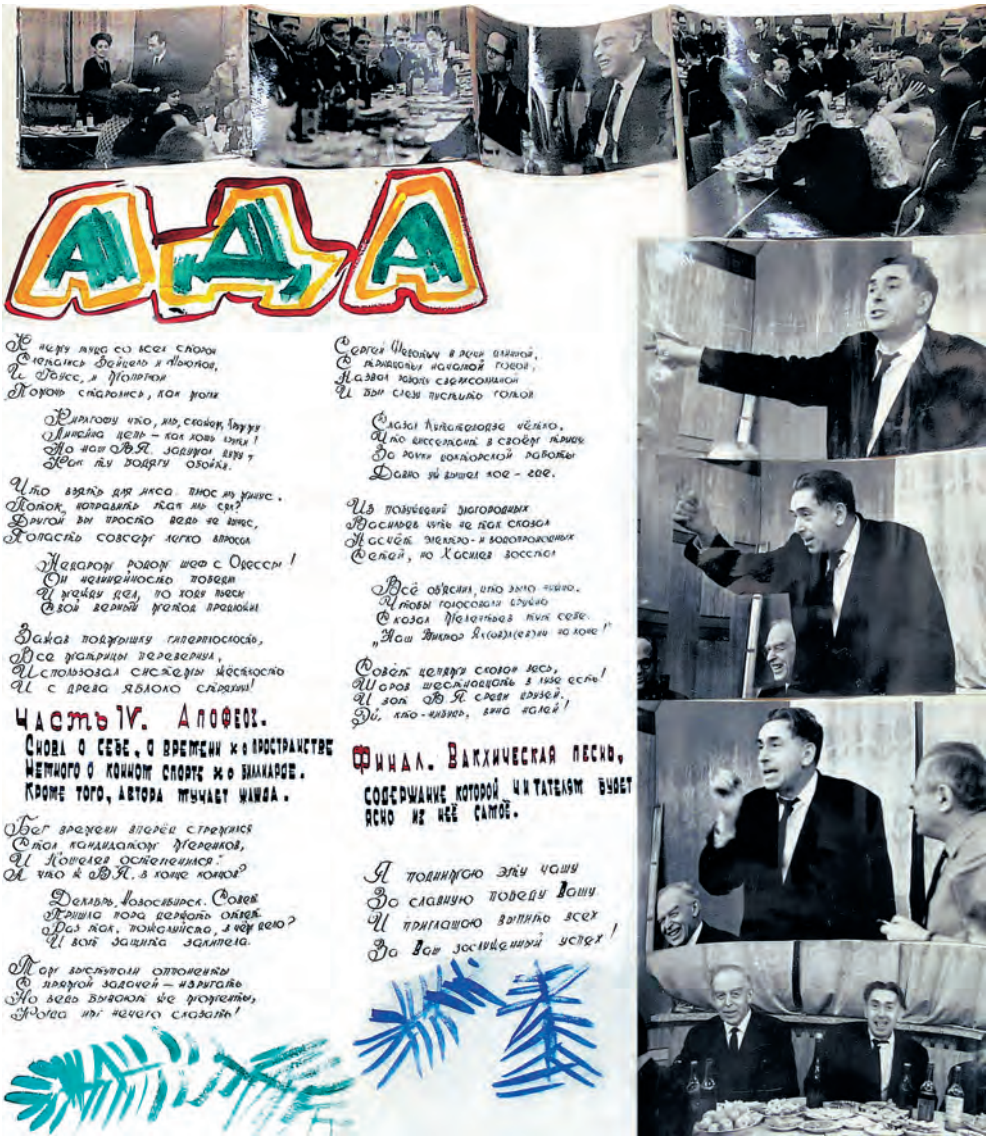
Случайное воздействие

Кольцевание

Оптимальное резервирование

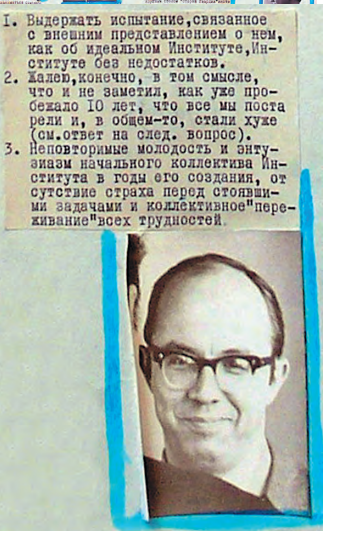
Ругулятор расхода

Защита В.Я. Хасилевым докторской диссертации была радостным событием для всего института. Стенгазета опубликовала репортаж с “товарищеского чая”, состоявшегося после защиты, с текстом “Хасилиады” – торжественной оды, сочиненной А.А. Кошелевым и прозвучавшей “на чае” в авторском исполнении с комментариями И.А. Шера.



Собственный корреспондент “Энергии–Сибири” А.А. Кошелев старательно фотографировал происходящее. Когда тамаде Л.А. Мелентьеву надоело громкое щелканье затвора зеркальной камеры, он раздраженно произнес: “Прошу фотографа убрать этот фотоаппарат!” Фотограф убрал *этот* фотоаппарат и вынул другой. Лев Александрович сначала сверкнул глазами, потом расхохотался.

I. Помнить, что IO – это еще счастливое детство.
2. Я дождался.
3. Вечерние и ночные бдения на Киевской.



1. Выдержать испытание, связанное с внешним представлением о нем, как об идеальном Институте, Институте без недостатков.
2. Жалею, конечно, в том смысле, что и не заметил, как уже пробежало IO лет, что все мы постарели и, в общем-то, стали хуже (см. ответ на след. вопрос).
3. Неповторимые молодость и энтузиазм начального коллектива Института в годы его создания, отсутствие страха перед стоявшими задачами и коллективное "переживание" всех трудностей.

"Энергия–Сибири" часто проводила анкетирование сотрудников института или брала интервью. Здесь фрагмент юбилейного выпуска "Энергии–Сибири" к 10-летию СЭИ, сентябрь 1970 г.

В.Я. Хасилев, как обычно, афористично краток.

Научный рост кадров всегда был особой заботой директора института Л.А. Мелентьева. Должности заведующих лабораториями сначала занимали сотрудники в ранге кандидатов наук. Их скорейшим защитам на ученую степень докторов придавалось особое значение. Одним из первых этот рубеж преодолел В.Я. Хасилев.

На рисунке: короткая дистанция – забег на ученую степень кандидата наук, длинная – доктора. В.Я. Хасилев завершил забег, но сохранил силы и смотрит, кто там на подходе. Не у всех защиты проходили столь блестяще, как у него. Здесь видно, как Л.А. Мелентьев на финише приводит в чувство очередного бегуна. Другие участники забегов не спешат к финишу, а двое везут груз Научной Организации Труда.

Корреспондент “Энергии–Сибири”:

1. Что вас беспокоит в работе института и в вашей собственной?
2. Каким вы представляете институт через 10 лет?
3. Ваше мнение об увлечениях научного работника вне работы?
4. Какие произведения современной литературы и искусства Вы хотели бы отметить?
5. Ваши пожелания газете.
6. Скажите что-нибудь веселое о своей защите.
7. Ваш новогодний тост.

К. Светлов:

1. Рост числа охотников среди сотрудников.
2. Сфера влияния – до ближайших планет.
3. Мой идеал – хобби Л.А. Крумма.
4. Из современной литературы – докторская диссертация В.Я. Хасилева.
5. Открыть раздел “укрепляй свое здоровье”.
6. Во время моей защиты бегала обыкновенная мышь в опасной близости от членов Совета.
7. За друзей природы и Общество трезвости!

Л.А. Мелентьев ведет СЭИ через болото информации под лучами солнца неопределенности. В.Я. Хасилев вместе с А.П. Меренковым тайно проносят с собой жупел детерминизма, которой свойствен физико-техническим системам при всей неопределенности информации. Молодой Меренков пытается возмущаться непониманием этого Л.А. Мелентьевым (Лев Александрович считал детерминизм таким же врагом системного подхода к исследованиям института, как отраслевизм и мелкотемье), а умудренный Хасилев говорит ему: “Спокойней, Толя”.

Цитаты из выступлений В.Я. Хасилева на Ученом совете

Редколлегия “Энергии–Сибири” коллекционировала оговорки и афоризмы, произносившиеся на Ученом совете. Все цитаты являются, по определению Л.А. Мелентьева, псевдоточными по форме, но точными по смыслу.

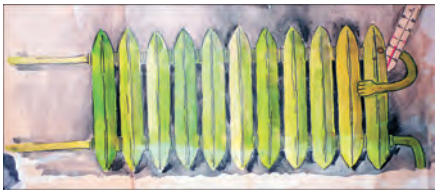
– Наша маленькая трубопроводная система имеет много общего с большой системой.

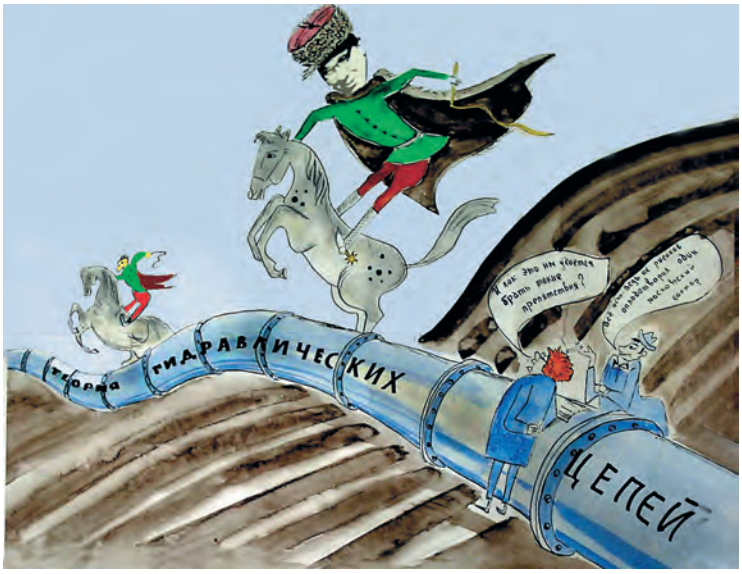
– Мы сделали две работы, но пока еще не имеем возможности выпускать их из себя.

– В этой работе имеет место отрицательный выход. Чтобы сделать его положительным, надо сначала перейти через нуль.

– Авторы этой работы слишком самонадеянны, а за это, как говорят в Одессе, по кумполу бьют.

Продолжение научного спора в кулуарах

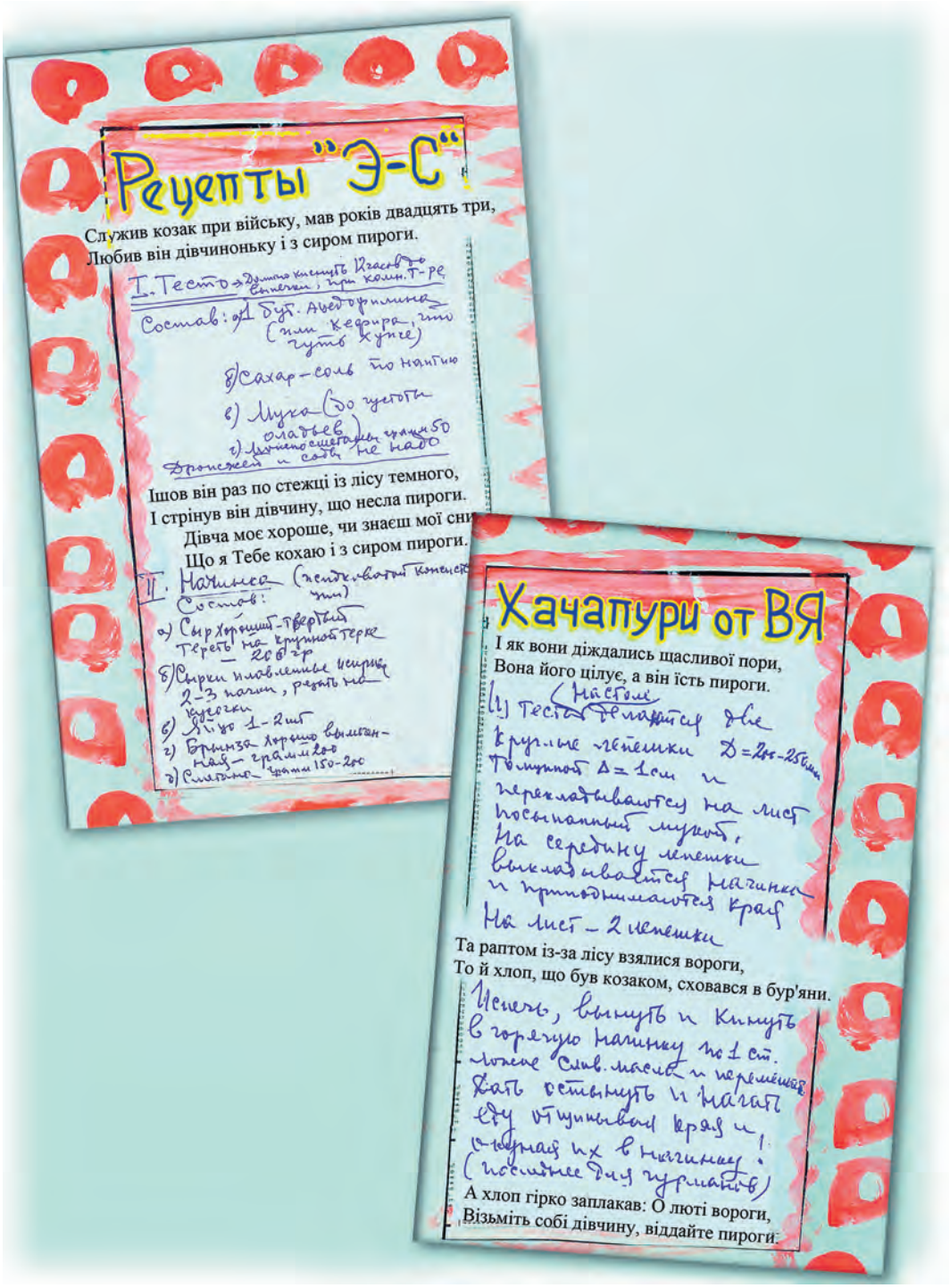




Диалог досужих наблюдателей:
– И как это им удается брать такие препятствия?
– Все ясно: ведь их рысаков оплодотворил один московский доктор!

Л.А. Мелентьев:
– Управление теплофикационными системами на базе ТГЦ стучится в дверь, как судьба.
– Лаборатория В.Я. Хасилева вместе с лабораториями Крумма и Руденко – это бастион детерминизма в СЭИ!

А.П. Меренков:
– Мне надоело быть бастионом!
– Я не утверждаю, что Лаб. 7 – это икона, на которую другие должны молиться.
– У нас предостаточно сотрудников, которые съели предостаточно собак от теплофикации.
– Лаб. 7 – ассоциация свободных, творчески мыслящих молекул.



Рецепты "Э-С"

Служив козак при війську, мав років двадцять три,
Любив він дівчиноньку і з сиром пироги.

I. Тесто → Должно киснуть 12 часов до выпечки, при комн. т-ре

Состав: а) 1 бут. Ацедофилина (или кефира, что чуть хуже)

б) Сахар — соль по наитию

в) Мука (до густоты оладьев)

г) Молоко сметаны грамм 50

Дрожжей и соды не надо

Ішов він раз по стежці із лісу темного,
І стрінув він дівчину, що несла пироги.
Дівча моє хороше, чи знаєш мої сни
Що я Тебе кохаю і з сиром пироги.

II. Начинка (псидковатой консистенции)

Состав:

а) Сыр хороший — твердый
Тереть на крупной терке — 200 гр

б) Сырки плавленые искрина 2–3 пачки, резать на кусочки

в) Яйцо 1–2 шт

г) Брынза хорошо вымоченная — грамм 200

д) Сметана — грамм 150–200

Хачапури от ВЯ

І як вони діждались щасливої пори,
Вона його цілує, а він їсть пироги.

(1) Тесто (на столе) делаются две круглые лепешки D = 200–250 мм
Толщиной Δ = 1 см и перекладываются на лист посыпанный мукой.
На середину лепешки выкладывается начинка и приподнимаются края
На лист — 2 лепешки

Та раптом із-за лісу взялися вороги,
То й хлоп, що був козаком, сховався в бур'яни.

Испечь, вынуть и кинуть в горячую начинку по 1 ст. ложке слив. масла и перемешать. Дать остынуть и начать еду отщипывая края и окуная их в начинку! (последнее для гурманов)

А хлоп гірко заплакав: О люті вороги,
Візьміть собі дівчину, віддайте пироги.

Нашему ВЯ - 60

Из Иркутска

Москва,

почётному и действительному председателю комитета алгоритмической и программной реализации теории гидравлических цепей,

д.т.н. В.Я. Хасилеву

Глубокоуважаемый Виктор Яковлевич! Примите наши самые горячие поздравления в день Вашего 60-летия. Хотим порадовать Вас и производственными подарками: АСИГРы почти закончены в кодах и на Алголе для БЭСМ-4 начинаем реализовывать их на Фортране для БЭСМ-6.

Члены КАПР ТГЦ. С.Ю. Баринова, М.К. Такайшвили, Л.А. Сирик

Послушай-ка, дружок Вэ. Я.,
Ведь Я - не Ты, и Ты - не Я,
Да и не можешь быть Ты Мной,
Ведь жил Я в век совсем иной.
Я не имел ни ЦВМ,
Ни доблестной твоей лаб. семь,
Но жил уже в то время Я
По ПринципНаимДействия.
Теперь ты вновь меня нашёл
И досконально перевёл,
Чтоб современнейший учёный
Не забывал про принцип оный.
Спасибо, добрый человек,
Мне не забыть тебя вовек !
Скажу я Богу на Совете,
Чтоб дал тебе ещё СТОЛЕТЬЕ.

Sincerely yours
James Clerk Maxwell

Нашему ВЯ - 60

Амо Сагиян *)

Не золотом, упрятанным в мешок,
Богат ты! Но богат мечтами,
Послушными и нет учениками,
Свершенными и новыми делами,
«Тяжелыми» и «легкими» цепями,
Служить которым ты всегда готов.

Кого я только не рожала:
Гохштейн, Утесов, Беня Крик,
Багрицкий, Бабель, Геллер, Инбер,
Петров, Катаев, Ильф И., Шмидт...
Но, мне не изменяет память,
Никто из них не тряс цепями.

Одесса - мама

От Б.К. **)

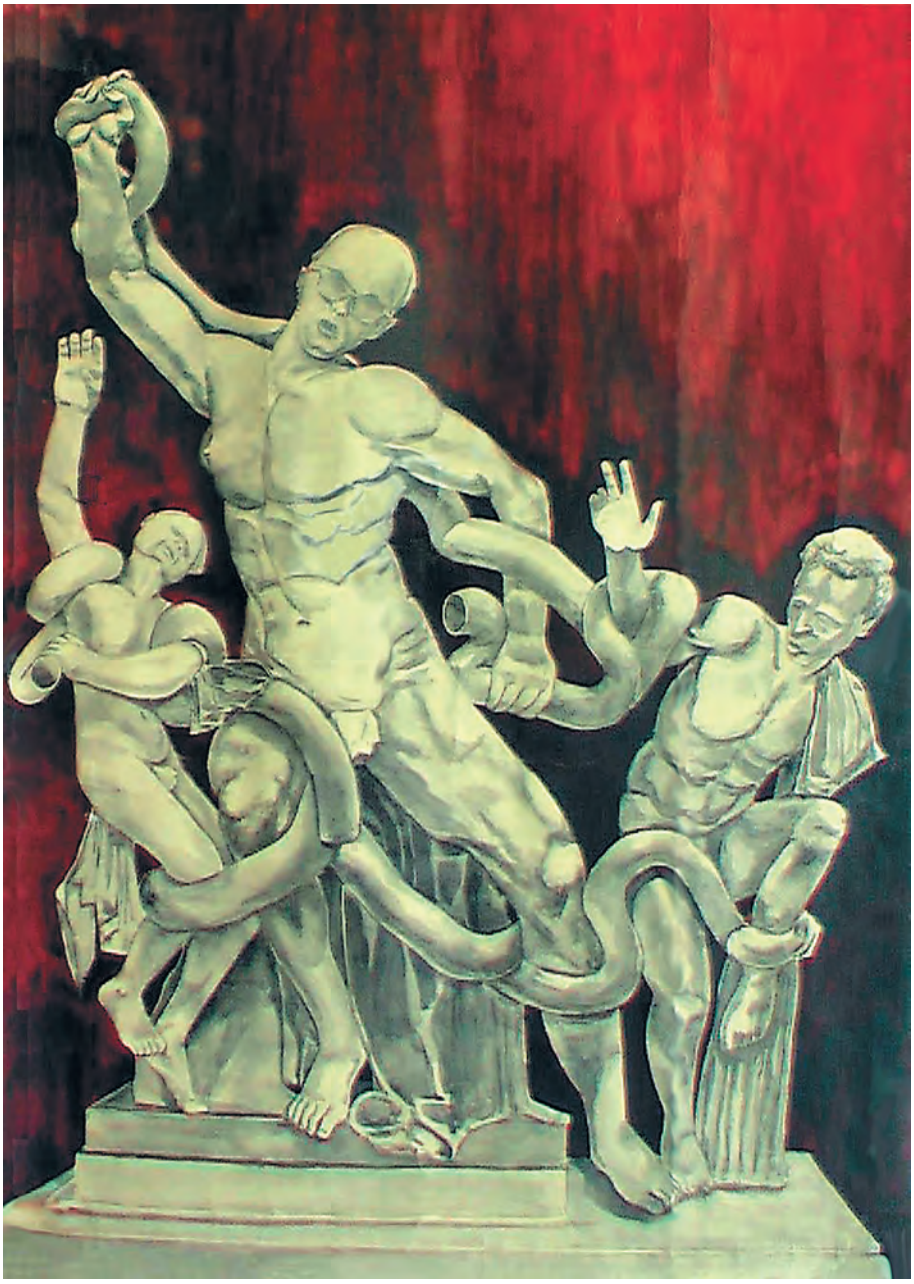
До предела дни заполнены,
От забот усталый вид,
Но над нашими работами
Шеф старательно сидит.
За столом мы собирались,
Без конца клубился дым.
И науки мир обыденный
Становился нам родным.
Терпеливо Вы учили нас
За успехом не спешить
И над собственными опусами
Умиленных слез не лить.
В увлеченьи модным знаменем
Не бросаться за толпой,
И в почете, и в забвении
Быть всегда самим собой.

Десять лет часы отмерили,
И в минувшее уйдут
Встречи, в спорах проведенные,
Радость кратких тех минут.
Вам еще пять раз по столько же,
Только чтоб не постарел
Ум во власти новых замыслов,
В предвкушеньи новых дел.
Мы желаем Вам здоровья,
Интересных ждём идей;
И поддержки, и совета,
Что порой всего нужней.

Прим. ред. «Э - С»:
*) Амо Сагиян - замечательный армянский поэт, к сожалению мало переводившийся на русский.
**) Не думаем, что это Боб Корольков, возможно, что это Беня Крик из Одессы, наиболее вероятно, что это Боря Каганович.

Участникам традиционных однодневных 40-километровых переходов по льду Байкала между Листвянкой на северном берегу озера и Танхоем – на южном после финиша вручаются памятно-наградные значки. Переходы посвящаются памятным событиям, юбилеям. В композициях двух значков – портрет В.Я. Хасилева:

2002 г. – к 90-летию Виктора Яковлевича; автор черно-белого эскиза – Александр Кейко (это был год Лошади), окончательного макета – Анна Шестакова, 2012 г. – к 100-летию Хасилева, 80-летию второго директора института Ю.Н. Руденко, 75-летию третьего директора А.П. Меренкова и 350-летию Иркутска; автор макета – Дмитрий Крупенев; в композиции – герб города, его панорама со стороны ГЭС, Синяя птица счастья и подводная лодка “Нерпа”.

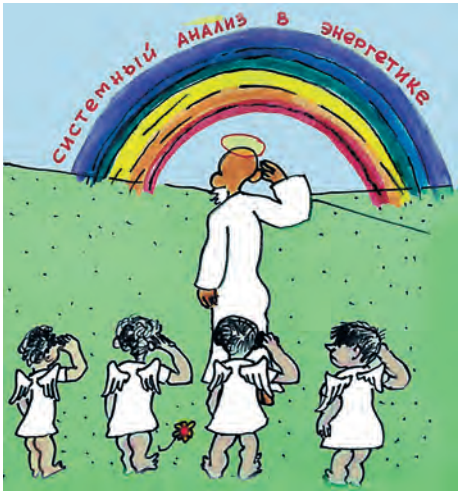


С.В. Сумароков изобразил А.П. Меренкова, себя и Б.М. Кагановича в сцене смертельной борьбы Лаокоона и его сыновей со змеями, которые здесь олицетворяют гидравлические цепи. Для всех троих – продолжателей дела В.Я. Хасилева – гидравлические цепи стали на всю жизнь объектом приложения всех их сил.

Завершим эту подборку фрагментом статьи Б.М. Кагановича “Просто настоящий ученый” из апрельского номера “Энергии–Сибири” 1980 г.

В последнее время в нашем институте наблюдается стремление к постановке все более широких, более общих энергетических проблем. Решать такие проблемы под силу лишь специалистам с широким кругозором, которые встречаются, к сожалению, очень редко. Один из таких редких специалистов – Виктор Яковлевич. Он не нахватался, не начитался общих “руководящих” работ, а глубоко проник в основы и электро-, и теплофизики, и гидромеханики, т. е. тех наук, которые составляют теоретический фундамент энергетики как технической дисциплины. Не менее глубоко знает он и математику, и экономику. Эта разносторонняя глубина достигнута ВЯ в результате непрерывной самостоятельной работы над решением конкретных задач. Его научная деятельность заключается не в составлении перечня проблем для подчиненных, а в совместном с ними поиске ответов на наиболее интересные в данный момент вопросы. Теперь, правда, часто пишут о появлении нового типа ученого: организатора, администратора. Мне кажется, что этот новый тип нельзя полностью отождествлять с ученым, так же как, например, нельзя ставить знак равенства между двумя одинаково достойными, но не совпадающими профессиями: инженера и инженера-экономиста. ВЯ – просто настоящий ученый.

Работа над конкретными энергетическими проблемами требует постоянного проникновения не в общефилософские, а в конкретные физико-технические истины. Использование законов диалектики и системное мышление являются неотъемлемым признаком культурного уровня человека, который занимается наукой. Но из одних принципов системного подхода содержательной энергетической теории не построить. И только энергетических знаний настоящему энергетику также недостаточно. Для понимания сложных неформализуемых экономических и социальных процессов, которые протекают в народном (в том числе и энергетическом) хозяйстве страны, нужно обладать как хорошим знанием жизни, так и большим интеллектом. Приобретению и того и другого способствуют литература, искусство, гуманитарные науки. ВЯ как раз является образцом не только научной, но и высокой общечеловеческой культуры. Он знаком, и опять не понаслышке, и с музыкой, и с литературой, и с философией. Большие знания и оригинальность мышления ВЯ всегда привлекают к нему лю-



дей. Не раз приходилось наблюдать, какой интерес вызывают в различных аудиториях не только выступления Хасилева, но даже его вопросы ораторам. Как часто можно слышать от молодежи недовольство старыми профессорами, “безнадежно отставшими от жизни”, но вокруг ВЯ всегда собирается молодежь.

Плоды творческой работы ВЯ – это и аналоговая ламповая машина для анализа гидравлических режимов (40-е годы), и идея использования замыкающих затрат на топливо в энерго-экономических расчетах (начало 50-х), и теория гидравлических цепей, по признанию Л.А. Мелентьева, – одна из теоретических основ системных исследований в энергетике.

Р.Ф. Трубачеев М.К. Такайшвили С.В. Сумароков Е.В. Сеннова А.П. Меренков А.А. Кошелев Б.М. Каганович

Из семейного альбома Хасилевых:
Виктор Яковлевич, Алла Филипповна и Вера Викторовна,
Москва, 1950-е.

Москва, 1950-е.

Подмосковье, 1950-е.

Подмосковье, 1960-е.

США, Мичиган, 2011.

Виктор Яковлевич и его женщины в разной обстановке.

На Всесоюзном симпозиуме
«Методы математического моделирования в энергетике».
Иркутск, СЭИ СО АН СССР, 1966.

Доклад В.Я. Хасилева

К.С. Светлов, В.Я. Хасилев, С.Ф. Копьев, Н.М. Зингер

Участники Симпозиума. Впереди С.Ф. Копьев и К.С. Светлов

В.Я. Хасилев и С.Ф. Копьев

Е.Я. Соколов и Н.К. Громов

Е.Я. Соколов и будущий нобелевский лауреат Л.В. Канторович

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ДИПЛОМ

ПРЕЗИДУМ АКАДЕМИИ НАУК СОЮЗА СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

постановлением от 15 января 1991 года присудил

ЧЛЕНУ - КОРРЕСПОНДЕНТУ АН СССР

Анатолию Петровичу
МЕРЕНКОВУ

ДОКТОРУ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Виктору Яковлевичу
ХАСИЛЕВУ

(посмертно)

ПРЕМИЮ имени Г. М. КРЖИЖАНОВСКОГО

в размере 2000 рублей

ЗА СЕРИЮ РАБОТ «ТЕОРИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ЭНЕРГЕТИКИ»

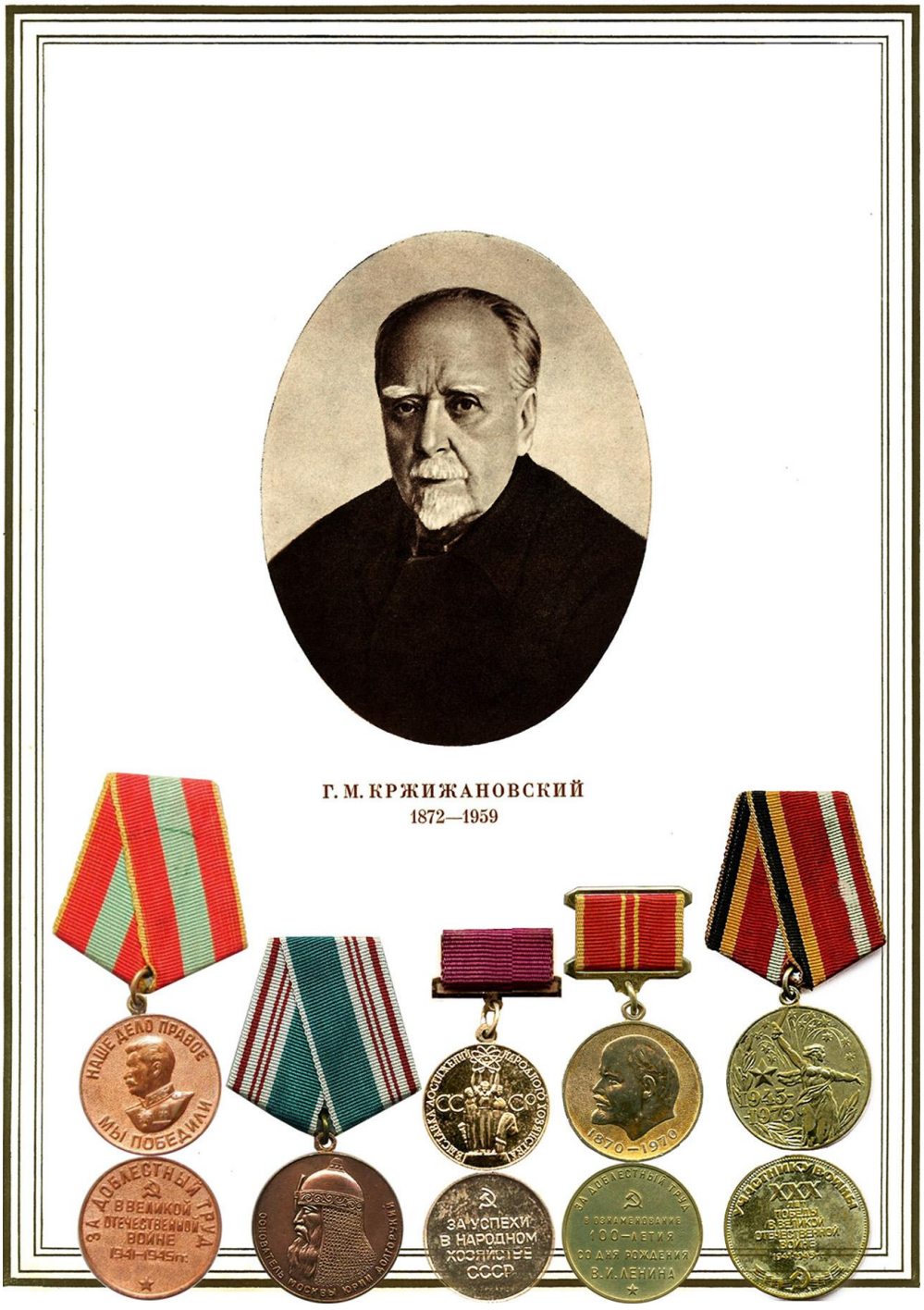
ПРЕЗИДЕНТ
АКАДЕМИИ НАУК СССР
АКАДЕМИК — *Г. И. Марчук*

ГЛАВНЫЙ УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
ПРЕЗИДИУМА АКАДЕМИИ НАУК СССР
АКАДЕМИК — *И. М. Макаров*

№ 1031

Москва

Единственный в истории случай посмертного присуждения Президиумом АН СССР премии им. Г.М. Кржижановского.



Награды В.Я. Хасилева:

Медаль «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг.», 1946.
Медаль «В память 800-летия Москвы», 1948.
Бронзовая медаль ВДНХ «За успехи в народном хозяйстве СССР», 1963.
Медаль «За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина», 1970.
Медаль «XXX лет победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг.», 1975.

СОЮЗ СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

КОМИТЕТ ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ
при СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

АВТОРСКОЕ СВИДЕТЕЛЬСТВО

№ 283746

На основании полномочий, предоставленных Правительством СССР, Комитет по делам изобретений и открытий при Совете Министров СССР выдал настоящее свидетельство

Сибирскому энергетическому институту СО АН СССР

на изобретение "Способ определения расходов и гидравлических сопротивлений"

по заявке № I334004 с приоритетом от I4 апреля I969 г.
авторы изобретения: указаны в прилагаемом описании.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Союза ССР
23 июля 1970 г.
Действие авторского свидетельства распространяется на всю территорию Союза ССР

Председатель Комитета

Начальник отдела

Московская печатная фабрика Гознака. 1970. Зак. 15480.

Авторское свидетельство
на изобретение А.П. Меренковым, В.Я. Хасилевым и К.С. Светловым
«математического расходомера».

Лаборатория моделирования аэрогидравлических и трубопроводных систем, 1975.
Слева направо и сверху вниз: А.А. Кошелев, Х.Я .Рогожина, С.В. Сумароков, Р.Ф. Трубачеев, А.В. Храмов, Б.М. Каганович, А.П. и Н.Н. Меренковы, В.А. Тарабрин, В.В. Мирошниченко, А.Ф. Редько, Л.А. Сирик; С.Ю. Баринова, Г.П. Шишкина, Т.Б. Ощепкова, Н.Я. Бирюкова, Н.И. Горская, Л.А. Хорун, Л.Е. Сидлер, Е.В. Сеннова, Г.В. Алексеева; В.Г. Сидлер, М.К. Такайшвили, О.А. Балышев.

Лаборатория экологических проблем энергетики Сибири,
выделившаяся из лаборатории гидравлических и трубопроводных систем, 1976.
Н.Я .Бирюкова, В.В. Мирошниченко, В.А. Тарабрин,
Л.Н. Островская, А.А. Кошелев, Г.В. Алексеева, И.М. Янышева
с символическим прощальным подарком коллег.

Лаборатория гидравлических и трубопроводных систем, конец 1970-х.
Слева направо и сверху вниз: А.В.Храмов, А.П.Меренков, Б.М.Каганович, М.К.Такайшвили;
Н.Н.Новицкий, В.А.Стенников, В.Г.Сидлер, Л.А.Сирик, С.В.Сумароков;
Н.Н.Меренкова, И.Бровейникова, Н.И.Горская, Е.В.Сеннова, Ощепкова..

«Остепененные» сотрудники лаборатории гидравлических и трубопроводных систем, 1978.
С.В. Сумароков, Б.М. Каганович, А.П. Меренков, М.К. Такайшвили, В.Г. Сидлер,
Е.В. Сеннова, Н.И.Горская.

Последний снимок В.Я. Хасилева в Иркутске с ветеранами его лаборатории
А.А. Кошелевым, Т.Б. Ощепковой, Е.В. Сенновой (11.06.1979).

Отдел моделирования и оптимизации трубопроводных и парогенерирующих систем, 1980-е.
Слева направо и сверху вниз: Ю.С. Борчевкин, А.С. Цапах, В.Ю. Белозерцев, В.В. Шлафман, В.А. Стенников, Н.Н. Новицкий; А.В. Леонидов, Э.А. Таиров, Б.П. Корольков, Е.В. Сеннова, И.Г. Ким, И.Ф. Бурханов; В.В. Мирошниченко, Т.А. Китова, Т.Б. Ощепкова, Л.И. Попова, В.Г. Сидлер, З.И. Шалагинова, С.В. Сумароков, Л.Е. Сидлер.

Сотрудники отдела моделирования и оптимизации трубопроводных и парогенерирующих систем с гостями из Москвы – А.П. и Н.Н. Меренковыми, 1985.
Слева направо и сверху вниз: Л.Е. Сидлер, С.М. Кротенко, В.Г. Сидлер, В.В. Чуканов, Н.Н. Новицкий, В.А. Стенников, И.Г. Ким, М.К. Такайшвили; В.Г. Гаманец, В.Р. Чупин, Т.В. Шевнина, А.А. Морев, Н.Н. Меренкова (ВНИИгаз), Е.В. Поздеева, Л.А. Ступина, Л.И. Попова, Т.А .Китова; Т.Б. Ощепкова, Е.В. Сеннова, А.П. Меренков (ВНИИгаз), Б.П. Корольков, А.В. Леонидов, Э.А. Таиров.

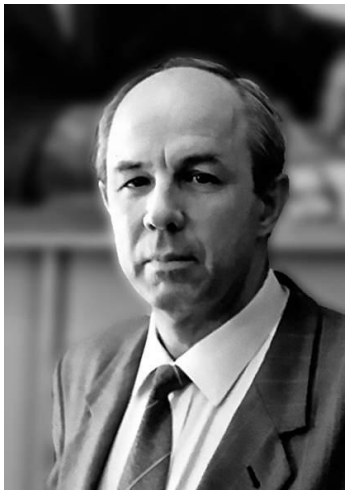
Сотрудники лаборатории гидравлических и трубопроводных систем и их гости – участники Всесоюзного симпозиума «Комплексные проблемы развития и методы управления системами энергетики страны и регионов», 1985.
Слева направо и сверху вниз: В.Р. Чупин, Н.И. Илькевич, В.Б. Троицкий (Союзгипроводхоз, Москва), Е.Р. Ставровский (ВНИИОЭНГ, Москва), М.Б. Малевская, Л.А. Сирик (СибВНИПИэнергопром), С.Ю. Баринова, А.П. Меренков (ВНИИгаз, Москва), В.Г .Сидлер, М.Г. Сухарев (МИНХиГП, Москва), В.А. Стенников, Н.Н. Новицкий, Э.Л. Юдкин (Сибтехэнерго, Новосибирск), В.А. Тарабрин, К.С. Светлов (ИВТАН, Москва), Б.Н. Громов (ВНИПИэнергопром, Москва), Л.А. Ступина, Н.Н. Меренкова (ВНИИгаз, Москва), Л.В. Лебедева, Е.В. Сеннова, Н.М. Хрусталева, Х.Я. Рогожина,Т.Б. Ощепкова, И.Ф. Бурханов, Л.Е. Сидлер, В.А. Янченко, М.К. Такайшвили, С.М. Еникеева.

Отдел тепло-, водо-, нефте- и газоснабжения, 1996.
Слева направо и сверху вниз: С.В. Жарков, Н.Н. Новицкий, Н.Н. Меренкова, З.И. Илькевич, О.В. Полякова, П.А. Соколов, Е.В. Сеннова, Н.С. Карымова, В.В. Мирошниченко, С.Т. Окунева, О.Н. Федяева, В.В. Токарев; Л.Е. Сидлер, И.В. Ниценко, И.М. Янышева, С.Ю. Баринова, А.П. Меренков, З.И. Шалагинова, Т.Б. Ощепкова, Т.В. Дзюбина.

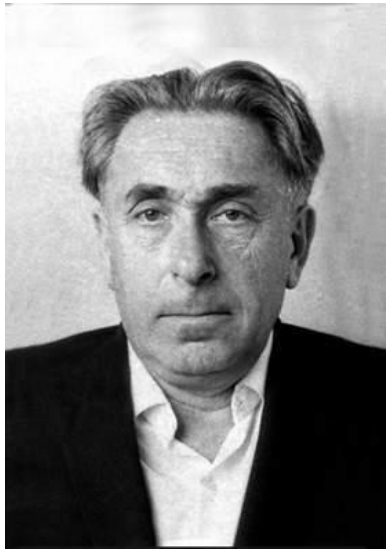
Отдел трубопроводных систем, 2006.
Слева направо и сверху вниз: О.В. Вантеева, М.В. Машуков, А.В. Пеньковский, П.А. Соколов, С.П. Епифанов, В.В. Токарев, Н.С. Карымова, О.А. Гребнева, Н.И. Илькевич, С.Ю. Баринова, И.В. Постников, О.В. Сокорева, А.В. Алексеев, Н.Н. Новицкий, З.И. Шалагинова, В.А. Стенников, В.В. Мирошниченко, И.М. Янышева, Л.Е. Сидлер, О.Н. Федяева.

Отдел трубопроводных систем, 2010.
Слева направо и сверху вниз: П.А. Соколов, Е.С. Сахаровский, С.Т. Окунева, Е.А. Барахтенко, Ж.В. Калинина, А.В. Алексеев, Л.Е. Сидлер, Е.А. Михайловский, О.А. Гребнева, О.А. Еделева, Т.В. Добровольская, Н.С. Карымова, Д.И. Боровин, Е.Е. Якимец, А.М. Метелкин, М.Н. Милютин, Д.В. Соколов, С.П. Епифанов, И.М. Янышева, С.В. Жарков, И.В. Постников, А.В. Пеньковский, О.В. Вантеева, Т.Б. Ощепкова, С.Ю. Баринова, Н.Н. Новицкий, В.А. Стенников, Н.И. Илькевич, З.И. Шалагинова.

А.А. Кошелев
1961-1976



А.П. Меренков
1960-1982, 1988-1997



В.Я. Хасилев
1961-1968

Н.Н. Новицкий
с 1978

В.Г. Сидлер
1968-1988

Н.И. Илькевич
с 1989

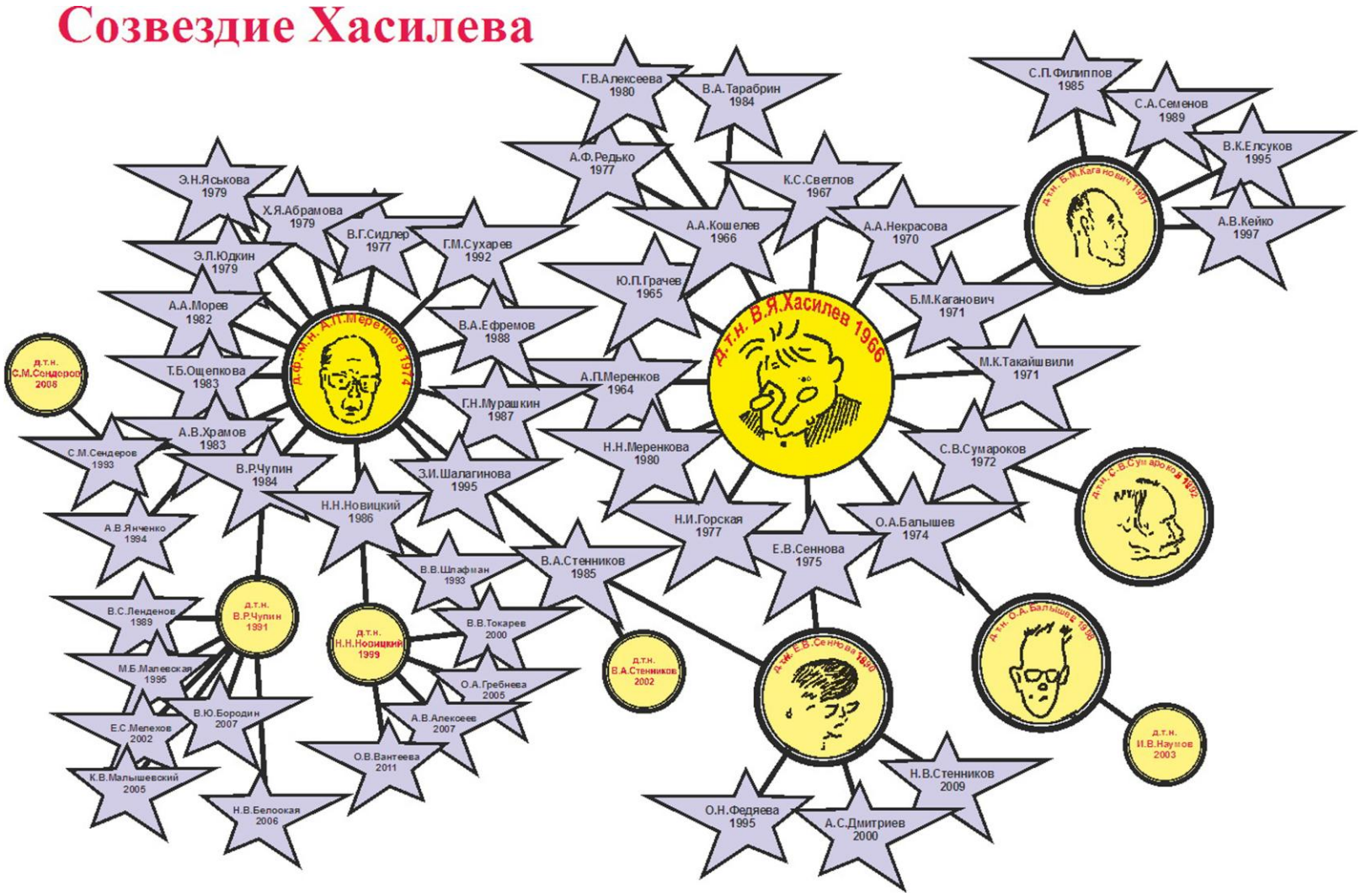
Е.В. Сеннова
1966-2003

В.А. Стенников
1977-1995, с 2003

В.И. Рабчук
1982-1984

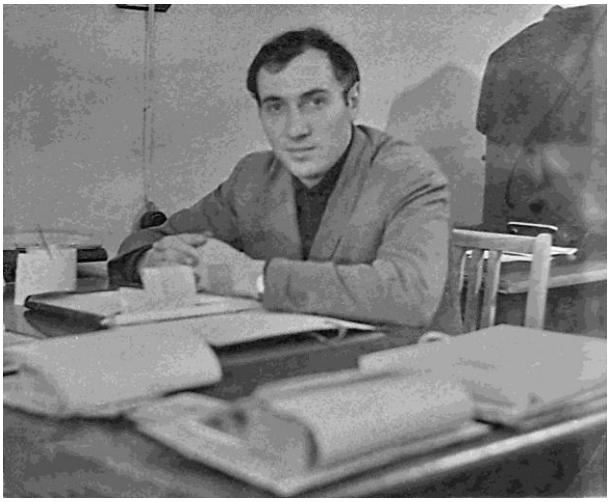
Заведующие лабораториями – ученики и последователи В.Я. Хасилева и годы их работы в трубопроводных подразделениях СЭИ/ИСЭМ.

Ученик В.Я. Хасилева Б.М. Каганович применяет теорию гидравлических цепей для разнообразных междисциплинарных исследований, продолжая и развивая идеи учителя в термодинамике.
В его галерее нашлось место многим великим физикам и математикам от Эйлера до Хасилева.



Год от года растет и ширится школа В.Я. Хасилева – А.П. Меренкова.

(звезды – кандидаты наук, круги – доктора). Рисунок О.А. Балышева.



К.С. Светлов – первый сотрудник лаборатории теплоснабжения, принятый на работу в СЭИ в 1960, когда лаборатории еще не было, 1961.

Доклад К.С. Светлова на симпозиуме «Методы математического моделирования в энергетике», 1966.
За столом В.Я. Хасилев и С.Ф. Копьев.

К.С. Светлов в Мариинском театре Санкт-Петербурга на праздновании 67-й годовщины снятия Ленинградской блокады, 2011.

Выпускники Ивановского энергетического института им. В.И. Ленина:
А.А. Кошелев (1957), Р.Л. Ермаков (1959), Е.В. Сеннова (1962), К.С. Светлов (1960) на проводах К.С. Светлова в Москву, 1971.

На «товарищеском чае» по случаю защиты В.Я. Хасилевым докторской диссертации, декабрь 1966.

Поздравительный плакат

Тамада Л.А. Мелентьев и виновник торжества

В президиуме ...

В.Я. Хасилев благодарит А.А. Кошелева, автора и исполнителя «Хасилиады».

Математик М.К. Такайшвили – кандидат технических наук, 1972.

М.К. и В.Р. Такайшвили, их родители и В.Я. Хасилев.

.Мудрое слово учителя...

После защиты докторской диссертации А.П. Меренкова,1976.

В.Я. Хасилев, А.П. и Н.Н. Меренковы, В.Ф. Васильев (оппонент), В. и А.А. Моревы.

Директор СЭИ Ю.Н. Руденко отметил роль В.Я. Хасилева, как руководителя работы. Ю.Н. Руденко, М.К. Такайшвили, В.Я. Хасилев, И.П. Дружинин, Н.В. Хамьянова, В. Морева.

В.Я. Хасилев, А.П. и Н.Н. Меренковы, В.Ф. Васильев.

Традиция СЭИ – «директорский чай», встреча дирекции с ветеранами в кафе СЭИ. В.Я. Хасилев, М.К. Такайшвили, А.П. Меренков.

«За науку!»

Избранные научные труды В.Я. Хасилева

Хасилев Виктор Яковлевич

Родился в Одессе, 13 декабря 1912 года.
Отец рабочий - печатник. До и после революции работал наборщиком в одесских типографиях, был членом профсоюза печатников с 1905 г. и ст. КПСС с 1924 года. После войны работал в типографии в Киеве и в возрасте 80 лет перешел на пенсию. Умер в Киеве в 1992 г.
Мать жила со мной в Москве и умерла в 1969 году.
Жена - канд. мед. наук, врач-реаниматолог. Свыше 20 лет работала в НИИ им. Склифосовского.
Дочь Вера в 1978 окончила 1-ый МОЛМИ им. Сеченова и направлена в ординатуру по скорой помощи г. Москвы. Замужем, имеет ребенка 7 год.
К суду и следствию не привлекался.
Братьев и сестер не имею. Родственников за границей не имею.
На военной службе не был, так как был снят с учета по болезни (ст. 30, гр. I).
Годы учебы - в Одессе (школа, электротехникум, ВУЗ). Окончил Энергофак Од. инд. института по специальности "ТЭ и тепловые сети" в 1933 г.

О НАУЧНОМ НАСЛЕДИИ В.Я. ХАСИЛЕВА

Н.Н. Новицкий

Получение целостной картины научных знаний в той или иной области – непростой многоэтапный процесс. Роль личности в этом процессе проще всего оценивать по формальным количественным показателям (число публикаций, наград, премий, ученых степеней, званий и т. д.). Очевидно, что более объективная оценка может быть получена по реальным итогам и последствиям деятельности ученого. Это труднее. Однако не только возможно, но и необходимо. В особенности, если этот человек во главу угла своих жизненных ценностей ставил научную истину, а не научную карьеру. Именно таким человеком, целиком посвятившим себя поискам этой истины, был Виктор Яковлевич Хасилев.

Основатель научной школы. Без преувеличения можно утверждать, что мировой уровень достижений отечественной науки (несмотря на ее традиционно ограниченное финансирование) обеспечен наличием в ней сильных научных школ. Само понятие "научная школа", как правило, ассоциируется с тремя основными признаками: 1) наличие коллектива единомышленников, объединенных системой общих взглядов, идей и представлений; 2) научная значимость рассматриваемых проблем и признание полученных результатов в стране и за рубежом; 3) стабильность и перспективность научного направления, преемственность его развития, наличие постоянного семинара.

Вот уже более 40 лет в ИСЭМ СО РАН[1] существует и развивается научная школа, основателем которой по праву считается В.Я. Хасилев и которая на сегодняшний день удовлетворяет практически всем перечисленным признакам[2]. Это тем более примечательно, что сам Виктор Яковлевич работал в СЭИ всего 7 лет (1961–1968 гг.). Во многом это оказалось возможным благодаря тому, что он передал свое дело в на-

НОВИЦКИЙ Николай Николаевич, доктор технических наук, профессор. Закончил факультет специальных строительных работ Иркутского политехнического института. С 1978 г. – в лаборатории гидравлических и трубопроводных систем СЭИ (с 1990 г. ею заведует), в работах которой начал участвовать еще студентом (с 1975 г.). Направление исследований – методы управления функционированием и сетевая идентификация трубопроводных систем.

[1] До 1997 г. – Сибирский энергетический институт Сибирского отделения Академии наук СССР (СЭИ СО АН СССР).

[2] Ведущие научные школы России. Справочник. – М.: Янус-К, 1998. – 634 с.

дежные руки одного из наиболее талантливых учеников – Анатолия Петровича Меренкова[3].

Под руководством А.П. Меренкова в СЭИ основное научное направление школы – теория гидравлических цепей (ТГЦ) – получило интенсивное развитие, оформление [61] и признание[4]. В том числе им был организован Всесоюзный (ныне Всероссийский) научный семинар по проблемам математического моделирования трубопроводных и гидравлических систем (ТПС), действующий до настоящего времени. Поэтому по совокупности результатов можно с уверенностью говорить, что в настоящее время в ИСЭМ развивается научная школа В.Я. Хасилева–А.П. Меренкова.

Тем не менее констатация полученных результатов и их соответствия формальным признакам не отвечают на вопрос о причинах возникновения, плодотворности и долголетия этой научной школы. Представляется, что основополагающая роль В.Я. Хасилева в этом процессе может быть укрупненно сведена к двум ключевым факторам.

Главный фактор, это, конечно же, личные качества самого Виктора Яковлевича, обладавшего энциклопедическими познаниями в разных областях науки и техники того времени, большим жизненным опытом, опытом практической инженерной и научной деятельности, умением изящно решать сложнейшие научно-технические задачи, пользовавшегося признанием крупнейших специалистов того времени в своей области. Высокий научный потенциал удивительным образом сочетался в нем не только с пониманием принципиального значения демократичной, доверительной атмосферы в общении, но и с умением ее создать. Только такая личность была способна вовлечь в свою сферу других людей, выступить в роли центра притяжения и формирования той самой команды единомышленников, оставить отпечаток своего влияния на долгие годы.

Второй фактор (прямое следствие первого) – формулировка, идейное наполнение и демонстрация перспективности нового, уникального научного направления – теории гидравлических цепей.

Здесь следует отметить, что до начала 1960-х годов методы расчета ТПС находились в стадии своего формирования, причем разрабатывались с ориентацией на применение в условиях ручного счета. В том числе это относится и к работам самого В.Я. Хасилева того времени. Однако В.Я. Хасилев одним из первых увидел, что ситуация резко меняется в связи с двумя основными обстоятельствами: 1) появлением вычислительной техники; 2) бурным развитием самих ТПС, обусловившим резкое возрастание сложности (и народно-хозяйственной важности) задач их проектирования, развития и эксплуатации.

Это понимание возникло не умозрительно. Формулировка ТГЦ и выход на важные обобщения были подготовлены всей его предыдущей деятельностью, в процессе которой ему пришлось неоднократно сталкиваться

[3] Анатолий Петрович Меренков: Научное наследие. Воспоминания близких. Документы. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2006. – 654 с.

[4] Премия им. Г.М. Кржижановского 1990 г. за работу “Теория гидравлических цепей и ее прило-жения”. Меренков А.П., Хасилев В.Я.

с отсутствием общей физико-математической базы (например, такой, какой была теория электрических цепей для электротехники, электроэнергетики, электроники и др.). Своими работами по ТГЦ он предельно четко обнажил общность содержательных и математических постановок задач для разных случаев и типов ТПС, непроизводительность дублирования соответствующих исследований и одновременно наличие целых классов важных, нерешенных задач, имеющих общее значение.

Таким образом, В.Я. Хасилев заложил как основы научного направления, так и традиции творческой коллективной работы. Поэтому не случайно, что настоящая книга содержит как избранные труды В.Я. Хасилева, так и воспоминания тех, кто знал его лично. Такая подборка материала продиктована стремлением получить "системный" эффект, повышающий ценность книги, в том числе для подрастающей научной молодежи.

О научных трудах В.Я. Хасилева. Список научных трудов В.Я. Хасилева (в хронологическом порядке) приведен в конце книги. К сожалению, несмотря на предпринятые усилия, составителям не удалось обеспечить его полноты. В частности, в нем отсутствуют первые работы по вопросам "теплоэнергетики нефтепроводов", упоминаемые в воспоминаниях С.В. Сумарокова, а также работы по теме кандидатской диссертации "Оптимальная мощность установок районного теплоснабжения", защищенной В.Я. Хасилевым в 1940 г. Тем не менее этот список содержит все работы основополагающего характера и дает достаточно адекватное представление о научных интересах и результатах автора.

Анализ научных трудов В.Я. Хасилева может быть выполнен по хронологическому и тематическому признакам, которые, конечно, сильно коррелированы. В большой степени научное наследие В.Я. Хасилева можно ассоциировать с тремя основными периодами его научной деятельности. Первый (московский) период (до 1961 г.) связан с работами в области теплоснабжения и теплофикации. Второй (иркутский, 1961–1968 гг.) – с разработкой основных положений ТГЦ и написанием на эту тему докторской диссертации (1966 г.). Третий (после отъезда из Иркутска) – с развитием методов ТГЦ, главным образом совместно с А.П. Меренковым и сотрудниками иркутской лаборатории, где он (практически до самой своей кончины в 1980 г.) оставался неформальным научным руководителем.

Тематически научные труды В.Я. Хасилева можно разделить на следующие основные блоки.

1. Работы в области теплоснабжения, в которых прослеживается явный "водораздел" между работами первого периода, посвященными исключительно проблемам теплоснабжения, и последующими работами, в которых системы теплоснабжения преимущественно выступают в роли объектов приложения ТГЦ.

2. Работы общего характера, связанные с обоснованием применения методов математического моделирования и ЭВМ в практике проектирования и эксплуатации ТПС, а также обоснованием основных положений ТГЦ как межотраслевой научно-технической базы.

3. Работы, посвященные основным разделам и классам задач ТГЦ: 1) математические модели и методы расчета потокораспределения, кото-

рые с разных точек зрения являются фундаментом теории; 2) схемно-параметрическая оптимизация ТПС; 3) проблемы и методы расчета и учета требований надежности ТПС и др.

Работы раннего (первого) периода деятельности В.Я. Хасилева уже характеризуют его как специалиста высокого уровня в области проблем и методов расчета систем теплоснабжения. В том числе они показательны с точки зрения тех масштабных задач, с которыми ему удавалось справляться в отсутствие вычислительной техники. Впечатляет стиль изложения материала: краткость и компактность в сочетании с глубиной и детальностью проработки вопросов, с выходом на обобщающие результаты, как правило, формулируемые не только аналитически, но в виде графиков и номограмм для конечного применения. К сожалению, до настоящего времени не было книги, в которой эти работы были бы собраны вместе. Публикация основных работ этого периода (с 1944 по 1959 г.) в настоящем издании призвана, в какой-то мере, восполнить этот пробел.

Результаты работ по ТГЦ иркутского и постиркутского периодов нашли отражение в монографии [61], написанной А.П. Меренковым в 1985 г. и теперь уже ставшей классической. В предисловии А.П. Меренков отметил: "...В.Я. Хасилев все последние годы своей жизни считал написание такой книги своим главным делом", "...коллектив лаборатории СЭИ считает В.Я. Хасилева основоположником ТГЦ и одним из основных авторов данной монографии".

Одна из причин, что такая обобщающая монография не была написана еще при жизни В.Я. Хасилева, – это его высокая требовательность к себе и результатам своей работы, основанная на понимании масштабности, сложности и важности затронутых вопросов. Так, его собственная докторская диссертация называлась не "ТГЦ", и даже не "Основы ТГЦ", а всего лишь "Элементы ТГЦ". Этим он не только демонстрировал свою ответственность, но оставлял поле для такой же ответственной деятельности последующим исследователям.

Следует отметить, что в лаборатории СЭИ какое-то время всерьез обсуждался вопрос о публикации этой докторской диссертации, которая неизменно производила впечатление на всех, кто имел возможность с ней познакомиться и действительно представляет собой внушительный по глубине проработки, изяществу изложения и объему (более чем 400 страниц основного текста) труд. Ограниченный объем данного сборника не позволяет реализовать этот замысел, поэтому было решено воспроизвести здесь лишь автореферат диссертации [25], в определенной мере передающий ее "дух и букву". Так же, в виде приложений к этому автореферату (для примера) приведены некоторые из иллюстраций, которыми изобилует сама диссертация.

Работы по теплоснабжению. Отечественная теплоэнергетика обладает неоспоримыми достижениями в области теплофикации и централизованного теплоснабжения. Экономические и экологические преимущества таких систем послужили причиной того, что и во многих зарубежных странах (Дании, Швеции, Германии, Финляндии и др.) в последние десятилетия

сооружаются и развиваются такие системы. По образованию и роду всей инженерной и научной деятельности В.Я. Хасилева следует отнести к числу наиболее ярких специалистов в области теплоснабжения, оставивших заметный след в формировании этих достижений.

Представленные материалы этой части работ В.Я. Хасилева иллюстрируют многообразие его интересов, глубину проработки задач и динамику развития идей с выходом на обобщающие результаты. В том числе из этих материалов видны:

1) разнообразие классов рассматриваемых задач (технико-экономических, гидравлических, надежности, анализа, регулирования и др.);

2) охват практически всех звеньев и составляющих систем теплоснабжения (системы в целом, тепловые сети микрорайона, района, города, теплоисточники, теплопотребляющие системы и установки);

3) междисциплинарный (экономика, техника, физика, математика и т. д.) и обобщающий уровень исследований и результатов.

Также следует отметить опережающий характер многих постановок и результатов, направленных на повышение эффективности систем теплоснабжения, которые только сейчас в связи с осознанием важности проблем энергосбережения становятся востребованными на практике (технологии параллельной работы источников на общие тепловые сети, технологии индивидуального и смешанного центрального регулирования, идеи нагруженного резервирования и др.).

Первая из представленных работ [1] написана в 1944 г. совместно с известным советским теплоэнергетиком Б.Л. Шифринсоном и посвящена задачам выбора конфигурации тепловой сети промышленного назначения. Примечательны исключительная прагматичность и лаконичность предлагаемого подхода (очевидно, продиктованные обстановкой военного времени) в сочетании с его универсальностью. Основной критерий – минимум металлоемкости сети. Показано, что наивыгоднейшая конфигурация (из числа имеющихся типовых вариантов), а также достигаемая экономия могут быть получены немедленно по предлагаемым графикам на основе задания только размеров цеха (промплощадки). Отмечается общность подхода для других типов цеховых коммуникаций (паро-, конденсато-, водо-, воздухо-, газопроводов и др.).

Следующие две работы [2, 3], представленные к публикации академиком АН СССР Г.М. Кржижановским, можно рассматривать как развитие темы предыдущей статьи, но уже применительно к распределительным тепловым сетям. Особенность состоит в том, что в данном случае нет заранее известного набора конфигураций, которых может быть много, в том числе “несимметричных” относительно главной магистрали. Оригинальным моментом работы (1945 г.) [2] является введение “фактора конфигурации”, отражающего влияние схемы сети на выбор мощности теплоисточника, причем показано, что этот фактор может быть сведен к геометрическим характеристикам сети (число и длины участков главной магистрали и ответвлений). Статья (1947 г.) [3] посвящена задачам выбора типа и размещения локальных источников тепла (индивидуальных, групповых,

районных) на городской территории. Показано, что область эффективного применения различных типов источников может быть определена на основе двух главных факторов – тепловой плотности района теплоснабжения и его этажности.

Статья (1949 г.) [4], представленная академиком АН СССР А.В. Винтером[5], пожалуй, первая в цикле многих последующих работ В.Я. Хасилева, посвященных обоснованию и развитию новой и прогрессивной для того времени идеи – организации совместной работы нескольких источников на общие тепловые сети. Доказывается, что при условиях, определяемых формой графика годовой нагрузки, характеристиками источников и т. д., возможно получение значительного энергетического эффекта при параллельной работе нескольких ТЭЦ на общую подключенную нагрузку. Предлагается общий метод приближенной оценки этого эффекта.

Следующая работа (1950 г.) [5], написанная совместно с Г.Л. Полисаром[6], посвящена применению методов моделирования тепловых сетей на аналоговых электрических моделях и раскрывает истоки "электрических" аналогий ТГЦ, а также назревающее понимание ограниченности ручных методов расчета для систем теплоснабжения произвольной структуры и конфигурации. Примечательно, что это направление представлялось перспективным для применения не только в расчетной, но и в диспетчерской практике.

В статье (1951 г.) [7] идея параллельной работы ТЭЦ на общие сети развивается с точки зрения организации управления отпуском тепла. Показывается, что достижение энергетического эффекта от такой параллельной работы обеспечивается лишь при условии количественно-качественного регулирования отпуска тепловой энергии и при наличии автоматизированных вводов у потребителей. Дается методика расчета температурных графиков при таком смешанном регулировании. Дальнейшее развитие эта тема получила в работе [35].

Статья (1951 г.) [8] написана совместно с членом-корреспондентом АН СССР Е.И. Вейцем. На фоне краткой констатации достижений советской энергетики (первое место в мире по уровню теплофикации городов, семикратное превышение электропотребления на душу населения по сравнению с капиталистическими странами) ставятся новые задачи развития теплофикации СССР. В частности, отмечаются проблемы ухудшения санитарных (экологических) условий для населения, топливо-, водоснабжения, золоудаления, нехватки площадей под строительство ТЭЦ в городской черте и др. В качестве радикального решения всех этих проблем предлагается создание загородных ТЭЦ. Показано, что при этом удельные затраты снижаются, в том числе за счет перехода на параллельную работу загородных и существующих городских ТЭЦ.

---

[5] Александр Васильевич Винтер – выдающийся российский энергетик, начальник строительства Шатурской ГРЭС и Днепрогэса.

[6] Григорий Лейзерович Полисар – известный специалист и автор монографий по моделированию, в том числе с помощью электронных аналоговых машин (интеграторов).

Статья (1957г.) [9], пожалуй, наиболее яркая работа раннего периода деятельности В.Я.Хасилева[7], посвящена технико-экономическим задачам. Известно, что показатели эффективности проектов зависят от большого числа технико-экономических факторов, включая специфические (тип сети, конфигурация, условия сооружения и эксплуатации и т. д.), а их расчет представляет весьма трудоемкую проектную задачу. В статье показано, что относительное изменение технико-экономических показателей может быть представлено в виде компактных аналитических зависимостей, параметры которых определяются только показателями нелинейности сети. Их применение резко сокращает трудоемкость технико-экономических расчетов, а сами зависимости имеют универсальный характер для сетей разных типов (тепловая, водопроводная, электрическая и т. д.). Важным следствием полученного результата является вывод о большей пологости экономического функционала тепловых сетей по сравнению с электрическими.

Работа (1959 г.) [11] показательна с точки зрения опережающего характера постановки вопросов. Фактически здесь рассматривается проблема обеспечения качества теплоснабжения за счет регулирования теплопотребления непосредственно в отапливаемых помещениях, которая только сейчас выходит в плоскость массового практического решения. В.Я. Хасилев (для наиболее распространенного случая элеваторного присоединения местных систем) показал, что регулирование отопительных приборов практически не сказывается на гидравлическом режиме наружных сетей, что до этого было не очевидно и во многом снимало вопрос об усложнении эксплуатации тепловых сетей в таких условиях. Отмечается также, что стабильность режимов не означает их экономичности, а переход на индивидуальное регулирование должен сопровождаться применением новых схем центрального регулирования.

Последняя статья в данном блоке (1976 г.) [54] характерна тем, что представляет собой обзорное изложение основных идей В.Я. Хасилева в области надежности систем теплоснабжения. Она подытоживает целый цикл его во многом новаторских работ по этой теме [34, 42–50], которая была для него одной из основных уже после защиты докторской диссертации и отъезда из Иркутска. К числу таких новаторских и принципиальных положений здесь можно отнести: 1) систему узловых показателей надежности в противовес интегральным; 2) нормативный подход к учету надежности в противовес критериям ущерба; 3) сочетание вероятностных методов расчета надежности с детерминированными методами гидравлического анализа; 4) нагруженное резервирование в противовес секционированным схемам эксплуатации. Актуальность и значимость этой работы дополнительно подкрепляется ее обсуждением (на страницах того же номера журнала), в котором приняли участие такие известные специалисты по теплоснабжению, как Е.Я. Соколов, Н.М. Зингер, Н.К. Громов, К.С. Светлов, Ю.М. Ворфоломеев и др.

[7] Комментарии по этой статье имеются также в воспоминаниях Б.М. Кагановича в данной книге.

Работы по теории гидравлических цепей. Появление ТГЦ как нового научного направления можно отсчитывать с момента публикации двух основных статей В.Я. Хасилева (1964 г.) [14, 15]. Причем в процессе создания этой теории самим В.Я. Хасилевым было переработано более 200 работ отечественных и зарубежных авторов по проблемам расчета гидравлических систем. В качестве "знаковых" достижений В.Я. Хасилева в этом процессе можно выделить следующие.

1. *Алгебра ГЦ*. Уже в самых первых публикациях по ТГЦ [14, 15] введен векторно-матричный язык описания ГЦ, оказавшийся весьма эффективным для компактности записи основных уравнений, классификации задач, наглядности преобразований, изложения методов расчета. В том числе на этой основе была раскрыта математическая сущность многих топологических свойств ГЦ (базис ГЦ, главные и независимые контуры, плоские, пространственные, циклические схемы и др.). С тех пор именно этот язык используется в большинстве работ по математическому моделированию ГЦ, причем не только представителями иркутской школы.

2. *Математические модели и методы расчета потокораспределения*. До работ В.Я. Хасилева не было теоретического обоснования существующих методов, а также объяснения их медленной сходимости или ее отсутствия. В.Я. Хасилев был одним из первых (если не первым), кто систематически исследовал нелинейные задачи потокораспределения в ГЦ с общих позиций метода Ньютона. В процессе этого исследования перебирались многочисленные альтернативные подходы и методы, включая экстремальные (по энергетическому функционалу, по норме невязки) и алгебраические (покоординатного спуска, простой итерации, релаксации, Зейделя и др.) [13, 16, 17, 21, 27].

В итоге были разработаны обобщенные (теперь уже канонические) методы контурных расходов (МКР) [26] и узловых давлений (МД) [41]. На этом фоне показана математическая сущность упрощений, присущих инженерным "увязочным" методам, причины их ограниченной сходимости, доминирующее значение МКР по отношению к МД, разработаны рекомендации по практическому применению методов расчета потокораспределения.

Результаты этих исследований получили дальнейшее применение для формализации соотношения экстремальных и алгебраических методов [38], обратных задач потокораспределения [33], методов расчета ГЦ с сосредоточенными, переменными и распределенными параметрами [53, 55, 57], расчета аварийных и предельных режимов систем тепло- [37, 44], водо- [50] и газоснабжения [56] и т. д. Они также обеспечили основу для реализации ряда программных комплексов [45], в том числе передовой для своего времени программы "АСИГР" (Автоматизированная Система Гидравлических Расчетов) для расчетов тепловых сетей на больших ЭВМ. Описание этой программы, а также заложенных методов (вместе с исходными кодами, не потерявшими своей ценности и используемой многими отечественными разработчиками программного обеспечения до сих пор) составило основное содержание первой монографии, вышедшей по резуль-

татам работ иркутской школы: “Методы и алгоритмы расчета тепловых сетей” (1978 г.) [55].

3. *Линеаризация и эквивалентирование ГЦ*. При изучении эффектов нелинейности ГЦ (несимметричность решений, неприменимость принципа суперпозиции и др.) В.Я. Хасилев использовал разнообразные аналитические средства и геометрические (на плоскости и в пространстве) интерпретации. В особенности интересны последние (поверхности контурных уравнений в виде эллипсоидов, проекции пространственных схем на сферу, плоскость и др.), которыми обильно снабжена его диссертация, многие публикации, а также монография [61]. Основным результатом таких исследований была разработка оригинального метода линеаризации [15]. Метод позволяет, оперируя параметрами исходной нелинейной ГЦ, получать линейную систему уравнений с близким решением. Причем, это решение сразу дает правильное направление потоков, а зачастую и весьма точное их значение. Этот результат во многом решал “болезненную” для метода Ньютона проблему выбора начального приближения, а также имел самостоятельное значение для упрощения расчетных схем ГЦ (преобразование треугольника в звезду, эквивалентирование, понижения размерности).

4. *Оптимизация ГЦ*. Несомненно, В.Я. Хасилев заложил основы этого, теперь уже весьма обширного, раздела ТГЦ. Следует отметить, что в 1960-е годы такая дисциплина, как математическое программирование, еще только формировалась. Однако одна из наиболее объемных глав его докторской диссертации “Гидравлические цепи и нелинейное программирование” была посвящена ее применению, причем как для экономических, так и для неэкономических задач ТГЦ, в частности, экстремальным задачам потокораспределения в ГЦ с распределенными параметрами на основе выведенного здесь обобщения тепловой теоремы Максвелла [24], задачам устойчивости экономических решений [9], оптимизации параметров разветвленных ГЦ методом динамического программирования, разработанного совместно с А.П. Меренковым [12, 18, 20, 22].

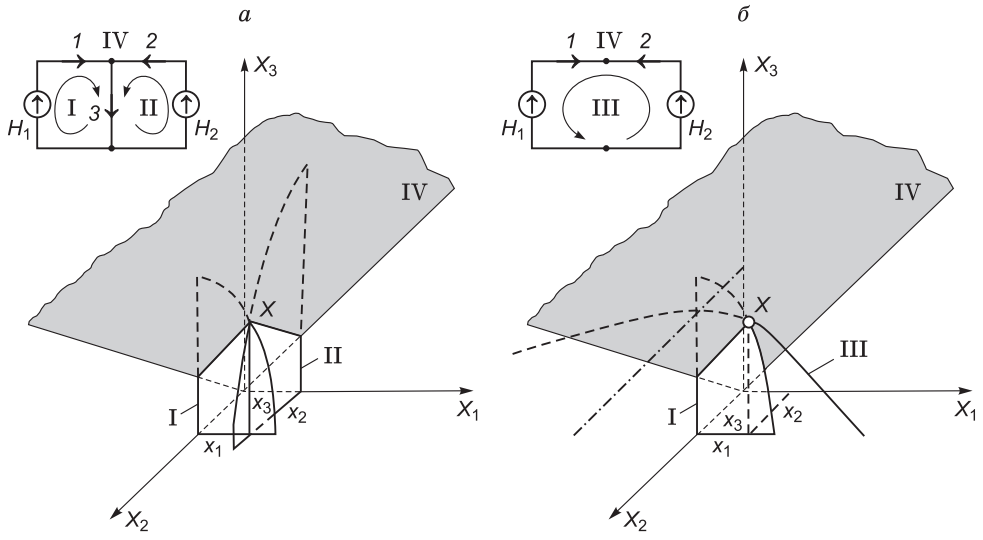
Эта тема была для В.Я. Хасилева одной из основных и после защиты диссертации. В том числе (по большей части совместно с сотрудниками СЭИ) развивались постановки задач и методы оптимального проектирования и реконструкции ТПС с учетом разных факторов (динамики развития, надежности, наличия нескольких источников и др.) [28, 29, 49, 51; и др.]. Разрабатывались первые методы оптимальной трассировки ТПС [31, 34]. Формировались основы проблематики и методов оптимального синтеза многоконтурных ТПС с учетом требований надежности [46, 49, 59, 60; и др.]. Среди наиболее плодотворных идей В.Я. Хасилева этого периода, сыгравших ключевую роль в последующем развитии методов схемно-структурной оптимизации ТПС, можно выделить [31, 34] методику “избыточных проектных схем” и методику поиска оптимальной схемы ГЦ. Первая позволила преодолеть непростую (с содержательной и математической точек зрения) проблему назначения области поиска оптимальной конфигурации ГЦ. Нелишним будет отметить, что истоки этой идеи лежат в наиболее ранних работах В.Я. Хасилева по тепловым сетям [1, 2]. Вторая да-

А.П.Меренков, В.Я.Хасилев
ТЕОРИЯ гидравлических ЦЕПЕЙ
Методы и алгоритмы расчета тепловых сетей
ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ЦЕПИ
РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ И ПРИЛОЖЕНИЯ
«НАУКА»
НОВОСИБИРСК
Новицкий Н.Н.
ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ
Математическое моделирование и оптимизация систем тепло-, водо-, нефте- и газоснабжения
Е. В. СЕННОВА В. Г. СИДЛЕР
Математическое моделирование и оптимизация развивающихся теплоснабжающих систем
Издательство „Наука" Сибирское отделение
НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИКИ И ИХ ОБОРУДОВАНИЯ
СПРАВОЧНИК
4
НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ
ТРУБОПРОВОДНЫЕ СИСТЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ
«НАУКА»
НОВОСИБИРСК

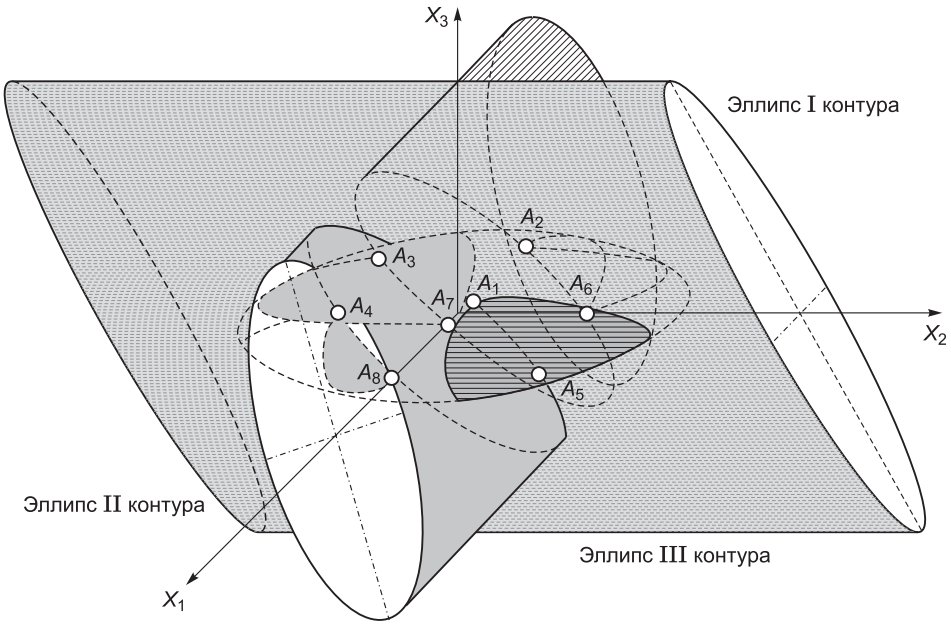
вала конструктивный способ решения задачи, которую формально можно отнести к классу задач дискретной оптимизации высокой размерности и сложности. В.Я. Хасилевым было установлено, что оптимальной конфигурации (на исходно многоконтурной избыточной схеме) отвечает древовидная схема. Опираясь на это, он предложил оригинальную процедуру целенаправленного перебора деревьев “поконтурной” модификацией дерева начального приближения.

5. *Надежность ТПС.* Характеристика основных положений, разработанных В.Я. Хасилевым в этой области, дана в комментариях к последней статье [54], представленной в блоке его публикаций по теплоснабжению. Однако многие из этих положений имеют общий характер [47], что было продемонстрировано в ряде его работ, в том числе для систем водо- [46, 50], газо- [56], нефтеснабжения [58] и др. Поэтому, несмотря на относительную самостоятельность этой темы, ее можно считать неотъемлемой составляющей задач ТГЦ.

Завершая обзор этого блока, необходимо отметить работы В.Я. Хасилева [19, 23, 32; и др.], связанные с обоснованием важности и эффективности применения методов математического моделирования и ЭВМ в практике реального проектирования и эксплуатации ТПС, а также синтезирующей роли ТГЦ в этом процессе. Сейчас (спустя почти полвека), в связи с массовым распространением и повсеместным применением компьютерной техники и методов компьютерного моделирования для ТПС, можно с удовлетворением констатировать дальновидность автора и упреждающий характер его работ.



П. 1. Квадратичные формы двухконтурной цепи в P-пространстве при встречных потоках в главном дереве ($H_1 < H_2$).



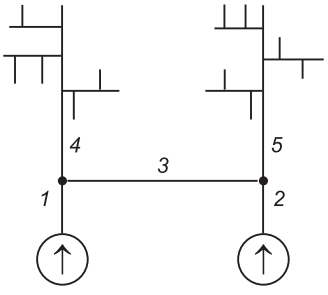


Схема параллельной работы двух ТЭЦ с перемычкой

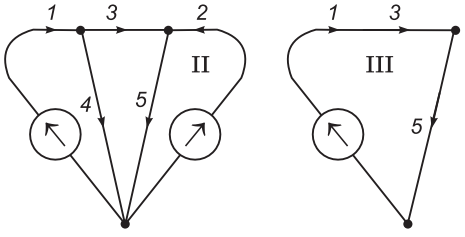


Схема трехконтурной гидравлической цепи

П. 2. Квадратичные формы трехконтурной гидравлической цепи.

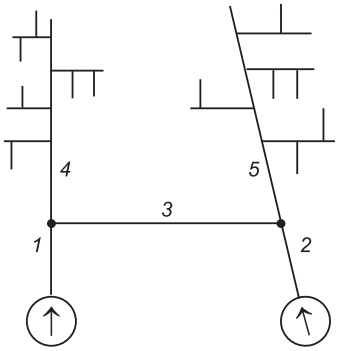


Схема параллельной работы двух ТЭЦ с перемычкой

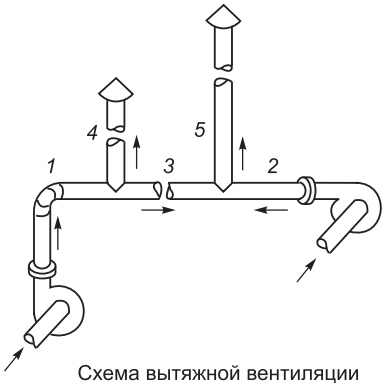
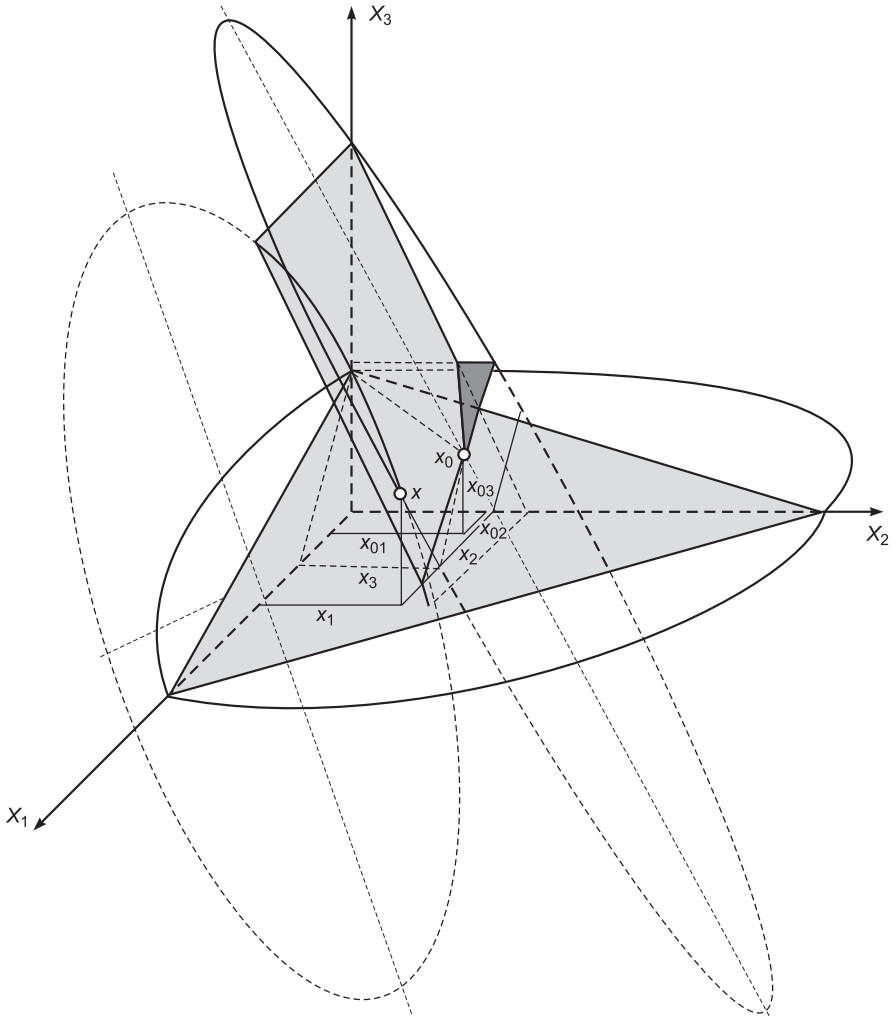


Схема вытяжной вентиляции



П. 3. Линеаризация трехконтурной цепи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отметим, что все труды В.Я. Хасилева, представленные в этом сборнике, полностью соответствуют первоисточникам, что относится и к подстраничным примечаниям по тексту. Исключения составляют только исправления очевидных опечаток, допущенных в оригиналах публикаций, а также примечания, относящиеся к указанию первоисточника той или иной работы. Основную работу по электронной верстке трудов В.Я. Хасилева (включая оцифровку, набор и форматирование текстов и формул, их сверку с оригиналами и т. д.) выполнили Л.Е. Сидлер, Н.С. Карымова и Т.Б. Ощепкова. Большую помощь в подборе и поиске оригиналов наиболее ранних статей оказал К.С. Светлов. Составители также выражают большую благодарность всем сотрудникам ИСЭМ, оказавшим помощь в подготовке материала этой части книги, в том числе иллюстративного (рисунков, графиков, номограмм и т. д.).

СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ В.Я. ХАСИЛЕВА

1. **Шифринсон Б.Л., Хасилев В.Я.** Рациональная трассировка теплопроводов // Строительная промышленность. – 1944. – № 2/3. – С. 21–24.
2. **Хасилев В.Я.** Анализ конфигурации несимметричных тепловых сетей и его применение к выбору мощности систем централизованного теплоснабжения // Изв. АН СССР. Отделение техн. наук. – 1945. – № 10/11. – С. 1105–1114.
3. **Хасилев В.Я.** Некоторые вопросы теплоснабжения городов // Изв. АН СССР. Отделение техн. наук. – 1947. – № 9.
4. **Хасилев В.Я.** Энергетическая эффективность параллельной работы однотипных ТЭЦ // Докл. АН СССР. – 1949. – Т. 68, № 2.
5. **Полисар Г.Л., Хасилев В.Я.** Задачи потокораспределения в сложных тепловых сетях и их решение на электрических моделях // Докл. АН СССР. – 1950. – Т. 74, № 2. – С. 243–246.
6. **Хасилев В.Я., Леонтьева Т.К.** Параллельная работа ТЭЦ в условиях независимого присоединения отопительных систем // За экономию топлива. – 1951. – № 11.
7. **Хасилев В.Я.** Температурный график смешанного регулирования параллельной работы теплоэлектроцентралей // Докл. АН СССР. – 1951. – Т. 78, № 2.
8. **Вейц В., Хасилев В.Я.** Загородные теплоэлектроцентрали в энергоснабжении городов // Изв. АН СССР. – 1951. – № 11. – С. 1650–1668.
9. **Хасилев В.Я.** Обобщенные зависимости для технико-экономических расчетов тепловых и других сетей // Теплоэнергетика. – 1957. – № 1. – С. 28–32.
10. **Хасилев В.Я.** Вопросы технико-экономического расчета тепловых сетей // Проектирование городских тепловых сетей. М.: Госэнергоиздат, 1958.
11. **Хасилев В.Я.** Гидравлический режим индивидуального регулирования в теплофицированных зданиях // Труды МИНХ им. Плеханова. – 1959. – Вып. 15, ч. II.

12. **Меренков А.П., Хасилев В.Я.** Расчет разветвленных тепловых сетей на основе их оптимизации с использованием ЭВМ // Изв. СО АН СССР. Сер. техн. наук. – 1963. – № 10. – Вып. 3. – С. 42–48.
13. **Хасилев В.Я.** Вопросы математического моделирования распределения потоков в сложных гидравлических системах // Методы математического моделирования и использования ЭВМ в энергетике: Тез. докл. науч. сессии СЭИ СО АН СССР и НТО ЭП. Иркутск: Иркут. кн. изд-во, 1963. – С. 93–94.
14. **Хасилев В.Я.** Элементы теории гидравлических цепей // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1964. – № 1. – С. 69–88.
15. **Хасилев В.Я.** Линейные и линеаризованные преобразования схем гидравлических цепей // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1964. – № 2. – С. 231–243.
16. **Хасилев В.Я., Светлов К.С., Скрипник В.Ф.** Математические модели сложных гидравлических цепей // Методы применения ЭВМ в энергетических расчетах / Под ред. Л.А. Мелентьева. – М.: Наука, 1964. – Гл. 10.
17. **Толмачева Н.И., Хасилев В.Я.** Типовая программа для расчета гидравлических цепей увязочным методом // Сб. программ для БЭСМ-2м / Под ред. А.П. Меренкова. – Иркутск; М.: СЭИ СО АН СССР – ВИНИТИ, 1964.
18. **Хасилев В.Я., Меренков А.П.** Методы математического моделирования для комплексной оптимизации разветвленных тепловых сетей // Методы применения ЭВМ в энергетических расчетах / Под ред. Л.А. Мелентьева. – М.: Наука, 1964. – Гл. 11. – С. 270–291.
19. **Математическое** моделирование сложных гидравлических систем с применением ЭВМ / Хасилев В.Я., Лиопо Т.Н., Меренков А.П., Светлов К.С., Скрипник В.Ф., Сумароков С.В., Такайшвили М.К., Толмачева Н.И. Комплексный отчет СЭИ СО АН СССР. – Иркутск, 1964.
20. **Хасилев В.Я., Меренков А.П.** Программа оптимизации диаметров и напоров разветвленных тепловых сетей // Сб. программ для БЭСМ-2м / Под ред. А.П. Меренкова. – Иркутск; М.: СЭИ СО АН СССР – ВИНИТИ, 1964. – С. 207–273.
21. **Толмачева Н.И., Хасилев В.Я.** Программа расчета многокольцевых гидравлических сетей увязочным методом. М.: ГИПРОТИС Госстроя СССР, 1965. – Вып. 1–4. – 21 с.
22. **Хасилев В.Я., Меренков А.П., Сумароков С.В.** О выборе диаметров труб разветвленных тепловых сетей с применением ЭВМ // Теплоэнергетика. – 1966. – № 6. – С. 60–65.
23. **Хасилев В.Я.** Вопросы математического моделирования и оптимизации гидравлических систем с применением ЭЦВМ // Методы математического моделирования в энергетике / Под ред. Л.А. Мелентьева, Л.С. Беляева. – Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1966. – С. 343–348.
24. **Хасилев В.Я.** Гравитационные гидравлические цепи с распределенными параметрами и методика их расчета // Там же. – С. 349–362.
25. **Хасилев В.Я.** Элементы теории гидравлических цепей: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Новосибирск: Секция техн. наук. Объед. УС СО АН СССР, 1966. – 98 с.

26. **Хасилев В.Я., Светлов К.С., Такайшвили М.К.** Метод контурных расходов для расчета гидравлических цепей. Иркутск; М.: СЭИ СО АН СССР – ВИНИТИ, 1968. – № 339-68 деп. – 110 с.
27. **Хасилев В.Я., Светлов К.С.** Расчет многокольцевых гидравлических систем методом контурных расходов (вариант с использованием метода Зейделя) // Библиотека программ для ЭЦВМ БЭСМ-2м. М.: ГИПРОТИС, 1968. – Вып. 1–76.
28. **Каганович Б.М., Хасилев В.Я.** Линейная модель оптимизации сложных тепловых сетей с учетом динамики их развития. Алгоритм на языке АЛГОЛ-60. – Иркутск; М.: СЭИ – ВИНИТИ АН СССР, 1968. – № 240-68 деп.
29. **Оптимизация** расширяемых и реконструируемых разветвленных тепловых сетей с несколькими источниками / Каганович Б.М., Меренков А.П., Ощепкова Т.Б., Хасилев В.Я. – Иркутск; М.: СЭИ – ВИНИТИ, 1969. – № 1037–69 деп. – 91 с.
30. **Динамика** гидравлических режимов открытых систем теплоснабжения с аккумулирующими емкостями / Хасилев В.Я., Меренков А.П., Каганович Б.М., Сумароков С.В., Ковылянский Я.А., Сластушенская М.Н. Совместный отчет СЭИ СО АН СССР и “УралТЭПа“. – Иркутск; Свердловск, 1969.
31. **Некрасова О.А., Сумароков С.В., Хасилев В.Я.** Выбор наивыгоднейшей трассировки трубопроводных сетей // Алгоритмы и программы. – Иркутск; М.: СЭИ – ВИНИТИ, 1970. – № 1488–70 деп. – 73 с.
32. **Меренков А.П., Светлов К.С., Хасилев В.Я.** Методы и средства для управления эксплуатацией и развитием трубопроводных систем // Оптимизация и управление в больших системах энергетики / Под ред. Л.А. Мелентьева, Л.С. Беляева. – Иркутск: СЭИ СО АН СССР, 1970. – Т. 2. – С. 60–80.
33. **А.С. № 283746 СССР.** Способ определения расходов и гидравлических сопротивлений в трубопроводных сетях и других гидравлических системах / А.П. Меренков, К.С. Светлов, В.Я. Хасилев: Заявл. 14.04.69; Опубл. 23.07.70 // Изобретения, открытия, промышленные образцы и товарные знаки. – 1970. – № 31.
34. **Некрасова О.А., Хасилев В.Я.** Оптимальное дерево трубопроводной сети // Экономика и математические методы. – 1970. – Т. 4, № 3. – С. 427–432.
35. **Каганович Б.М., Хасилев В.Я.** Методика расчета центрального регулирования при совместной работе источников // Теплоэнергетика. – 1970. – № 10. – С. 78–80.
36. **Выбор** параметров и схем промышленных тепловых сетей / В.Я. Хасилев, А.П. Меренков, О.А. Некрасова, Б.М. Каганович (Доклад на VI Междунар. конф. по вопросам промышленной энергетики. Болгария, г. Варна, 1969) // Энерготехник. – ГДР, г. Лейпциг. – 1970. – № 3.
37. **Методы** расчета аварийных режимов в сложных трубопроводных системах / В.Я. Хасилев, К.С. Светлов, М.К. Такайшвили, С.Ю. Баринова // Отчет СЭИ СО АН СССР–ВИНИТИ, 1971. № 1488–71. – Деп. в ВИНИТИ АН СССР.

38. **Меренков А.П., Хасилев В.Я.** О соотношении экстремального и алгебраического подходов при расчете гидравлической цепи: Материалы науч. конф. за 1969–1970 гг. – Иркутск: ИГУ, 1970. – Вып. 2. – С. 27–28.
39. **Математический** расходомер и его применение в тепловых сетях / А.П. Меренков, К.С. Светлов, В.Г. Сидлер, В.Я. Хасилев // Теплоэнергетика. – 1971. – № 1. – С. 70–72.
40. **Хасилев В.Я.** О применении математических методов при проектировании и эксплуатации трубопроводных систем // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1971. – № 2. – С. 18–27.
41. **Хасилев В.Я., Меренков А.П., Ощепкова Т.Б.** Метод узловых давлений для расчета гидравлических цепей: Научный отчет СЭИ СО АН СССР. – Иркутск, 1971. – 37 с.
42. **Основные** положения методики количественной оценки надежности и резервирования трубопроводных сетей / В.Я. Хасилев, А.П. Меренков, М.К. Такайшвили, Б.М. Каганович: Научный отчет СЭИ СО АН СССР. – Иркутск, 1971.
43. **Такайшвили М.К., Хасилев В.Я.** Об основах методики расчета надежности и резервирования тепловых сетей // Теплоэнергетика. – 1972. – № 4. – С. 14–19.
44. **Аварийное** резервирование и оптимизация с учетом надежности теплофикационной системы г. Новосибирска / В.Я. Хасилев, А.П. Меренков, Б.М. Каганович, О.И. Перепелицын // Совместный отчет СЭИ СО АН СССР и НОТЭП. – Иркутск; Новосибирск, 1972.
45. **Меренков А.П., Светлов К.С., Такайшвили М.К., Хасилев В.Я.** Об автоматизированных системах программ для расчета гидравлических режимов трубопроводных сетей // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1973. – № 3. – С. 126–131.
46. **Хасилев В.Я.** О методике оптимизации резервируемых систем водоснабжения с учетом критериев и параметров надежности // Проблемы надежности систем водоснабжения. – М.: МИСИ им. В.В. Куйбышева, 1973. – С. 16–29.
47. **Хасилев В.Я., Меренков А.П.** Вопросы методики расчета надежности и резервирования трубопроводных систем. – М.: Научный совет по комплексным проблемам энергетики при ОФТПЭ АН СССР, 1973. – 12 с.
48. **Хасилев В.Я., Каганович Б.М., Виноградов Н.А., Сеннова Е.В.** Об эффективности нагруженного резервирования в тепловых сетях // Теплоэнергетика. – 1974. – № 7. – С. 66–71.
49. **Хасилев В.Я., Каганович Б.М.** Вопросы оптимального проектирования тепловых сетей с учетом надежности // Пятидесятилетие теплофикации СССР. – Л.: НТОЭиЭН, 1974.
50. **Хасилев В.Я., Сумароков С.В., Такайшвили М.К.** Расчет аварийных гидравлических режимов в системах водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. – 1975. – № 10. – С. 7–10.
51. **Оптимальное** проектирование систем теплоснабжения с помощью дискретных методов и ЭВМ / А.П. Меренков, В.Я. Хасилев, Б.М. Каганович, Т.Б. Ощепкова // Докл. VIII Междунар. конф. по промышленной энергетике. – Польша. Гданьск, 1975. – 18 с.

52. **Меренков А.П., Хасилев В.Я., Храмов А.В.** О вычислительной системе для оптимального проектирования трубопроводных систем // Проблемы повышения эффективности БЭСМ-6. – Иркутск: ВЦ АН СССР–СЭИ СО АН СССР, 1975. – С. 185–191.
53. **Меренков А.П., Хасилев В.Я., Абрамова Х.Я., Сидлер Л.Е.** Методы и программы расчета гидравлических цепей с сосредоточенными, регулируемыми и распределенными параметрами // Труды IV Всесоюз. семинара по комплексам программ мат. физики / Под ред. Н.Н. Яненко. – Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1976. – С. 40–52.
54. **Хасилев В.Я., Меренков А.П., Каганович Б.М., Виноградов Н.А.** О проблеме надежности систем теплоснабжения с нагруженным резервированием // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1976. – № 1. – С. 146–153.
55. **Хасилев В.Я., Меренков А.П., Каганович Б.М., Светлов К.С., Такайшвили М.К.** Методы и алгоритмы расчета тепловых сетей / Под ред. В.Я. Хасилева, А.П. Меренкова. – М.: Энергия, 1978.
56. **Абрамова Х.Я., Меренков А.П., Хасилев В.Я.** Об анализе предельных режимов газоснабжающих систем при планировании топливоснабжения экономического района // Изв. АН Латв. ССР. Сер. физ. и техн. наук. – 1979. – № 2. – С. 86–93.
57. **Меренков А.П., Морев А.А., Хасилев В.Я.** Гидравлические цепи с регулируемыми параметрами и их применение для описания и расчета многониточных нефтепроводов // Системы энергетики – тенденции развития и методы управления. – Иркутск: СЭИ СО АН СССР, 1980. – Т. 1. – С. 193–204.
58. **Меренков А.П., Морев А.А., Хасилев В.Я.** Об эффективности нагруженного резервирования в многониточных системах нефтепроводов // Нефтяное хозяйство. – 1980. – № 6. – С. 48–52.
59. **Меренков А.П., Хасилев В.Я., Храмов А.В.** Основные положения оптимального синтеза многоконтурных систем // Математические методы оптимизации и их приложения в больших экономических и технических системах: Тез. докл. Всесоюз. семинара. – Баку. – М.: ЦЭМИ АН СССР, 1980. – С. 138–140.
60. **Меренков А.П., Ощепкова Т.Б., Сумароков С.В., Хасилев В.Я., Храмов А.В.** Оптимальный синтез многоконтурных систем с нагруженным резервированием // Системы энергетики – тенденции развития и методы управления. – Иркутск: СЭИ СО АН СССР, 1980. – Т. 1. – С. 180–192.
61. **Меренков А.П., Хасилев В.Я.** Теория гидравлических цепей. М.: Наука, 1985. – 278 с.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
Совет секции технических наук Объединенного ученого совета
по физико-математическим и техническим наукам

Кандидат технических наук
В.Я. ХАСИЛЕВ

На правах рукописи

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
доктора технических наук

Новосибирск
1966

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

p – число ветвей;

$q - 1$ – число независимых узлов;

k – число независимых контуров;

i – номера ветвей ($i = 1, 2, \ldots, p$);

j – номера узлов ($j = 1, 2, \ldots, q$);

c – номера независимых контуров ($c = 1, 2, \ldots, k$);

x_i – неизвестный расход жидкости в ветви;

Q_i, Q_j – известные (заданные) расходы в ветви и узле;

W_i – количество тепловой энергии, выделившееся при торможении потока в ветви;

h_i – напор между началом и концом ветви;

P_j, P_{j+1} – давление в начале и конце ветви;

H_i – действующий напор в активной ветви;

S_i – коэффициент гидравлического сопротивления ветви при одночленной зависимости между напором и расходом:

S_i', S_i'', S_i''' и т. д. – то же, при многочленной зависимости;

ρ – плотность жидкости;

t – температура жидкости;

t – индекс транспонирования (замены строк матрицы столбцами и наоборот);

E – единичная матрица.

Обозначения векторных и матричных величин в рукописи выполняются с помощью синей черты над обычными буквенными обозначениями. В тексте настоящего автореферата эти же величины показаны полужирным шрифтом. Например: **x, h, Q, H, S, A, B, Д, Ш** и т. д. Компоненты векторов и элементы матриц отмечаются индексами i, j и др.

Гидравлическая цепь – совокупность связанных между собой ветвей и узлов, отображающая схему движения потоков однофазной жидкости.

Известное соотношение $k = p - (q - 1)$ – цикломатическое число; число независимых граней односвязного многогранника (число Эйлера).

Расход – количество жидкости (в единицах массы, объема или веса), проходящей через поперечное сечение потока в единицу времени; эквивалент, осредненной по сечению, скорости жидкости; в терминах теории поля – поток вектора скорости; аналог силы электрического тока.

Напор – разность высот соответственных столбов жидкости; мера удельной кинетической энергии потока, превращаемой в тепловую; для несжимаемой жидкости – эквивалент потери давления; аналог напряжения в ветви электрической цепи.

Действующий напор – удельная кинетическая энергия, подводимая к жидкости в источнике питания или циркуляции (насосе, вентиляторе и пр.); измеряется в единицах напора; аналог ЭДС в электрических цепях.

Цикл – замкнутая последовательность ветвей (без стрелок), для ориентированных ветвей – контур.

Цикличная схема – в которой любая пара узлов может быть объединена циклом.

Дерево – схема без циклов, имеющая не менее двух узлов.

Хорды – ветви, удаление которых из схемы превращает ее в дерево.

Активные (пассивные) цепи – содержат (не содержат) ветви с источниками действующего напора.

Плоская схема – в которой каждая ветвь принадлежит не более чем двум независимым контурам.

Неплоская схема – содержит ветви, принадлежащие более чем двум независимым контурам.

Цепь с сосредоточенными параметрами – в которой параметры каждой i - й ветви (S_i и H_i) являются величинами постоянными, или зависящими только от состояния этой ветви.

Цепь с распределенными параметрами – в которой параметры отдельных ветвей (S_i и H_i) являются функциями состояния гидравлической цепи в целом.

* * *

Работа состоит из введения и шести следующих глав.

I. Известные методы расчета, их ограниченность и вычислительные возможности.

II. Алгебра гидравлических цепей с сосредоточенными параметрами.

III. Применение алгебры гидравлических цепей для сравнительного анализа методов расчета.

IV. Геометрические интерпретации гидравлических режимов и метод линеаризации квадратичных форм.

V. Линейные и линеаризованные преобразования схем (эквивалентирование гидравлических цепей).

VI. Гидравлические цепи и нелинейное программирование.

Введение

Во многих областях техники возникают задачи, связанные с расчетом и оптимизацией параметров различных гидравлических систем – со сложными схемами соединения, многими источниками питания, с потоками несжимаемой и сжимаемой жидкости, работающих изолированно и в условиях теплообмена с окружающей средой и т. д.

К ним относятся охладительные системы различных двигателей, а также ряд других агрегатов и устройств новой техники, многие сооружения в таких традиционных областях, как трубопроводные сети систем теплофикации, водоснабжения и газоснабжения, технологические продуктопроводы, установки водяного, парового и воздушного отопления, системы местной и общеобменной вентиляции и пр.

Большие масштабы строительства гидравлических систем, особенно распределительных трубопроводов средних и малых диаметров, на которые в стране расходуется большая часть веса всех труб, а также систематическое усложнение схем и режимов регулирования, делает актуальным проведение обоснованных, в том числе обоснованно упрощенных, расчетов в каждом конкретном случае. Трудно оценить, какую это даст экономию средств в целом. Можно лишь утверждать, что для многих дорогостоящих сооружений расчетная практика чаще всего ограничивается элементарны-

ми постановками задач. Несомненно поэтому, что точные и приближенные расчеты с помощью вычислительных машин, при их массовом применении, обеспечат существенный экономический эффект. Отсюда очевидна роль общей теории.

Здесь, как и во всех технических дисциплинах, теория всегда основывается на физическом эксперименте и математическом моделировании. Гидравлические цепи – это математические модели гидравлических систем. Точно так же, как электрические цепи – это математические модели больших и малых электрических систем.

Схема соединений гидравлической цепи, как модели, должна быть эквивалентна своему оригиналу – реальной гидравлической системе. Полное подобие наиболее общих геометрических (топологических) свойств для сложных систем не может быть соблюдено, и в этом нет практической надобности. Поэтому для гидравлических, как и для электрических, цепей важна, в частности, разработка методов эквивалентирования [см. гл. V и Л. 12][8].

Математическое описание гидравлической цепи как модели должно по возможности наиболее полно отражать физические процессы, протекающие в гидравлической системе, а также экономические закономерности, управляющие ее развитием и режимами работы. Поэтому, в силу физических законов, гидравлические цепи существенно нелинейны. Вместе с тем *для течений однофазной жидкости – это выпуклые цепи* в том смысле, что основные закономерности для каждой ветви представляются строго выпуклыми функциями. Именно это обстоятельство, а не только общность топологической структуры (ветви, узлы, контуры), сближает в теоретическом отношении нелинейные гидравлические и линейные электрические цепи.

Общность выпуклых гидравлических и линейных электрических цепей имеет различные проявления в вычислительных процедурах, наиболее четко отражается в обобщенной теореме Максвелла (см. гл. VI) и широко используется в настоящей работе. Требование к выпуклости автоматически ограничивает область приложения теории гидравлических цепей: такие цепи не моделируют систем с течениями парожидкостных и газожидкостных смесей, эмульсий, запыленных потоков газа и других двухфазных жидкостей. При этом основные характеристики движения однофазных ньютоновских жидкостей рассматриваются, как это свойственно гидравлике, только для осредненных по сечению потока скоростей и расходов.

В экономическом плане гидравлические системы являются элементами больших развивающихся систем. Например, системы теплофикации и централизованного теплоснабжения являются элементами общих энергетических систем. Соответственно гидравлические цепи являются элементами общих экономических моделей.

Актуальность создания единой теории гидравлических цепей, как самостоятельной области научных исследований и общей теоретической базы для ряда других технических дисциплин, определяется необходимос-

[8] Здесь и далее ссылки на литературу в конце автореферата. Прим. ред.

тью применения общих математических методов и четкой их дифференциации применительно к гидравлическим системам различного рода.

До настоящего времени теории различных гидравлических систем развивались независимо друг от друга и основывались на представлениях и возможностях ручного счета. Использование вычислительных машин, особенно цифровых ЭВМ, уже заметно изменило положение, и в последние годы в СССР и других странах ведутся и публикуются отдельные работы, в которых применяются некоторые общие расчетные методы. Среди них работы автора и его сотрудников в Сибирском энергетическом институте (СЭИ СО АН СССР).

Вместе с тем использование ЭВМ на практике находится еще в начальной стадии. Сама полезность их применения в этой области и возможность получения не только более быстрых, но и принципиально новых результатов многим высококвалифицированным инженерам еще представляется неясной. Наряду с недооценкой этих возможностей довольно часто встречаются явные преувеличения (особенно учитывая ограниченные параметры ЭВМ существующих типов, неразработанность ряда разделов математической и экономической теории и многое другое). Положение дополнительно осложняется публикациями некоторых “новых” методов расчета, преимущества которых остаются без серьезных доказательств, а их относительная новизна лишь в том, что в своей математической форме они мало известны широкому кругу инженеров – специалистов в области теплофикации, водоснабжения, отопления и пр.

Известно, например, что для решения систем нелинейных алгебраических уравнений существуют десятки, а для линейных систем – сотни вычислительных методов, включая их модификации. Многие из них и в различных сочетаниях в принципе могут быть использованы для гидравлических расчетов сложных систем. Этим, кстати говоря, объясняется ряд работ, публикуемых в технических журналах в последнее время. Однако для гидравлических систем разного типа и при различных формулировках задачи важно установить “предпочтительность” того или иного метода и их сочетаний с учетом требований к точности и скорости счета, параметров вычислительной машины и пр.

Наряду с методами прикладной математики, практическое использование которых возможно только с помощью ЭВМ, *ни в коем случае не следует пренебрегать преимуществами некоторых известных инженерных методов*, создавшихся 30 и даже 70 лет тому назад применительно к возможностям ручного счета, обладающим, соответственно, четкой вычислительной схемой и другими достоинствами, которые позволяют еще более успешно реализовать их на ЭВМ для многовариантных расчетов. При этом, однако, необходимо разобраться в математической сущности инженерных методов, что, как правило, до сих пор не делалось.

Очевидно, что для объективного отношения к указанным выше вопросам, для самостоятельного использования инженерами новых вычислительных средств, а также для их совместной работы с математиками по применению ЭВМ одной только общей математической подготовки совершенно недостаточно. Прежде всего *необходимо знание гидравлических сис-*

тем как предмета приложения математических методов и умения описывать его в математической форме. Такую возможность должна дать теория гидравлических цепей. Как "сквозная" научно-техническая дисциплина она объединит интересы ряда специальностей.

Следует подчеркнуть, что в недавнем прошлом построение общей теории гидравлических цепей, которые в силу их существенной нелинейности не отвечают принципу суперпозиции (наложения), было делом не только невозможным, но и практически бесполезным. Появление быстродействующих вычислительных средств меняет это положение коренным образом.

Применение цифровых ЭВМ, во-первых, в силу их универсальности, во-вторых, благодаря наличию автоматических средств для многократной корректировки промежуточных результатов и, в-третьих, в связи с возможностью выполнения не только арифметических, но и логических операций – позволит значительно расширить круг решаемых задач. Это может особенно проявиться в области проектирования, а в перспективе и при создании автоматических цифровых оптимизаторов для управления режимами сложных гидравлических систем.

Основываясь на закономерностях, общих для электрических и гидравлических цепей, ряде положений линейной алгебры, геометрических интерпретациях в многомерных пространствах, методах вычислительной математики и математического программирования (оптимального планирования), теория гидравлических систем должна: а) дать основу для математического описания гидравлических систем; б) выявить различный вычислительный подход к системам различного типа; в) предложить использование научно-обоснованных, в том числе новых, методов расчета и оптимизации, предполагающих использование цифровых ЭВМ. Отсутствие общей теории препятствовало выполнению на ЭВМ ряда важных расчетов. К ним относятся:

1) расчет потокораспределения в сложных, в том числе неплоских, гидравлических системах с наперед заданной в отношении расходов степенью точности;

2) расчет потокораспределения в сложных системах с течениями сжимаемой жидкости;

3) расчет гравитационных систем, работающих в условиях теплообмена с несвободной конвекцией однофазной жидкости по трубам и каналам;

4) расчет гидравлических систем, содержащих ветви с регулируемыми сопротивлениями, при аварийных режимах;

5) расчет переменных гидравлических режимов при дискретных возмущениях, связанных с отключением и включением отдельных ветвей (до сих пор это было возможно для простых схем с последовательно-параллельными соединениями);

6) эквивалентирование сложных гидравлических систем с целью упрощения их схем и уменьшения размерности задач;

7) оптимизация параметров новых, расширяемых и реконструируемых трубопроводных сетей при дискретном наборе технико-экономических нормативов и с учетом индивидуальных особенностей отдельных участков

и потребителей, выражаемых математически ограничениями в форме неравенств;

8) оптимизация схем и параметров сложных кольцевых трубопроводов со многими источниками питания.

Решению указанных восьми задач посвящена тема “Методы математического моделирования гидравлических систем”, разрабатываемая в СЭИ СО АН. Ряд методов уже реализованы сотрудниками в программах. По другим методам, в основном связанным с вычислительными алгоритмами для задач нелинейного программирования, работа продолжается. В настоящей работе для них излагаются новые математические формулировки.

Формирование теории гидравлических цепей, использующей опыт, накопленный в различных областях техники за последние 60–70 лет, является делом многих специалистов. Здесь же, в диссертации, излагаются новые элементы этой теории, как результаты личной работы автора.

* * *

В диссертации автор ставит своей целью сформулировать основные положения теории гидравлических цепей в математической форме, проанализировать области применения существующих методов, а также предложить новые методы и приемы расчета. Это относится к:

а) формулировке положений алгебры гидравлических цепей и ее использованию для выявления предпочтительности различных численных методов;

б) выявлению области применения методов нелинейного программирования для расчета и оптимизации гидравлических систем;

в) методу линеаризации квадратичных форм гидравлической цепи;

г) методу приближенного преобразования гидравлического треугольника в звезду, с целью эквивалентирования сложных цепей;

д) методике расчета гравитационных цепей с распределенными параметрами на примере систем водяного отопления;

е) методу оптимизации вновь проектируемых и расширяемых разветвленных трубопроводов на примере тепловых сетей и к другим вопросам.

Для теории цепей как технической, а не математической дисциплины, важно не только обобщать, но и различать методы решения задач по их технической и экономической сущности. Поэтому в настоящей работе гидравлические цепи различаются следующим образом: а) активные и пассивные; б) цепи с сосредоточенными и распределенными параметрами; в) цепи с плоской и неплоской схемой соединения.

Такая классификация отражает особенности отдельных гидравлических систем в различных областях, а также внутри каждой области. В работе показано, что она же определяет различный вычислительный подход, возможный и целесообразный в каждом конкретном случае.

Теоретические положения диссертации служили основой и вместе с тем проверялись и корректировались в вычислительной работе по расчету и оптимизации гидравлических систем на ЭВМ типа БЭСМ-2м, которая под руководством и при участии автора проводится коллективом сотрудников в СЭИ СО АН с 1961 года. Результаты, доведенные до стадии кон-

кретных вычислительных алгоритмов и программ, уже сегодня используются на практике. Вычислительные материалы этой коллективной работы, а также блок-схемы, программы и прочее, в настоящую диссертацию не включаются.

Результаты теоретической работы автора в области методов расчета гидравлических систем неоднократно докладывались и публиковались. В настоящее время они используются в ряде проектных организаций, лабораторий НИИ и кафедр вузов.

Глава I

ИЗВЕСТНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА, ИХ ОГРАНИЧЕННОСТЬ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

По-видимому, к числу первых в данной области следует отнести работы французских и русских горных инженеров по расчету рудничной вентиляции (Д. Мюрг, П. Пети, Л.А. Скочинский, Г.О. Чечотт, М.М. Протодьяконов и др.), а также работы русских, немецких и американских инженеров-гидравликов по расчету систем водоснабжения (В.Г. Шухов, И.И. Куколевский, Л.А. Сурин, М.С. Ясюкович, Ф.Е. Максименко, Д. Фримен, В. Блеес и др.). Дальнейшее развитие этой темы в работах русских, советских и иностранных авторов отражено в сотнях работ, публикуемых по различным специальностям с конца XIX века до настоящего времени.

В данной главе на материале около 200 работ рассматриваются известные и применяющиеся методы расчета гидравлических систем, и дается их характеристика с точки зрения общей теории. Анализируется несколько характерных научных направлений в методике расчетов, отличающихся между собой не столько областью приложения и некоторыми деталями, сколько своей математической сущностью. Это имеет целью:

• во-первых, показать общее состояние вопроса, подчеркнуть некоторые результаты, накопленные в различных областях, и их связь с основным содержанием настоящей работы;

• во-вторых, выяснить, в какой мере известные методы расчета могут (или не могут) сохранить свое значение при использовании ЭВМ.

Расчет схем с последовательно-параллельным соединением ветвей. Для многих систем особенно важны такие, наиболее простые схемы, при одном или реже нескольких, источниках (“тупиковые схемы”, “цепочечные схемы”). К методам их расчета относятся: а) метод “эквивалентных отверстий”; б) метод “перемещения единицы объема”; в) метод суммирования сопротивлений и проводимостей. В настоящей работе показано, что в алгебраическом отношении указанные методы эквивалентны и основаны на специальном свойстве матрицы соединений цепочечной схемы, которое позволяет путем элементарных преобразований, не меняющих ранга матрицы, свертывать ее к единичной строке. Это формальное свойство матрицы специального вида определяет линейную природу указанных методов.

Здесь имеет место изоморфизм групп преобразований – для линейных (электрических) и нелинейных (гидравлических) цепей. Указанные методы очень удобны не только для ручных, но и для машинных многовариант-

ных расчетов переменных режимов при дискретных возмущениях в цепи. Метод суммирования сопротивлений и проводимостей был реализован [10] на ЭВМ для анализа гидравлической устойчивости тепловых сетей при выборе диаметров труб, что необходимо при одновременном удовлетворении ряда экономических и эксплуатационных требований.

Новый метод приближенного преобразования треугольника в звезду расширяет возможность использования указанных линейных методов для более сложных схем [см. гл. V и Л. 12].

Графические методы. Этим методам посвящен большой цикл работ по расчету водопроводов, систем сбора конденсата и вентиляции. Построения в системе координат "напор–расходы" используются только для цепочечных схем. Для пассивных цепей с одним источником решение получается непосредственно. Для активных – построения воспроизводят ряд последовательных приближений. Ограниченные возможности графических методов для численных расчетов сложных систем очевидны. Однако они приносят большую пользу способностью показать на простых примерах качественный характер изменения гидравлических режимов. Другая группа построений в системе координат "напоры (высоты) – длины сети", так называемых "пьезометрических графиков" широко распространены в теплофикации для анализа статических и динамических режимов в двухтрубных водяных теплосетях. Важная иллюстративная роль этих графиков несомненна. По мере усложнения схем и режимов полезность таких построений явно снизилась; в сложных случаях (переменные режимы в кольцевых сетях с несколькими источниками) они вообще бесполезны.

В настоящей работе, где излагается алгебра гидравлических цепей, используются геометрические интерпретации в многомерном векторном пространстве. Поэтому указанные графические методы здесь не применяются.

Аналитические методы широко применялись для расчета цепей с сосредоточенными параметрами, особенно в области теплофикации и централизованного теплоснабжения. Для большинства работ характерно стремление получить некоторую формулу, чтобы варьировать входящими в нее величинами. Формулы, получаемые в результате громоздких, но простых по своему существу алгебраических преобразований выражают решение уравнения в радикалах и поэтому требовали приведения схемы к единичному контуру. В работе показано, что решение в радикалах в принципе возможно при условии, что цепь содержит не более двух независимых контуров. В более сложных случаях предпринимались такие упрощения схем, которые не могли иметь обоснования в смысле оценки допускаемой погрешности. Поэтому выводы могли быть лишь качественными и дополнялись соображениями, основанными на инженерном опыте.

Аналитические методы расчета гравитационных цепей. Гидравлические системы, работающие в условиях теплообмена с окружающей средой, при расположении теплообменников в различных горизонтальных плоскостях, следует рассматривать как гравитационные цепи, моделирующие несвободную конвекцию жидкости по трубам и каналам под действием сил тяжести. Одним из наиболее распространенных и наиболее простых типов таких систем являются системы водяного отопления многоэтажных

зданий. Однако и для них до сих пор не было общей методики, позволяющей организовать расчеты переменных режимов на ЭВМ. В нескольких работах советских авторов разрабатывалась аналитическая методика расчета, ориентированная на ручной счет, с характерным стремлением к получению расчетной формулы и т. д. При этом, однако, возникали особые вычислительные трудности, требовавшие ряд упрощений, которые приводили к неверным численным результатам. Особенно недопустимыми являлись упрощения самих схем соединения, которые рассматривались не более чем на два контура.

В работе показано, что трудности расчета, преодолимые только с помощью ЭВМ, заключаются не только в больших размерах задачи, но и в методике, согласно которой гравитационная система рассматривается как гидравлическая цепь с сосредоточенными параметрами, и с этой целью вводится специальный параметр (“гравитационный напор”, или “естественное давление”), имитирующий напор в обыкновенных гидравлических системах с изотермическим течением жидкости. Неприемлемость такой методики безусловна для сложных систем, которые не могут быть представлены цепочечной схемой, а также когда не только отвод, но и подвод тепла происходит на многих ветвях, и возникает неопределенность направлений потоков.

Показано, что сложные гравитационные цепи следует рассматривать как цепи с распределенными параметрами, для расчета которых предлагается использование экстремального принципа, сформулированного Максвеллом для электрических цепей, – принципа “наименьшего теплового действия”. При этом требуется минимизация некоторой потенциальной функции, а неполная система уравнений материального и теплового баланса, в которой число неизвестных намного превышает число уравнений, рассматривается как система ограничений (условий) в соответствующей задаче нелинейного программирования [см. гл. VI и Л. 16]. Такой подход реализуется только с помощью ЭВМ.

Методы последовательного приближения для расчета кольцевых трубопроводов. Отмечаются и анализируются два основных вычислительных подхода для расчета таких цепей с сосредоточенными параметрами, которые широко излагаются в литературе и используются на практике. Теоретического обоснования они, как правило, не имели.

Первый подход заключается в применении приближенных методов для решения систем уравнений, записываемых на основе законов Кирхгофа. Среди них метод Андрияшева–Лобачева–Кросса и его многочисленные модификации. Второй – основан на минимизации энергетического функционала, как разницы между тепловой энергией потоков и кинетической энергией, подведенной к жидкости в источниках питания. В главах III и VI, попутно с изложением элементов общей теории, выясняется математическая сущность и области применения этих, как и других, численных методов расчета.

Методы оптимизации трубопроводных сетей. Описывается состояние вопроса и отмечается развитие работ в этой области, начиная с XIX века и до настоящего времени. Анализ ограничивается разветвленными сетями,

так как методика оптимизации кольцевых трубопроводов в настоящей работе не излагается. Разъясняются преимущества дискретных методов, основанных на применении ЭВМ и заключающихся в основном в возможности учитывать индивидуальные особенности каждого участка новой и расширяемой сети. Эти возможности реализуются в методике, которая излагается в гл. VI.

Глава II
АЛГЕБРА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ С СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

В настоящей главе излагаются основы использования алгебры матриц и векторов для описания гидравлических цепей и методов их расчета. Алгебра цепей с сосредоточенными параметрами используется далее как основной язык теории в остальных разделах работы.

Вспомогательный инструмент матричной алгебры, изобретенный более 100 лет тому назад, получил широкое распространение в естествознании и технике. В близкой области электрических цепей матрицы и векторы успешно используются в силу линейности основных законов. В работах [11, 12; и др.] автором была сделана, по-видимому, первая попытка последовательного использования этого инструмента применительно к существенно нелинейным гидравлическим цепям. Основанием для этого служат: общность структуры электрических и гидравлических цепей; выпуклость определяющих функций; методы линеаризации; применение численных методов последовательного приближения с помощью ЭВМ. Практическая полезность применения компактного алгебраического языка доказывается всем содержанием настоящей работы и становится особенно ясной при анализе несходимости, или медленной сходимости, некоторых вычислительных процедур и выяснении необходимых мер для достижения устойчивой и быстрой сходимости.

Векторы гидравлической цепи. Рассматриваются многомерные векторные пространства с размерностями, определяемыми числом ветвей и числом независимых контуров: “P-пространство” и “K-пространство”. В указанных пространствах может быть произвольно выбрано p или k независимых единичных векторов, выполняющих роль единиц измерения вдоль каждой координатной оси.

Расход является скалярной величиной только по отношению к отдельной ветви и узлу, а напор и действующий напор – по отношению к отдельной ветви и контуру. Эти же величины удобно рассматривать как векторы **X**, **h** и **H** по отношению к гидравлической цепи в целом, схема соединений которой служит некоторой системой координат. Принято, что алгебраически векторы представляются столбцами. Поэтому в “P-пространстве” $\mathbf{x}_t = (x_1, x_2, \ldots, x_p)$, $\mathbf{h}_t = (h_1, h_2 \ldots, h_p)$ и $\mathbf{H}_t = (H_1, H_2 \ldots, H_p)$, а в “K-пространстве” $\mathbf{x}_t = (x_1, x_2 \ldots, x_k)$, $\mathbf{h}_t = (h_1, h_2 \ldots, h_k)$ и $\mathbf{H}_t = (H_1, H_2 \ldots, H_k)$. Компоненты этих векторов являются взаимосвязанными, их связи определяются особенностями схемы цепи и соотношениями между сосредоточенными параметрами ветвей. В установлении этих взаимосвязей заключается математическая сущность задачи распределения расходов и напоров (или

давлений). В задачу теории входит также установление правил перехода от одной системы координат к другой и взаимного преобразования векторов. Выбор системы координат определяется удобствами вычислений.

Геометрические интерпретации подобных преобразований, естественно, возможны для элементарных схем, состоящих не более чем из трех ветвей или трех контуров. Они наглядно показывают, что потокораспределение равносильно преобразованию вектора **H** в вектор **x** или переходу из одной точки пространства в другую. Сложность расчета, помимо нелинейных связей, определяется наличием угла между векторами **H** и **x**. Наиболее просты преобразования колинеарных векторов, что равносильно умножению одного из них на скаляр. Этим, в частности, объясняется простота методики расчета так называемой "пропорциональной разрегулировки" в системах теплоснабжения. Некоторые упрощенные методы, например с "разрывами" кольцевых сетей и превращения их в разветвленные, основаны на искусственном совмещении направлений указанных векторов.

Для линейных цепей как прямые $(\mathbf{x} \to \mathbf{h} \to \mathbf{H})$, так и обратные $(\mathbf{H} \to \mathbf{x} \to \mathbf{h})$ преобразования не требуют расширения поля рациональных чисел, выполняются конечными методами и равносильны в вычислительном отношении. Для нелинейных гидравлических цепей прямое преобразование идентично линейным, а обратное преобразование требует расширения поля иррациональными числами, бесконечной вычислительной процедуры, дающей приближенное решение с заданной точностью, и этим отличается от преобразований для линейных цепей.

Замыкающее уравнение. Свойства замыкающих уравнений для пассивных и активных ветвей с сосредоточенными параметрами

$$h_i = f_i(x_i) \text{ и } h_i + H_i = f_i(x_i)\ ,\ (i = 1,\ 2,\ ...,\ p),$$

определяются тем, что: $f_i(0) = 0$, $\dfrac{\partial^2 f}{\partial x_i^2} > 0$, $(x_i \geq 0)$ и, следовательно, $f_i(0) < f_i(x_1) < f_i(x_2)$ при $0 < x_1 < x_2$ и т. д. Наилучшее приближение к опытным данным дает аппроксимация полиномом. Требуемую точность всегда обеспечивает линейно-квадратичный двучлен вида $h = S'x + S''x^2$ и в большинстве случаев – квадратичный закон $\mathbf{h} = \mathbf{S}\mathbf{x}^2$. Использование линейных и квадратичных форм позволяет применить алгебру для математического описания гидравлических цепей, что наиболее целесообразно для теории и удобно при вычислениях на ЭВМ. Традиционное (с XIX века) использование трансцендентных функций вида $h = Sx^n$ $(n < 2)$, которые, кстати, дают более грубое приближение, оправдывалось преимуществами одночленных зависимостей при преобразованиях и получении формул, необходимых для ручного счета. В СЭИ коэффициенты S' и S'' для различных трубопроводов и различных требований к точности гидравлических расчетов были получены на ЭВМ обработкой известных численных данных методом наименьших квадратов.

Поскольку о направлении потоков можно судить по знаку напора, по совпадению направления ветвей с произвольно положительным направлением контуров, замыкающее уравнение должно быть представлено нечет-

ной функцией $f(x) = x|\varphi(x)|$, например, $h_i = x_i|S_i x_i|$, что позволяет выражать материальные балансы во всех узлах в линейных формах первого закона Кирхгофа $\sum_j x_i = 0$ ($x_i \gtrless^* 0$). При этом, однако, появляются "особые точки" ($x_i = 0$), нечетные функции оказываются невыпуклыми, а это нарушает монотонность вычислительных процессов, необходимую для оценки точности расчета по отношению к неизвестным расходам. В таких случаях необходима другая форма описания, которая исходит из ограниченности области существования функций в интервалах неотрицательных значений ($x_i \geq 0$; $f_i(x_i) \geq 0$). При этом направления потоков не связываются со знаками решений и должны определяться предварительно. Этим вопросам в работе уделяется особое внимание.

Замыкающее уравнение в виде вектор-функции в "P-пространстве" имеет вид:

$$\mathbf{h} + \mathbf{H} = \mathbf{f(x)}. \qquad (1)$$

Матрицы гидравлической цепи и преобразования векторов. Для компактного описания материальных балансов цикличной схемы используется матрица соединений $\mathbf{A} = \{a_{ij}\}$, ($a_{ij} = 0, +1, -1$). Ранг этой прямоугольной матрицы размеров $p(q-1)$ равен максимальному числу линейно независимых узлов (строк) или ветвей (столбцов). Материальный баланс жидкости в узлах цепи представляется матричным уравнением

$$\mathbf{Ax} = \mathbf{Q}, \qquad (2)$$

где $\mathbf{Q}$ – вектор известных расходов, заданных в узловых точках, включая нулевые расходы; скалярное произведение вектора-строки на вектор расхода дает материальный баланс в j-м узле.

Значение матрицы $\mathbf{A}$ помимо преобразования вектора расходов заключается в однозначном алгебраическом отображении геометрических свойств данной схемы; участие этой матрицы в преобразованиях, определяющих методику расчета, одновременно учитывает конкретные особенности схемы гидравлической цепи. Отыскание, например, наивыгоднейшей конфигурации трубопроводной сети равносильно вычислению всех элементов. Определение правильного направления потоков в заданной цепи равнозначно определению знаков ненулевых элементов. При оптимизации же параметров и структуры сети соблюдение условий (2), которые отнюдь не являются единственными, равносильно учету заданной конфигурации. В принципе возможна, конечно, и совместная оптимизация параметров и схем сети.

В последнее время выяснилась новая роль матрицы $\mathbf{A}$ при оптимизации сложных трубопроводных систем. Каждой схеме кольцевых трубопроводов отвечает множество вариантов разветвленных сетей – деревьев схемы. Оптимизация системы связана с вычислением экономических функционалов для деревьев и их перебором. Общее число деревьев определяет эффективность того или иного алгоритма перебора для машины данного типа. Нами показано, что это число совпадает с определителем произведе-

* Знак "больше" или "меньше". – Прим. ред.

ния матрицы соединений на транспонированную к ней. Вычисление det $(\mathbf{A}\cdot\mathbf{A}_t)$ выполняется на ЭВМ по стандартным программам.

Для преобразования вектора напоров используется матрица совпадений ветвей и независимых контуров

$$\mathbf{B} = \{b_{ic}\},\ (b_{ic} = 0,\ +1,\ -1).$$

Линейные комбинации ее строк отвечают различным системам независимых контуров. Уравнение второго закона Кирхгофа для единичного контура представляет скалярное произведение строки на вектор напора. Поэтому для цепи в целом имеем:

$$\mathbf{Bh} = \mathbf{0}. \tag{3}$$

Для использования замыкающего уравнения в преобразованиях вектора **x** в "P-пространстве" вводятся две диагональные матрицы: матрица сопротивлений **S** (аналог **Z** для линейных цепей постоянного тока) и матрица расходов **X**. Таким образом, для квадратичных цепей, в которых напоры ветвей отвечают формуле Дарси, замыкающее уравнение, с учетом правил матричного умножения, представится как

$$\mathbf{h} + \mathbf{H} = \mathbf{S}\cdot\mathbf{X}\cdot\mathbf{x}. \tag{4}$$

Умножая (4) слева на прямоугольную матрицу и учитывая (3), получим

$$\mathbf{B}\cdot\mathbf{S}\cdot\mathbf{X}\cdot\mathbf{x} = \mathbf{B}\cdot\mathbf{H}. \tag{5}$$

Из уравнений (2) и (5) формируется система линейных и нелинейных алгебраических уравнений цепи с сосредоточенными параметрами, которая имеет следующий вид:

$$\text{Д}_\text{x}\cdot\mathbf{x} = \boxed{\frac{\mathbf{Q}}{\mathbf{BH}}}, \tag{6}$$

где матрица Д_x p-го порядка:

$$\text{Д}_\text{x} = \boxed{\frac{\mathbf{A}}{\mathbf{BSX}}}. \tag{7}$$

Для линейной цепи $\mathbf{X} = \mathbf{E}$, поэтому в теории электрических цепей вместо (7) получают аналогично квадратную неособую матрицу постоянных коэффициентов

$$\text{Д} = \boxed{\frac{\mathbf{A}}{\mathbf{BS}}},$$

и ее обращением, или любым из конечных методов линейной алгебры вектор неизвестных расходов (токов) определяется как

$$\mathbf{x} = \text{Д}^{-1}\boxed{\frac{\mathbf{Q}}{\mathbf{BH}}}.$$

Очевидно, что для нелинейных цепей применением "неконечных" методов последовательных приближений достигается аналогичный результат с заданной точностью, а выпуклость гидравлических цепей, как показано

в работе, обеспечивает устойчивую сходимость вычислительного процесса. При этом для n-го приближения $\mathbf{X}^{(n)}$ и $\mathbf{Д}_{\text{х}}^{(n)}$ являются матрицами постоянных коэффициентов, полученных на предыдущем шаге, которые позволяют вычислить линейными методами приращение любого промежуточного вектора $\Delta\mathbf{x}^{(n)}$. Непосредственное использование такого алгоритма для вычислений вполне возможно, но оно, как правило, малоэффективно при высоких порядках расчетной матрицы $\mathbf{Д}_{\text{х}}^{(n)}$. Упрощение расчетов требует преобразования вектора к контурным или, в зависимости от постановки задачи, к узловым величинам.

Предварительно в работе показывается, какой технический смысл приобретают известные в алгебре "элементарные преобразования" матриц **A** и **B** (не меняющие их порядков и ранга) по отношению к схеме цепи. Особого вычислительного значения они не имеют, хотя отдельные линейные комбинации дают некоторое ускорение процесса, а масштабирование ненулевых коэффициентов позволяет приблизить порядки сопротивлений отдельных ветвей и предотвратить переполнение разрядной сетки ЭВМ в процессе счета. Вместе с тем эти преобразования представляют тот формальный язык, с помощью которого наиболее просто разъясняется эквивалентность ряда инженерных методов, а также некоторые запутанные положения в литературе. В частности, показывается обязательная необходимость устранения зависимых ветвей и приведения схемы цепи к базису не только при расчете на потокораспределение, но и при оптимизации параметров трубопроводной сети. Отсюда следует недопустимость обобщения выводов о несуществовании экстремальных решений, полученных на простейших схемах аналитическими методами.

Методика многократного преобразования векторов расхода к контурным величинам. Для систематического изложения теории и упорядочения информации, подлежащей переработке на ЭВМ, удобно, следуя теории электрических цепей, выделить ограниченное множество систем независимых контуров, обладающих тем свойством, что в каждом контуре имеется по меньшей мере одна ветвь (хорда), не принадлежащая никакому другому контуру (главные контуры). Такие системы:

- могут не совпадать с системами контуров-граней некоторых простейших плоских схем;
- должны не совпадать с ними для плоских схем, имеющих внутренние контуры-грани;
- могут быть всегда выделены для любых неплоских схем, у которых систем независимых контуров-граней вообще нет.

Указанное выделение равносильно разбиению множества ветвей на два подмножества – хорд и ветвей дерева; каждому варианту дерева отвечает единственная система главных контуров.

Соответственно производится разбиение матриц на подматрицы хорд ($\mathbf{A}_{\text{х}}$, $\mathbf{B}_{\text{х}}$, $\mathbf{S}_{\text{х}}$) и дерева ($\mathbf{A}_{\text{д}}$, $\mathbf{B}_{\text{д}}$, $\mathbf{S}_{\text{д}}$), а также вектора-столбца на вектор расхода в хордах $\mathbf{x}_{\text{х}} = \{x_i\}$ ($i = 1, \ldots, k$) и в дереве $\mathbf{x}_{\text{д}} = \{x_i\}$ ($i = k + 1, \ldots, p$). При этом $\mathbf{A}_{\text{д}}$ и $\mathbf{B}_{\text{х}}$ – квадратные неособые матрицы соответственно $(q - 1)$-го и k-го порядков. Очевидно также: $\mathbf{B}_{\text{х}} = \mathbf{E}$, что отвечает разложению вектора напора по направлениям составляющих базиса.

Исходными являются линейное преобразование материального баланса, позволяющее заменить расходы в p ветвях через k расходов в хордах:

$$\mathbf{x} = \mathbf{B}_t \cdot \mathbf{x}_x \text{[9]}, \tag{8}$$

а также взаимное преобразование расходов в хордах и ветвях дерева:

$$\mathbf{x}_д = (\mathbf{B}_д)_t \cdot \mathbf{x}_x. \tag{9}$$

Используя (5) и (8), получаем

$$\mathbf{B} \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{X}^k \cdot \mathbf{B}_t \cdot \mathbf{x} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{H}, \tag{10}$$

где $\mathbf{X}^k$ – диагональная матрица p-го порядка, элементы которой соответствуют преобразованным компонентам вектора $\mathbf{x}$, согласно (8). Уравнение (10) является матричной формой записи системы неоднородных алгебраических уравнений второй степени k-го порядка, как результат преобразования вектора расхода, исключающего $(q - 1)$ неизвестных.

Неизбежно возникает принципиальный вопрос о способе реализации этого преобразования в процессе счета на ЭВМ.

Первый способ заключается в однократном преобразовании системы координат, представлении исходной информации в виде матрицы коэффициентов системы уравнений (10) и обратном переходе к расходам в дереве по данным о расходах в хордах (согласно (9)) только в конце счета. Такая процедура в основных чертах совпадает с однократным использованием линейного преобразования Максвелла, известного в электротехнике под названием метода контурных токов.

Второй способ заключается в многократном преобразовании к контурным величинам и обратных преобразованиях вида (9) на каждом шаге последовательных приближений. В соответствии с приведенной в работе логической схемой, многократный "p–k переход" векторов расхода и напора, сочетаемый с линеаризацией и соблюдением материального баланса в узлах на каждом шаге итеративного процесса, позволяет выражать невязки функций и другую промежуточную информацию вида $S_i x_i^{(n)}$ и $S_i \left(x_i^{(n)}\right)^2$ [10] через характеристики отдельных ветвей без учета их взаимосвязей и этим самым обеспечить наиболее компактное хранение ненулевых элементов в запоминающих устройствах (ЗУ). В этом основное преимущество многократного преобразования.

Предпочтительность того или иного способа преобразования и вообще самого преобразования сравнительно с решением уравнений вида (6) определяется не только избранным численным методом решения систем нелинейных уравнений, но и параметрами машины – быстродействием ее арифметического устройства, соотношением емкости внутренней и внешней памяти, скоростью считывания и прочее, а также индивидуальными свойствами схемы цепи и степенью ее сложности. Выяснение этих, как и других вопросов требовало составления ряда опытных программ и боль-

[9] Предполагается, что схема цепи является замкнутой (без внешних притоков или отборов), либо сведена к такому виду введением фиктивных ветвей.

[10] n – индекс итерации.

шой серии вычислительных экспериментов, выполняющихся в СЭИ на БЭСМ-2м.

Вместе с тем необходимо сформулировать общие теоретические положения, которые должны учитываться при составлении стандартных программ. Заметим, что из p элементов одностолбцовой матрицы $\mathbf{B}_t \cdot \mathbf{x}$ и диагональной матрицы $\mathbf{X}^k$ только k элементов представляют собой компоненты вектора расхода, а остальные элементы столбца и диагонали являются линейными комбинациями этих компонент. Поэтому при выборе той или иной системы главных контуров в результате матричного произведения $\mathbf{X}^k \cdot \mathbf{B}_t \cdot \mathbf{x}_x$ в каждой строке уравнения (10) возникают попарные произведения неизвестных вида $S_{i1} \cdot x_{i2} \cdot x_{i3}$ (i_1, i_2, i_3 = 1, 2, ..., p). Появление попарных произведений при преобразовании координат является математическим выражением главной особенности нелинейных гидравлических цепей, как квадратичных, так и вообще выпуклых, не подчиняющихся принципу суперпозиции. Именно в них, а не в квадратичных членах, проявляется существенная нелинейность взаимосвязей отдельных ветвей, препятствующая, в частности, эквивалентированию схем соединения известными линейными методами, а также моделированию расходов жидкости измерениями мощности в линейных электрических цепях. Геометрические интерпретации, приведенные в гл. IV, разъясняют природу указанных нелинейных взаимосвязей. Здесь же отмечается, что с учетом неравенств $i_1 \neq i_2 \neq i_3$ кодировка ненулевых коэффициентов при попарных произведениях потребовала бы введения дополнительных признаков для каждой строки, что осложнило бы программу в целом. Кроме того, при этом вообще резко возрастает общее число ненулевых коэффициентов, которому здесь даются количественные оценки с помощью формул.

Вводя параметр n_i^c, представляющий кратность совпадений каждой i-й ветви дерева со смежными главными контурами, и предполагая, что в схеме имеется по меньшей мере один узел с числом ветвей не более трех, получим, что общее число ненулевых элементов в матрице $\mathbf{Д}_x$ порядка p составит

$$N^p = 2p + k + \sum_{i=1}^{p} n_i^c - 3 ,$$

а в матрице системы уравнений (10) k-го порядка

$$N^p = k + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{p}\left[\left(n_i^c\right)^3 - \left(n_i^c\right)^2\right] >> N^p .$$

Расчеты для отдельных схем показывают, что при "(p–k)-переходе", например при сокращении числа неизвестных вдвое, общее число ненулевых коэффициентов возрастает в два раза и более. Этим, в частности, объясняется, что при составлении программы, реализующей градиентный метод скорейшего спуска, требующего (в данном случае) минимизации функционала четвертой степени, пришлось из-за перегрузки попарными произведениями вообще отказаться от преобразования координат.

Метод Ньютона и в этом отношении, как и в отношении скорости счета, обладает важным достоинством, так как присущая ему линеаризация

на каждом шаге итераций естественно исключает попарные произведения неизвестных из всех строк расчетной матрицы. Поэтому реализация метода Ньютона в программах эффективно сочетается с преобразованиями к контурным величинам. При этом следует учесть, что первый способ однократного преобразования требует кодировки ненулевых коэффициентов вида $S_{i1}x_{i2}$ при $i_1 \neq i_2$, а второй способ многократного преобразования к контурным величинам оставляет только коэффициенты вида $S_i x_i$ ($i_1 = i_2$), что приводит к резкому сокращению кодируемой и хранимой в памяти информации.

Таким образом, при ограниченности объема оперативной памяти и сравнительно малой скорости обращения к внешним ЗУ, оптимальным является сочетание метода Ньютона с многократным преобразованием вектора и соблюдением материальных балансов на каждом шаге итерации.

Такое сочетание названо в СЭИ "***Методом контурных расходов***", который должен применяться в различных вариантах, в зависимости от принятого метода решения систем линейных уравнений на каждом шаге ньютоновского процесса. Замечательный и широко известный "увязочный метод" Андрияшева–Лобачева–Кросса (включая многие его модификации) является одним из вариантов "Метода контурных расходов", единственно возможным в условиях ручного счета, очень целесообразным в ряде случаев при использовании ЭВМ, но отнюдь не универсальным.

Глава III

ПРИМЕНЕНИЕ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА МЕТОДОВ РАСЧЕТА СИСТЕМ С ПЛОСКОЙ И НЕПЛОСКОЙ СХЕМОЙ

Расчет потокораспределения в гидравлической цепи с сосредоточенными параметрами в математическом отношении не представляет особых трудностей, особенно при использовании ЭВМ. В арсенале вычислительной математики за последние два столетия накоплено достаточное количество методов решения систем нелинейных уравнений, множество модификаций этих методов, исследований сходимости тех или иных процессов и их устойчивости. Поэтому в настоящее время требуется лишь разумное и дифференцированное использование известных уже математических методов применительно к разнообразным постановкам в расчете гидравлических систем и различным параметрам вычислительных машин.

Известные постановки задач, по ряду причин исторического характера, в значительной мере относятся к плоским схемам и главным образом для пассивных цепей. Вместе с тем именно неплоские схемы, в том числе для цепей, содержащих некоторые активные ветви, представляют на практике наибольший интерес с точки зрения их расчетов на ЭВМ.

В последние годы все более актуальным становится кольцевание систем городского теплоснабжения по мере увеличения мощности и дальности передачи тепла. При этом кольцевые двухтрубные водяные теплосети с неавтоматизированными потребителями являются преимущественно неплоскими. При некоторых аварийных режимах неплоскими оказываются сети с автоматизированными системами отопления. Наличие насосных

подстанций, а также режимы совместной (параллельной) работы нескольких источников делают одновременно такие цепи активными.

Системы естественного воздухообмена в многоэтажных зданиях в последние годы в результате работ НИИ санитарной техники и ЦНИИЭП жилища рассматриваются как сложные гидравлические системы с сосредоточенными параметрами. В СЭИ они рассчитываются на ЭВМ как пассивные цепи с неплоской схемой. Причем если в такую систему включаются вентиляторы для местных вытяжек, то цепи становятся активными.

Кольцевые водопроводные и газовые сети, если они не содержат некоторых перемычек (лупингов), являются, естественно, плоскими. Но только при сохранении традиционной постановки расчета расходов и давлений в сети, когда расходы в узлах потребления заданы. Многие известные методики предназначались именно для такой формулировки задачи. На практике же при использовании ЭВМ возникает и другая постановка, когда нужно многократно оценивать величину расхода, которую не должны, а могут получить потребители, при том или ином состоянии сети, в том числе при аварийных режимах. В этих случаях схема сети автоматически превращается в неплоскую.

До сих пор в литературе по гидравлическим системам не было четкого выделения особенностей расчетов плоских и неплоских схем на цифровых ЭВМ численными методами. Нет ясности, существуют ли вообще такие особенности. Можно встретиться даже с отождествлением неплоских и пространственных схем, хотя некоторые пространственные схемы являются псевдонеплоскими, и с помощью проективных преобразований они превращаются в плоские.

Заметим, что своеобразные особенности неплоских схем (не поддающихся дуализации) применительно к аналоговому моделированию уже давно выяснены в работах ЛПИ[11] и ленинградской лаборатории ЭНИНа[12]. Они проявляются при использовании электрических моделей с нелинейными элементами в виде электронных ламп, имеющих обратные (в смысле выпуклости) вольтамперные характеристики.

При расчетах на цифровых машинах эти особенности имеют другой смысл и проявляются только при использовании покомпонентной релаксации (покоординатного спуска). Причем здесь имеется одна тонкость, связанная с нелинейностью цепей, которая препятствует выяснению особенностей неплоских схем с помощью одних только массовых расчетов. Поскольку они зависят от случайного сочетания параметров цепи, произвольного выбора систем независимых контуров и начального приближения, здесь требуется теоретический анализ.

В настоящей главе исследуется применение различных вычислительных методов и показывается их математическая сущность. Это позволяет:

а) разъяснить особенности различных гидравлических цепей с вычислительной точки зрения;

---

[11] Ленинградский политехнический институт.

[12] Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского.

б) объяснить неоднократно отмечавшиеся, но не имевшие объяснения, случаи несходимости или медленной сходимости;

в) указать пути достижения быстрой сходимости;

г) оценить роль близкого начального приближения.

Рассматривается в общем случае активная гидравлическая цепь с заданными параметрами **S** и **H**, вектором узловых расходов **Q** и матрицей соединения **A**. Выбрав вариант дерева, имеем: $\mathbf{B} = \boxed{\mathbf{E} \mid \mathbf{B}_д}$. В процессе приближений на каждом шаге вычисляются приращения расходов в хордах $\Delta\mathbf{x}_x^{(n+1)} = \mathbf{x}_x^{(n)} - \mathbf{x}_x^{(n+1)}$ и по ним, согласно (9), приращения в дереве

$$\Delta\mathbf{x}_д^{(n+1)} = (\mathbf{B}_д)_t \, \Delta\mathbf{x}_x^{(n+1)}, \qquad (9')$$

что равносильно сохранению материальных балансов.

Дальнейший анализ производится на базе использования классического метода Ньютона, который в силу присущей ему многократной линеаризации систем уравнений является по отношению к нелинейным цепям в известном смысле эталонным. Таким образом, вектор приращений в p ветвях для $(n + 1)$-го приближения при решении систем уравнений (6) представляется как

$$\Delta\mathbf{x}^{(n+1)} = \boxed{\frac{\Delta\mathbf{x}_д}{\Delta\mathbf{x}_x}}^{(n+1)} = \left[\mathbf{W}^{(n)}\right]^{-1} \mathbf{f}^{(n)},$$

где матрица частных производных

$$\mathbf{W}^{(n)} = \begin{Bmatrix} \dfrac{\partial f_{ji}^{(n)}}{\partial x_i} \\ \dfrac{\partial f_{ci}^{(n)}}{\partial x_i} \end{Bmatrix}, \quad \begin{matrix} (i = 1, 2, \ldots, p), \\ (c = 1, 2, \ldots, k), \\ (j = k+1, \ldots, p), \end{matrix}$$

а $\mathbf{f}^{(n)}$ – вектор невязок функций на предыдущем шаге, который (что важно) при неизменном соблюдении материальных балансов имеет $q - 1$ нулевых компонент.

Специальная структура матрицы $\mathbf{W}^{(n)}$ определяется свойствами циклической схемы. Используя эти свойства и принятое за основу разбиение ветвей на хорды и дерево, систему линейных уравнений, решаемую на каждом шаге, можно представить в виде следующего векторного уравнения:

$$\left(\mathbf{S}_x \mathbf{X}_x^{(n)}\right) \Delta\mathbf{x}_x^{(n+1)} + \mathbf{B}_д \left(\mathbf{S}_д \mathbf{X}_д^{(n)}\right) \Delta\mathbf{x}_д^{(n+1)} = \frac{1}{2} \mathbf{f}_x^{(n)}, \qquad (11)$$

где $\mathbf{f}_x^{(n)}$ – столбец ненулевых невязок напоров в контурах.

С помощью преобразований материального баланса вида (9′) вектор приращений в хордах уединяется в одном неоднородном уравнении

$$\mathbf{M}^{(n)} \Delta\mathbf{x}_x^{(n+1)} = \frac{1}{2} \mathbf{f}_x^{(n)} \qquad (12)$$

и вычисляется в каждом шаге как

$$\Delta\mathbf{x}_x^{(n+1)} = \frac{1}{2} \left[\mathbf{M}^{(n)}\right]^{-1} \mathbf{f}_x^{(n)}.$$

В сочетании уравнений (9′) и (12) заключается сущность вычислительной процедуры метода контурных расходов, а тот или иной способ решения системы линейных уравнений, заменяющий обращение матрицы $\mathbf{M}^{(n)}$, дает тот или иной вариант этого метода.

Отсюда же с очевидностью следует преемственная связь этого метода с методом контурных токов – методом Максвелла. Основная идея и математическая сущность метода контурных токов как раз и заключается в уединении вектора токов в хордах электрической цепи. Для линейных цепей такое преобразование выполняется однократно. Для нелинейных (выпуклых) цепей это же преобразование векторов с переходом из “Р-пространства” в “К-пространство” и обратно выполняется многократно, на каждом шаге ньютоновского процесса. В результате можно сказать, что метод контурных расходов представляет одну из форм применения метода Ньютона (как и любых его модификаций) к решению системы уравнений цепи с сосредоточенными параметрами, записываемой на основе метода Максвелла.

Далее исследуются свойства квадратной и неособой матрицы (матрицы Максвелла) порядка k, с точки зрения сходимости различных вычислительных процессов и возможностей применения методов покомпонентной релаксации, или так называемого покоординатного спуска. Эти методы предлагают последовательное сведение к нулю наибольшей из невязок напора в контурах и одновременно возможность уединять на каждом шаге не только вектор расхода в целом, но и отдельные его компоненты. Применение релаксационных методов весьма желательно, особенно для ручных расчетов относительно несложных схем, а также при использовании ЭВМ с ограниченными параметрами. Как это следует из выкладок, которые здесь опускаются, матрица преобразований к контурным величинам может быть представлена суммой диагональной и симметричной матриц

$$\mathbf{M}^{(n)} = \mathbf{S}_{\text{х}}\mathbf{X}_{\text{х}}^{(n)} + \mathbf{B}_{\text{д}}\left(\mathbf{S}_{\text{д}}\mathbf{X}_{\text{д}}^{(n)}\right)\left(\mathbf{B}_{\text{д}}\right)_{\text{t}}$$

или иначе:

$$\mathbf{M}^{(n)} = \mathbf{B}\left(\mathbf{S}\mathbf{X}^{(n)}\right)\mathbf{B}_{\text{t}}. \qquad (13)$$

Из (13) следуют общие свойства матрицы $\mathbf{M}^{(n)}$, относящиеся к плоской и неплоской схемам:

а) она всегда симметрична, так как умножение диагональной матрицы слева и справа на прямоугольную и транспонированную всегда дает симметричную матрицу;

б) по ее диагонали располагаются суммы неотрицательных элементов, независимо от направлений потоков и знаков в матрице $\mathbf{B}$, так как для любого c-го контура $b_{ic}b_{ci} \geq \mathbf{0}$;

в) она является положительно определенной, и отвечающая ей квадратичная форма

$$\left(\Delta\mathbf{x}^{(n+1)}\right)_{\text{t}}\mathbf{M}^{(n)}\Delta\mathbf{x}^{(n+1)} > 0, \quad \Delta\mathbf{x}_i > 0,$$

так как любому возможному отрицательному недиагональному элементу в этой матрице отвечает равный по модулю положительный элемент, расположенный среди слагаемых диагонали в той же строке (столбце), и в ре-

зультате каждому отрицательному удвоенному попарному произведению отвечает соответственная сумма квадратов;

г) в каждом диагональном элементе суммируются произведения $\left|S_i x_i^{(n)}\right|$ по всем ветвям, входящим в данный *c*-й контур, включая хорду и ветви дерева; недиагональные же элементы в каждой *c*-й строке (столбце) состоят из коэффициентов $S_i x_i^{(n)}$, относящихся только к ветвям дерева.

Квадратичная форма нашей матрицы представляется как

$$F^{(n)} = \sum_{i=1}^{p} \left|S_i x_i^{(n)}\right| \left(\Delta x_i^{(n+1)}\right)^2 > 0.$$

Отсюда нетрудно видеть, что $F^{(n)} = \Delta W^{(n+1)}$, т. е. что *квадратичная форма матрицы многократного преобразования* $\mathbf{M}^{(n)}$ *для каждого шага последовательных приближений численно равна изменению энергии в гидравлической системе*. Из обобщенной теоремы Максвелла (см. гл. VI) следует, что для выпуклых и пассивных цепей истинное потокораспределение, характеризуемое вектором $\mathbf{x}$, при одновременном удовлетворении условий материального баланса, отвечает нулевому минимуму изменения энергии системы, т. е. $\lim\limits_{\Delta x \to 0} W^{(n+1)} = 0$ и при $\mathbf{x} = \mathbf{x}^* \to \Delta W = 0$.

С учетом предыдущего $\lim\limits_{n\to\infty} F^{(n)} = 0$, откуда $\lim\limits_{n\to\infty} \Delta x_i^{(n)} = 0$ и $\lim\limits_{n\to\infty} \left|\mathbf{x} - \mathbf{x}^*\right| = 0$. Следовательно, для пассивных цепей основной вычислительный процесс является, безусловно, сходящимся. Однако процедура метода контурных расходов существенно усиливает этот вывод и распространяет его и на активные цепи, так как с его помощью условия материального баланса на каждом шаге соблюдаются автоматически, путем подправок преобразованиями вида (9′).

Общность метода контурных расходов для пассивных и активных цепей, как нам представляется, имеет важное значение. Предлагавшиеся неоднократно методы, основанные на простой минимизации энергетического функционала (на поиске его абсолютного минимума) любыми способами в принципе действительны только для пассивных цепей. Заметим попутно, что П. Дюбен (Международный конгресс по водоснабжению, Стокгольм, 1964) неправ, отказывая увязочному методу Кросса в сходимости для водопроводных сетей с несколькими резервуарами, поскольку и этот вариант метода контурных расходов действителен для активных цепей.

Из отмеченных свойств “а” и “в” заключаем, что независимо от вида схемы – плоской или неплоской матрица $\mathbf{M}^{(n)}$ является нормальной (т. е. симметричной и положительно определенной). Этим обосновывается принципиальная возможность применить релаксационный метод для решения систем уравнений общего вида (12) при переходе от *n*-го к $(n + 1)$-му шагу основного ньютоновского процесса.

Покомпонентная релаксация сама по себе требует множества итераций. Однако нет обязательной необходимости каждое решение линейной системы доводить до конца. Достаточно сделать только *первый шаг*, и если он будет сделан *в правильном направлении* к общему решению, то при

устойчивой сходимости основного процесса искомое решение с заданной точностью будет достигнуто.

В наложении релаксационного процесса на основной ньютоновский процесс заключается математическая сущность известного увязочного метода и всех его модификаций. Достаточно все недиагональные элементы матрицы $\mathbf{M}^{(n)}$ заменить нулями, как этого требует метод простых (обычных) итераций, и простейшим обращением полученной таким образом диагональной матрицы $\mathbf{d}^{(n)} \approx \mathbf{M}^{(n)}$ можно автоматически получить набор известных формул Андрияшева–Лобачева–Кросса для "увязочных расходов" во всех независимых контурах, например для пассивной квадратичной цепи

$$\Delta x_c = \frac{\sum_c S_i x_i^2}{2\sum_c |S_i x_i|}, \quad (c = 1, \ldots, k).$$

Следующая операция так называемой "проводки" увязочных расходов по всем ветвям в точности совпадает с выполнением матричного умножения (9′).

В этой простоте алгоритма, имевшей решающее значение для ручных расчетов, основное достоинство увязочного метода. При этом следует учитывать, что поскольку на каждом шаге основного процесса делается только один шаг простых итераций, *решение линейной системы* по сравнению с любым точным методом (Гаусса и др.) *получается грубо приближенным*. В результате происходит очень сильное торможение основного ньютоновского процесса. В некоторых случаях это приводит к очень медленной сходимости, а для неплоских схем (см. ниже) сходимость вообще может быть нарушена.

В ряде известных математических работ (Зейдель, Островский и др.) давно установлено, что сходимость и скорость релаксационных процессов зависит от преобладания и степени преобладания, абсолютных величин диагональных элементов патрицы над суммой недиагональных элементов в соответственных строках (столбцах). Из отмеченного же выше свойства "г" матрицы $\mathbf{M}^{(n)}$ следует, что диагональный элемент выражается как

$$\sum_c \left|S_i x_i^{(n)}\right| = S_c x_c + \sum_{i \neq c} \left|S_i x_i^{(n)}\right|,$$

где первое слагаемое относится к хорде, а второе к ветвям дерева. Отсюда следуют выводы.

1. ***Для плоской схемы*** каждая ветвь дерева принадлежит не более чем двум контурам и, следовательно, ее коэффициент $\left|S_i x_i^{(n)}\right|$ входит не более одного раза под знаком суммы $\sum_{i \neq c}$. Поэтому $\sum_c \left|S_i x_i^{(n)}\right| > \sum_{i \neq c} \left|S_i x_i^{(n)}\right|$, т. е. диагональные элементы всегда преобладают над суммой недиагональных. Хотя это преобладание может быть и не большим не только в зависимости от коэффициентов сопротивления (как для линейной цепи), но и от начального и промежуточных значений расходов, меняющихся в процессе итера-

ций, а также от линейной комбинации строк в матрице, т. е. от произвольно выбранной системы контуров.

2. ***Для неплоской схемы*** в некоторых контурах содержатся ветви дерева, принадлежащие трем смежным контурам и более. Поэтому коэффициенты $\left|S_i x_i^{(n)}\right|$ среди ветвей дерева уже не всегда компенсируются аналогичными коэффициентами под знаком суммы диагонального элемента $\sum_c$. В общем случае сумма модулей недиагональных элементов в некотором *c*-м контуре представляется как

$$\sum_{i \neq c} \left|S_i x_i^{(n)}\right| = (n-1)\left[\sum_c \left|S_i x_i^{(n)}\right| - S_c x_c^{(n)}\right], \text{ где } n \geq 3.$$

Таким образом, в зависимости от случайного соотношения между коэффициентами $S_i x_i^{(n)}$ в хорде и ветвях дерева, меняющегося в течение всего итеративного процесса, имеем:

$$\sum_c \left|S_i x_i^{(n)}\right| \gtrless \sum_{i \neq c} \left|S_i x_i^{(n)}\right|.$$

Другими словами, в отличие от плоской схемы, *диагональные элементы могут преобладать, а могут и не преобладать над недиагональными*. В обоих случаях как для плоских, так и неплоских схем может иметь место слабое преобладание.

Изложенные здесь элементы теории, изучающие свойства матрицы преобразований, являются надежным инструментом для выбора оптимального сочетания численных методов.

Отметим, что преобладание диагональных элементов в сочетании со свойствами “а” и “в” матрицы $\mathbf{M}^{(n)}$ (см. выше) является достаточным условием сходимости метода простых итераций при решении линейных систем (12). Отсюда следует сходимость увязочного метода для плоских схем, поскольку этот метод исходит из того, что $\mathbf{M}^{(n)} \approx \mathbf{d}^{(n)}$.

Слабое преобладание диагональных элементов разъясняет случаи медленной сходимости для плоских и неплоских схем.

Известно, что достаточным условием сходимости релаксационного метода Зейделя является нормальная матрица системы линейных уравнений, т. е. соблюдение свойств “а” и “в”. При этом преобладание диагональных элементов не является обязательным. Отсюда следует возможность создания второго варианта метода контурных расходов, гарантирующего сходимость как для плоских, так и неплоских схем.

В основе этого варианта, естественно, сохраняется метод Ньютона и многократное преобразование к контурным расходам. Вместе с тем процедура метода в значительной мере определяется известными особенностями циклического процесса Зейделя, используемого для каждого первого шага решения линейной системы. Реализация метода заключается в последовательном выполнении следующих операций:

• по данным о расходах предыдущего шага (или начального приближения) вычисляется невязка напора в одном (первом) контуре;

• вычисляется новый расход в первой хорде;

• по данным предыдущего шага, с учетом нового расхода в первой хорде, вычисляется расход в ветви дерева, принадлежащей первому и второму контуру;

• с учетом новых расходов в ветвях первого контура, вычисляется невязка напоров во втором контуре.

Далее последовательно вычисляются:

• расход во второй хорде;

• расход в ветви дерева, принадлежащей второму и третьему контуру;

• невязка напоров в третьем контуре;

• расход в третьей хорде

и т. д. по всем независимым контурам. После этого переходят к следующему шагу и цикл повторяется. Таким образом, для этой процедуры характерен последовательный переход от одного контура к другому с использованием не только результатов предыдущего шага, но и новых результатов, полученных при обработке предыдущих контуров на данном шаге. Такая последовательная схема отличает этот вариант метода от увязочного, для которого характерна параллельная схема вычислений – для всех контуров на каждом шаге.

Данный метод был реализован в программе для БЭСМ-2м (до 399 ветвей) и используется в СЭИ для расчетов сложных систем воздухообмена в многоэтажных зданиях, а также неплоских трубопроводных систем. Общая длительность счета по сравнению с увязочным методом (программа на 830 ветвей) несколько возрастает, но устойчивая сходимость гарантируется.

Ускорение сходимости при использовании ЭВМ еще более важно, чем для ручных расчетов, которые выполнялись на один-два варианта параметров сети при грубом упрощении их схем.

В настоящее время расчеты потокораспределения на ЭВМ могут иметь важное значение, если они являются элементом комплексной оптимизации гидравлических систем, требующей многовариантных расчетов. При этом необходимо многократное обращение к подпрограмме, выполняющей распределение расходов и давлений для очень большого числа вариантов.

Известные примеры ускорения, использовавшиеся для ручных расчетов, не могут решить этой задачи. В работе эти приемы кратко проанализированы, а модификация метода Ньютона, предложенная Л. Выханду и заключающаяся в использовании членов разложения не только первой, но и второй степени малости, применялась во всех программах.

Радикального уменьшения числа итераций можно достигнуть при использовании ЭВМ, если на каждом шаге ньютоновского процесса решать систему линейных уравнений (12) до конца любым из известных точных методов, эквивалентным вычислению элементов обратной матрицы $\left[\mathbf{M}^{(n)}\right]^{-1}$.

Таким образом, возникает вычислительная схема третьего варианта метода контурных расходов.

Подобная схема реализовалась в экспериментальных программах для БЭСМ-2м. Для блока (12) применялись стандартные программы решения систем линейных уравнений до 43-го и 58-го порядков (число контуров) по методу Гаусса и с использованием схемы единственного деления симметричной матрицы, а также программа, составленная по методу окаймления матрицы. При использовании машины типа БЭСМ-3м с очень большой емкостью быстродействующих ЗУ, число независимых контуров в схеме может быть 200 и более, при практически неограниченном числе ветвей. Расчеты на ЭВМ показывают, что по сравнению с увязочным методом число итераций сжимается в 10–15 раз. Достоинства этой вычислительной схемы заключаются в независимости числа итераций от избранной системы контуров, устойчивой сходимости для плоских и неплоских схем, а также пассивных и активных цепей. Ее значение возрастает по мере повышения параметров ЭВМ общего пользования, особенно быстродействия арифметических устройств.

В заключение отмечается важная роль близкого начального приближения и необходимость формулировки четкого алгоритма для его выбора. Сам алгоритм должен удовлетворять следующим требованиям:

а) исходить из основных физических и геометрических свойств гидравлической цепи;

б) удобно вписываться в общую вычислительную схему;

в) самостоятельно давать точный ответ о направлениях потоков во всех ветвях цепи.

Помимо очевидных преимуществ близкого начального приближения, с точки зрения ускорения сходимости, следует отметить его значение для возможности оценки результатов с заданной точностью. Для большинства задач точность расчета может быть небольшой, но она должна быть известна. В ряде областей известные методики пренебрегают этим тривиальным фактом. В работе подчеркивается, что в зависимости от конкретных постановок и требований, возникающих в различных областях техники, следует пользоваться различными оценками погрешностей: в отношении невязок напоров в контурах $\xi_c = \dfrac{\Delta f_c^{(n+1)}}{f_c^{(n)}}$ и расходов в ветвях $\xi_i = \dfrac{\Delta x_i^{(n+1)}}{x_i^{(n)}}$. Между ними нет прямой линейной связи, которая позволяла бы по невязкам напоров или давлений в узлах судить о точности расчета в отношении расходов, для линейной цепи вектор погрешностей определяется простым линейным преобразованием вектора невязок напора в контурах, как

$$\Delta \mathbf{x} = \text{Д}^{-1}\Delta \mathbf{f}'$$

где Д – матрица постоянных коэффициентов, приведенная в гл. II. Для нелинейной гидравлической цепи

$$\text{Д}_{\text{x}}(\mathbf{x} + \Delta \mathbf{x}) = \mathbf{f} + \Delta \mathbf{f},$$

и оценка $\Delta \mathbf{x}$ по $\Delta \mathbf{f}$ (или ξ_i по ξ_c) уже невозможна. Для этого был бы необходим новый итеративный процесс, накладывающийся на основной, и т. д. Этого, естественно, никогда не делают, хотя нередко теряют представле-

ние о точности результатов в отношении расходов, а для части ветвей даже получают грубые ошибки. Выбором близкого начального приближения, включая точное направление потоков, можно исключить переходы через нули ("особые точки"), соблюсти условие монотонной сходимости $\left|\Delta x_i^{(n+1)}\right| < \left|\Delta x_i^{(n)}\right|$, ($n$ = 0, 1, 2, ...) и обеспечить расчет расходов с заданной точностью. Получить такое приближение можно с помощью метода линеаризации, излагаемого в следующей главе. Назначение этого метода не ограничивается отмеченной здесь целью.

Глава IV

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ И МЕТОД ЛИНЕАРИЗАЦИИ КВАДРАТИЧНЫХ ФОРМ

Во многих областях применения математических методов при решении многомерных технических и экономических задач весьма полезными оказываются геометрические интерпретации. Они не могут дать всестороннего описания, так как очень трудно экстраполировать выводы, получаемые из построений на плоскости и трехмерном пространстве, в пространство многих измерений. Здесь верную помощь оказывает алгебра. Однако геометрические построения, возможные для элементарных случаев, позволяют уловить ряд общих чисто качественных связей, которые без этого ускользают от внимания.

Каждое потокораспределение дает одну точку $\mathbf{x}^*$ в многомерном пространстве. Положения таких точек определяются пересечениями множества поверхностей (гиперповерхностей). Среди них гиперплоскости, отвечающие узловым уравнениям материального баланса, т. е. строкам в уравнениях (2), а также поверхности второго порядка, согласно контурным уравнениям вида (5) и (10). При переменных режимах только часть этих поверхностей деформируется и меняет свое положение в пространстве, а остальные (их большинство) остаются неизменными. Соответственно выясняется весомость отдельных ветвей в схеме, влияние возмущений в том или ином узле и особенности принятого метода регулирования на гидравлический режим в целом.

Отсюда следует полезность анализа этих поверхностей в "P-пространстве" и "K-пространстве", их вида, положения и деформации, для некоторых характерных гидравлических систем, в зависимости от: а) особенности схемы соединения цепи; б) ее сосредоточенных параметров; в) соотношения между известными и неизвестными величинами; г) избранных систем независимых контуров и независимых узлов. Внимательное изучение построений, приведенных в работе, помогает качественным оценкам, которые не могут быть получены с помощью пьезометрических графиков или характеристик в координатах "напор–расход".

Предварительно дается классификация задач с помощью подразделения уравнения (6) и матрицы $Д_x$ на блоки. Общее число ветвей представляется как $p = p_s + p_Q$, где: p_s – число ветвей с заданными сопротивлениями и p_Q – число ветвей с заданными расходами. Дана схема преобразова-

ния матрицы $\mathbf{Д}_x$ по мере роста p_Q от 0 до k и соответственная классификация, из которой следует:

а) $p_Q = 0$ – *группа нелинейных задач*, отвечающих обратному преобразованию векторов $\mathbf{H} \to \mathbf{x} \to \mathbf{h}$;

б) $0 < p_Q < k$ – *группа смешанных задач* с уменьшенным числом независимых контуров $k_s < k$;

в) $p_Q = k$ – *группа линейных задач*, так как независимые циклы, состоящие только из ветвей с заданными сопротивлениями, исчезают ($k_s = 0$), и схема превращается в дерево.

Для последней группы геометрическая интерпретация наиболее проста: положение точки $\mathbf{x}^*$ определяется пересечением $(q - 1)$ гиперплоскостей, из которых по меньшей мере только одна не проходит через начало координат, а остальные отсекают отрезки на осях координат, так как для дерева существуют по меньшей мере два узла с приходом и расходом. Отсюда, в частности, следует линейная природа всех методов расчета и оптимизации разветвленных сетей с цепочечной схемой.

Далее рассматривается только первая группа задач, для наиболее общего случая активных цепей.

Квадратичные формы гидравлической цепи. Наглядное преставление о них можно получить, когда $p \le 3$ или $k \le 3$. С этой целью рассматриваются две характерные системы параллельной работы двух ТЭЦ на общие сети, цепи которых могут относиться и к другим примерам гидравлических систем. Первой системе соответствует двухконтурная цепь из трех ветвей (П. 1); две активные ветви представляют длинные фидеры без присоединенной нагрузки, а пассивная – сеть района. Вторая система представляет случай объединения двух источников с помощью перемычки между тепломагистралями. Ее трехконтурная цепь (П. 2) состоит из двух активных и трех пассивных ветвей.

Для двухконтурной цепи имеем три дерева, а также один независимый узел, изображаемый плоскостью (x_1, x_2, x_3), проходящей через начало координат. В первом варианте дерева двум контурам отвечают две простейшие положительно определенные формы, изображаемые эллипсами. Пересечение узловой плоскости и эллиптических цилиндров дает решение. Во втором и третьем вариантах дерева один из контуров имеет отрицательно определенную форму и изображается гиперболой.

Отмечаются следующие свойства этих геометрических образов в "P-пространстве", общие для любых сколь угодно сложных, схем.

- Метрика линий и поверхностей (гиперповерхностей) второго порядка определяется сосредоточенными параметрами ветвей, входящих в данный контур гидравлической цепи и может быть вычислена по этим параметрам. Например, для двухконтурной цепи: полуоси эллипса I-го контура $\sqrt{\frac{H_1}{S_1}}$ и $\sqrt{\frac{H_1}{S_3}}$; полуоси II-го контура $\sqrt{\frac{H_2}{S_2}}$ и $\sqrt{\frac{H_2}{S_3}}$; действительная полуось и эксцентриситет гиперболы III-го контура $\sqrt{\frac{H_2 - H_1}{S_2}}$ и $\sqrt{1 - \frac{S_2}{S_1}}$ и т. д.

• В квадратичных формах отсутствуют попарные произведения неизвестных, и поэтому главные направления (оси) линий и поверхностей каждого контура совпадают с направлениями осей координат.

• Для квадратичных цепей отсутствуют члены с неизвестными в первой степени, и поэтому центры линий и поверхностей совпадают с началом координат. Для доквадратичного (неавтомодельного) режима течения жидкости появляются члены $S_i' x_i$, что приводит только к небольшому параллельному переносу главных осей, не меняющему, однако, их направлений. Величина переносов относительно i-х осей координат зависит от соотношений S_i'/S_i''.

• Узлы без присоединенной к ним нагрузки изображаются гиперплоскостями, проходящими через начало координат, а для узлов с присоединенной нагрузкой гиперплоскости отсекают отрезки на осях.

Таким образом, любые возмущения в данной ветви, связанные с изменением ее параметров, меняют размеры (полудиаметры) поверхностей, относящихся только к смежным контурам, оставляя прочие поверхности неизмененными. Устанавливается также автономность каждой поверхности относительно переходов к другим системам независимых контуров.

В теоретическом отношении важно проследить особенности перехода в "K-пространство", поскольку все вычислительные процедуры относятся именно к нему.

При исключении неизвестных расходов в дереве исключаются узловые уравнения плоскостей, и в контурных уравнениях возникают попарные произведения расходов в хордах, которые поворачивают главные оси поверхностей вокруг начала координат. Вводя обозначения для относительных параметров $m_{ir} = \dfrac{S_i}{S_r}$ и $k_{ir} = \dfrac{H_i}{H_r}$, где i – номера хорд и r – номера ветвей дерева, получим (например) для трехконтурной цепи уравнения двух эллипсов и эллипсоида:

I контур: $(1 + m_{14})\, x_1^2 + x_3^2 - 2x_1x_2 = k_{14}$;

II контур: $(1 + m_{25})\, x_2^2 + x_3^2 + 2x_2x_3 = k_{25}$;

III контур: $(1 + m_{35})\, x_3^2 + m_{15}x_1^2 + x_2^2 - 2x_2x_3 = k_{15}$.

Решение для расходов в хордах изображается точкой пересечения эллиптических цилиндров и эллипсоида в первом октанте.

Углы поворота, так же как и полудиаметры поверхностей, автономны. Они зависят только от собственных значений симметричной матрицы квадратичной формы и, следовательно, от параметров гидравлической цепи, сосредоточенных в ветвях данного контура. Например, для двухконтурной цепи получаем углы поворота осей эллипсов I и II контуров, как

$$\alpha_{\text{I}} = \frac{1}{2}\operatorname{arctg}\frac{2}{m_{13}} \quad \text{и} \quad \alpha_{\text{II}} = \frac{1}{2}\operatorname{arctg}\frac{-2}{m_{23}},$$

а также формулы для размеров больших и малых полуосей.

Пользуясь формулами и соответствующими построениями, наглядно иллюстрируются, например, особенности способов центрального и местно-

го регулирования теплоснабжения. При центральном регулировании изменением сопротивления клапана на одной из станций деформируется и поворачивается один из эллипсов (гиперэллипсоидов), и точка-решение скользит по другим неизменным поверхностям. При регулировании изменением числа оборотов насоса меняются только размеры одного из эллипсов. При местном регулировании поворачиваются и деформируются все эллипсы и т. д. При любом способе регулирования возникают некоторые критические значения параметров, при которых наступает прекращение расходов и опрокидывание циркуляции в отдельных ветвях. При этом квадратичные формы и их геометрические изображения не отражают изменения направлений потоков. Они действительны в отношении решений только для избранной ориентации ветвей.

Система уравнений вида (10) обладает множеством решений, отвечающих числу октантов 2^{p-q+1} [5]. В каждом из них имеется одна точка пересечения центральной и строго выпуклой поверхности второго порядка, так как углы поворота осей симметрии относительно осей координат находятся в интервале $0 \le \alpha \le \frac{\pi}{4}$. Но только пересечение в первом октанте отвечает истинному потокораспределению. Противоречия между числом решений и однозначностью потокораспределения нет, если при записи используется замыкающее уравнение в виде нечетной функции $h_i = S_i |x_i| x_i$.

В работе показывается, что система действительных решений обладает асимметрией относительно координатных осей; в отличие от линейных цепей решения для каждой ветви отличаются между собой не только по знаку, но и по модулю. Поэтому знаки решений системы уравнений, представленной в виде (10), не дают ответа о направлениях потоков. В ряде работ, где для элементарных схем предлагались решения в радикалах в виде расчетных формул, это обстоятельство упускалось, и возникали ошибки.

Приведенные геометрические интерпретации показывают, что повороты осей симметрии являются важнейшим проявлением существенной нелинейности гидравлических цепей, не подчиняющихся принципу суперпозиции. В связи с тем, что $\alpha_c \neq 0$, к расчетам гидравлических систем неприменимы известные линейные методы теории электрических цепей. Чем ближе (в зависимости от параметров цепи) эти углы к нулю, тем оправданней приближенные решения и приемы эквивалентирования схем.

Метод линеаризации. Линеаризация гидравлической цепи может выполняться различным образом. Основные численные методы решения систем нелинейных уравнений уже используют линеаризацию в той или иной форме и делают ее на каждом шаге последовательных приближений. Другой способ заключается в линейной или кусочно-линейной аппроксимации замыкающих уравнений $h_i = f(x_i)$, что полезно используется при построении различных счетно-решающих аналоговых устройств и не имеет смысла при расчетах на ЭВМ.

Предложенный в работе метод линеаризации использует свойства выпуклых цепей и имеет целью получить простой способ построения такой

эквивалентной линейной системы, решение которой достаточно близко к истинному для нелинейной гидравлической цепи в целом. При этом линеаризованная цепь должна иметь эквивалентную схему соединения, а ее параметры являться простыми функциями сосредоточенных параметров гидравлической цепи. Если искомый вектор-решение для расходов в цепи составляет **x**, то методом линеаризации должен быть найден близкий ему вектор $\mathbf{x}_0$, который может быть использован для начального приближения $\mathbf{x}^{(0)}$, уточняемого рядом итераций, или вообще в качестве приближенного решения для существенно нелинейной цепи.

Полагая $\mathbf{X} = \mathbf{E}$ и $\mathbf{Д}_x = \mathbf{Д}$, можно, согласно (6) и (10), получить системы линейных уравнений для неизвестных компонент некоторого вектора $\mathbf{x}_l$, или после преобразования к хордам – $\mathbf{x}_{lx}$, т. е. $\mathbf{Д}_x\mathbf{x}_l\boxed{\frac{\mathbf{Q}}{\mathbf{BH}}}$,

или

$$\mathbf{B}\cdot\mathbf{S}\cdot\mathbf{B}_t\cdot\mathbf{x}_{lx} = \mathbf{B}\cdot\mathbf{H}. \qquad (14)$$

Нетрудно видеть существенное различие между векторами-решениями систем (14) и (10). Для этого необходимо сравнить отрезки, отсекаемые на осях координат гиперплоскостями, пересечение которых дает $\mathbf{x}_{lx}$, и гиперповерхностями, пересечение которых дает $\mathbf{x}_x$. В работе излагается метод, дающий приближенное решение с учетом преобразования параметров **H** и **S**.

В цепи всегда можно подобрать такую линейную комбинацию независимых контуров, каждый из которых будет состоять из ветвей, одинаково ориентированных, и содержать, по меньшей мере, одну активную ветвь. При этом для линейной и нелинейной цепи κ плоскостей и поверхностей будут отсекать отрезки на осях координат. Сравнивая их с помощью (10) и (14), видим, что для каждого c-го контура имеет место точное соответствие

$$x_{cc} = \sqrt{(x_{cc})_l}, \qquad x_{ic} = \sqrt{(x_{ic})_l}, \qquad (15)$$

где x_{cc} и $(x_{cc})_l$ – отрезки, отсекаемые поверхностью и плоскостью на c-й оси; x_{ic} и $(x_{ic})_l$ – то же на прочих i-х осях ($i = 1, \ldots, k - 1$).

Для линейной цепи отрезки на осях определяются просто, как

$$(x_{cc})_l = \frac{H_c}{\sum\limits_c S_i} \text{ и } (x_{ic})_l = \frac{H_c}{S_{ic}},$$

где H_c – сумма действующих в контуре напоров, а S_{ic} – сопротивление i-й ветви дерева, принадлежащей c-му контуру.

Используя соответствие (15), можно легко получить систему линейных уравнений в отрезках. Формирование ее коэффициентов целиком определяется структурой матрицы совпадений ветвей и контуров. Например, для рассмотренной трехконтурной цепи, взамен приведенной выше систе-

мы нелинейных уравнений второй степени, получаем систему линейных уравнений

$$\begin{array}{ccccccc} x_1\sqrt{S_i+S_4} & + & 0 & + & x_3\sqrt{S_4} & = & \sqrt{H_1}; \\ 0 & + & x_2\sqrt{S_2+S_5} & + & x_3\sqrt{S_5} & = & \sqrt{H_2}; \\ x_1\sqrt{S_1} & + & x_2\sqrt{S_5} & + & x_3\sqrt{S_3+S_5} & = & \sqrt{H_1}. \end{array}$$

Ее решение дает вектор $\mathbf{x}_{0x}$ для приближенных расходов в хордах. В работе такая линеаризация квадратичных форм в "К-пространстве" иллюстрируется геометрическими построениями, из которых следует, что участки эллипсов и эллипсоидов в первом квадрате (октанте) заменяются прямыми и плоскостями, отсекающими равные отрезки на осях (П. 3).

Количественная оценка точности такого приближенного решения, получаемого конечным (линейным) методом, по отношению к истинному решению, требующему бесконечного вычислительного процесса, принципиально не может быть дана. Близость же приближенного решения к истинному имеет следующий смысл.

Вектор-решение $\mathbf{x}$ определяется пересечением границ выпуклых множеств, а решение $\mathbf{x}_0$ находится внутри каждого из этих множеств и имеет общие с ним границы на координатных осях. Поэтому длины векторов $\|\mathbf{x}_0\| < \|\mathbf{x}\|$, и хотя каждая из пары компонент $x_{0i} \gtrless x_i$, их значения не выходят за общие пределы, т. е. $0 \le x_{0i} \le (x_i)_l$ и $0 \le x_i \le (x_i)_l$.

Практические расчеты на ЭВМ для реальных гидравлических систем различной сложности показывают высокие степени точности для активных ветвей, а для пассивных – близкие решения, которые существенно сокращают последующие итерации.

Система линеаризованных уравнений отвечает некоторой эквивалентной линейной цепи, для которой имеет место симметрия системы решений и справедливо "правило знаков". Поскольку решения для нелинейной и линеаризованной цепи совпадают на осях координат, можно по знакам точно устанавливать направления потоков в сложной гидравлической системе, еще до решения системы нелинейных уравнений или вместо него. Значение этой возможности для получения монотонной сходимости уже отмечалось в гл. III. Кроме того, в ряде технических задач определение направления движения жидкости вообще имеет самостоятельное значение.

Линеаризация квадратичных форм, естественно, может быть выполнена и в "Р-пространстве", что дает наиболее простой алгоритм для получения коэффициентов систем линейных уравнений. Поскольку в этом пространстве главные направления квадратичных форм совпадают с осями координат, аппроксимирующие прямые и плоскости отсекают отрезки, равные полуосям эллипсов. В результате преобразований получаем систему линеаризованных уравнений, которая в матричной форме представляется как

$$\left[\frac{\mathbf{A}}{\mathbf{BS}^*}\right] \cdot \mathbf{x} = \left[\frac{\mathbf{A}}{\mathbf{BH}^*}\right]. \qquad (16)$$

Здесь помимо ранее введенных обозначений:

$$\mathbf{H}^* = \begin{bmatrix} \sqrt{H_1} \\ \sqrt{H_2} \\ \vdots \\ \sqrt{H_p} \end{bmatrix} \text{ и } \mathbf{S}^* = \begin{bmatrix} \sqrt{S_1} & & & \\ & \sqrt{S_2} & & \\ & & \ddots & \\ & & & \sqrt{S_p} \end{bmatrix}.$$

Для рассмотренного примера трехконтурной цепи система уравнений имеет вид:

$$\begin{array}{ccccccccccc} x_1 & + & 0 & - & x_3 & - & x_4 & + & 0 & = & 0; \\ 0 & + & x_2 & + & x_3 & + & 0 & - & x_5 & = & 0; \\ x_1\sqrt{S_1} & + & 0 & + & 0 & + & x_4\sqrt{S_4} & + & 0 & = & \sqrt{H_1}; \\ 0 & + & x_2\sqrt{S_2} & + & 0 & + & 0 & + & x_5\sqrt{S_5} & = & \sqrt{H_2}; \\ x_1\sqrt{S_1} & + & 0 & + & x_3\sqrt{S_3} & + & 0 & + & x_5\sqrt{S_5} & = & \sqrt{H_1}. \end{array}$$

Простота составления таких систем очевидна. Вместе с тем отметим, что линеаризованные решения для “Р-” и “К-пространства” не совпадают; последнее дает более близкое решение.

Глава V

ЛИНЕЙНЫЕ И ЛИНЕАРИЗОВАННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СХЕМ (ЭКВИВАЛЕНТИРОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ)

При расчете сложных гидравлических систем с помощью ЭВМ и аналоговых устройств важно построение упрощенных эквивалентных схем, состоящих из меньшего, чем в оригинале, числа ветвей, по возможности плоских и в ряде случаев цепочечных. Такое эквивалентирование позволяет применять ЭВМ с ограниченным объемом памяти и модельные установки с ограниченным числом нелинейных элементов.

Поскольку системы уравнений, описывающих гидравлическую цепь, не обладают адаптивными свойствами, здесь невозможно представление общего решения как суммы частных, разбиение матриц на подматрицы и системы на подсистемы. Поэтому для гидравлических цепей недействительны известные методы преобразования линейных электрических цепей. Все же некоторые возможности имеются, и они должны использоваться при подготовке исходной информации для ЭВМ.

В настоящей главе рассматриваются два вида преобразования схем.

1. Точные линейные преобразования, которые не затрагивают нелинейной связи между напором и расходом. В основном они на практике известны и в той или иной форме используются в расчетах. Здесь им дается общее обоснование.

2. Приближенные линеаризованные преобразования, основанные на использовании метода линеаризации квадратичных форм.

Линейные преобразования.

1. Устранение лишних ветвей. Основывается на элементарных преобразованиях матрицы соединений **A**.

Рассматривается исходная цепь с цикличной схемой. Для нее материальный баланс представляется, согласно (2), однородным уравнением при $\mathbf{Q} = 0$. Уравнения второго закона Кирхгофа для напоров в ветвях выражены преобразованием (3) с помощью матрицы совпадений **B**. Эти же уравнения для давлений в узлах могут быть представлены с помощью матрицы соединений **A**. Поскольку для каждой ветви $P_j - P_{j+1} = \rho h_i$, то для цепи в целом имеем

$$\mathbf{A}_t\mathbf{P} = \rho\mathbf{h}. \qquad (17)$$

Если по условиям задачи расходы в некоторых i-х ветвях заданы, то уравнение баланса становится неоднородным: $\mathbf{A}'\cdot\mathbf{x} = \mathbf{Q}$, где $\mathbf{A}'$ сужена за счет исключения соответствующих столбцов. Если же по другим условиям в ряде j-х узлов фиксированы давления, обозначенные R_j, и одновременно соблюдается условие совпадения: $a_{ij} = 0$, то давления в смежных узлах также известны и, согласно (17), определяются из выражений $P_{j+1} = P_j - = \rho f(Q_i)$.

Каждое такое совпадение уменьшает на единицу число неизвестных и порядок матрицы системы уравнений. В результате получаем правило: "*если ветвь с заданным расходом совпадает с одним из узлов, в котором фиксировано давление, то она может быть устранена из схемы; одновременно устраняется один из независимых контуров*". Приводятся примеры использования этого правила при эквивалентировании различных гидравлических систем.

2. Проективные преобразования. Превращение неплоской схемы в плоскую с помощью линейных преобразований в принципе возможно только за счет устранения лишних ветвей, когда это удается по условиям постановки задачи (см. выше П. 1). Однако иногда решение вопроса о том, является ли вообще рассматриваемая схема неплоской, осложняется внешним видом изображения на чертеже, где может быть показан ряд взаимопересечений ветвей (без образования узлов). Известное упрощение вопроса дают топологические преобразования, которые при сохранении прямолинейности ветвей являются проективными. При этом учитывается, что каждая плоская схема с k независимыми контурами и q узлами является стереографической проекцией односвязного многогранника с $k + 1$ гранями и q вершинами. Если каждая ветвь с помощью произвольной деформации может остаться в плоскости любой из граней, значит, схема плоская. Приводятся примеры таких деформаций.

3. Устранение лишних хорд. Для любой цикличной схемы можно выбрать такую систему независимых контуров, в каждом из которых содержится по меньшей мере одна хорда. Однако если в контуре имеется более одной хорды, то часть из них можно устранить, сохраняя цикличность схемы. Устранение лишней хорды равносильно объединению ее кон-

цов в один узел. Показывается с помощью преобразований, что такое устранение возможно при соблюдении двух условий: а) направления потоков в хордах, входящих в один контур, известны; б) величины потоков в хордах одинаковы, либо известны их соотношения. Эти условия соблюдаются и используются в схемах закрытых двухтрубных теплосетей и систем центрального отопления при их однолинейном изображении. В работе показывается устранение лишних хорд в примере параллельной работы двух источников на общую двухтрубную сеть с двумя подстанциями на подающей и обратной магистралях.

В заключение следует признать весьма ограниченные возможности линейных математических преобразований для эквивалентирования гидравлических цепей.

Линеаризованные преобразования (преобразование гидравлического треугольника в звезду). Известные в электротехнике методы преобразования (трансфигурации) схем используют приемы замещения многоугольника многолучевой звездой и обратного преобразования треугольника в звезду с помощью классических формул Кенелли (1899 г.). В основе этих методов – линейность электрических цепей, отвечающих принципу суперпозиции.

Аналогичные приемы были бы весьма желательны и в области расчетов гидравлических систем. Известно, например, какое значение имеет возможность расчета общего сопротивления разветвленной сети с одним источником по данным о сопротивлениях отдельных ветвей. Небольшое усложнение схемы, например, с попутным движением в двухтрубных магистралях или кольцеванием уже не позволяет применять суммирование сопротивлений и проводимостей или аналогичные приемы.

Препятствием является существенная нелинейность гидравлических цепей, не отвечающих принципу суперпозиции. Поэтому нельзя выполнять такие преобразования точно. Линеаризация квадратичных форм дает возможность предложить приближенный метод.

Рассматривается треугольник с вершинами 1, 2, 3 и сторонами a, b, c. Замещающая его звезда состоит из лучей α, β, γ, проходящих, соответственно, через вершины 1, 2, 3. Предполагается, что треугольник является элементом линеаризованной цепи, квадратичные формы которой заменены линейными, согласно (16). Поэтому линеаризованные сопротивления сторон треугольника: $S^*_\alpha = \sqrt{S_\alpha}$; $S^*_b = \sqrt{S_b}$; $S^*_c = \sqrt{S_c}$.

Первый способ преобразований основывается на том, что линеаризованные сопротивления S^*_i между любой парой вершин треугольника и звезды должны быть одинаковыми. Получаем для вершин 1 и 2:

$$\sqrt{S_\alpha} + \sqrt{S_\beta} = \frac{1}{\dfrac{1}{\sqrt{S_b}} + \dfrac{1}{\sqrt{S_a} + \sqrt{S_c}}} = \frac{\sqrt{S_b}\left(\sqrt{S_a} + \sqrt{S_c}\right)}{\sqrt{S_a} + \sqrt{S_b} + \sqrt{S_c}}.$$

Аналогично для вершин 2 и 3:

$$\sqrt{S_\beta}+\sqrt{S_\gamma}=\frac{\sqrt{S_c}\left(\sqrt{S_a}+\sqrt{S_b}\right)}{\sqrt{S_a}+\sqrt{S_b}+\sqrt{S_c}}$$

и для вершин 3 и 1:

$$\sqrt{S_\alpha}+\sqrt{S_\gamma}=\frac{\sqrt{S_a}\left(\sqrt{S_b}+\sqrt{S_c}\right)}{\sqrt{S_a}+\sqrt{S_b}+\sqrt{S_c}}.$$

Решая систему трех линейных уравнений относительно линеаризованных сопротивлений звезды, получаем формулы:

$$\left.\begin{aligned} S^*_\alpha &= \frac{\sqrt{S_a S_b}}{\sqrt{S_a}+\sqrt{S_b}+\sqrt{S_c}};\\ S^*_\beta &= \frac{\sqrt{S_b S_c}}{\sqrt{S_a}+\sqrt{S_b}+\sqrt{S_c}};\\ S^*_\gamma &= \frac{\sqrt{S_a S_c}}{\sqrt{S_a}+\sqrt{S_b}+\sqrt{S_c}}. \end{aligned}\right\} \qquad (18)$$

Нетрудно видеть простоту этих формул, сходных с формулами Кенелли. Однако их использование, как показывают расчеты, дает еще довольно грубое приближение. Поэтому был предложен второй способ, приводящий к несколько более трудоемким расчетам.

Второй способ преобразований основан на том, что, в соответствии с принципом суперпозиции, каждый контур может рассматриваться отдельно в отрыве от всей цепи в целом. Тогда проводимость каждой пары лучей звезды должна быть равна общей проводимости соответственных сторон треугольника. Исходя из этого предположения, получаем:

для вершин 1 и 2

$$\frac{1}{\sqrt{S_{\alpha\beta}}}=\frac{1}{\sqrt{S_b}}+\frac{1}{\sqrt{S_a+S_c}},$$

или

$$\left.\begin{aligned} S_{\alpha\beta} &= \frac{S_b\left(S_a+S_c\right)}{\left(\sqrt{S_b}+\sqrt{S_a+S_c}\right)^2};\\ \text{для вершин 2 и 3}\quad S_{\beta\gamma} &= \frac{S_c\left(S_a+S_b\right)}{\left(\sqrt{S_c}+\sqrt{S_a+S_b}\right)^2};\\ \text{для вершин 1 и 3}\quad S_{\alpha\gamma} &= \frac{S_a\left(S_b+S_c\right)}{\left(\sqrt{S_a}+\sqrt{S_b+S_c}\right)^2}. \end{aligned}\right\} \qquad (19)$$

С другой стороны, $S_{\alpha\beta} = S_\alpha + S_\beta$; $S_{\beta\gamma} = S_\beta + S_\gamma$; $S_{\alpha\gamma} = S_\alpha + S_\gamma$. Отсюда следует, что:

$$S_\alpha = \frac{S_{\alpha\beta} + S_{\alpha\gamma} - S_{\beta\gamma}}{2}$$

$$S_\beta = \frac{S_{\alpha\beta} + S_{\beta\gamma} - S_{\alpha\gamma}}{2}. \qquad (20)$$

$$S_\gamma = \frac{S_{\alpha\gamma} + S_{\beta\gamma} - S_{\alpha\beta}}{2}$$

Таким образом, определив по формулам (19) сопротивления лучевых пар $S_{\alpha\beta}$, $S_{\beta\gamma}$, $S_{\alpha\gamma}$, получаем из (20) значения сопротивлений отдельных лучей эквивалентной звезды. Далее результаты используются для последовательного перехода от одного контура к другому, с суммированием сопротивлений и получением общего сопротивления цепи, отнесенного к одному источнику, или для упрощения кольцевой схемы с меньшим, чем в оригинале, количеством элементов – контуров и ветвей.

В работе приводится один из примеров для схемы с попутным движением воды в системе теплоснабжения. При использовании второго способа преобразований достигается высокая точность расчета.

Глава VI

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И НЕЛИНЕЙНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ

В настоящей, заключительной, главе излагается исследование ряда вопросов, связанных с установлением возможностей и целесообразности применения методов новой математической дисциплины – математического программирования (оптимального планирования) как для технических расчетов, так и для оптимизации параметров гидравлических систем с помощью ЭВМ.

При этом основное внимание уделяется:

1) области применения нелинейного программирования для решения неэкономических задач распределения потоков жидкости и тепла;

2) особенностям экономических функционалов гидравлических систем, отличающихся значительной пологостью;

3) значению технических ограничений, выраженных в форме неравенств, для оптимизации трубопроводных сетей.

Теорема Максвелла, ее обобщение и использование для расчета гидравлических цепей. Для формулировки потокораспределения как экстремальной задачи фундаментальное значение имеет теорема Максвелла, которая излагает "принцип наименьшего теплового действия" по отношению к электрическим цепям. В "Трактате об электричестве и магнетизме" (т. I, ч. VI, арт. 283 и 284) доказано, что: "*В любой системе проводников, где нет источников ЭДС, тепло, генерируемое токами, распределяющимися в цепи, согласно закону Ома, всегда меньше, чем токами, распределенными любым другим образом и согласующимися с условиями притекания и вытекания*".

Эта теорема ранее не имела специального вычислительного значения. Поэтому она мало известна в специальной технической литературе, а упомянутая часть “Трактата” на русский язык даже не переводилась. Появление ЭВМ, дающих возможность минимизировать энергетический функционал дискретными методами нелинейного программирования, меняет это положение главным образом, как увидим, по отношению к цепям с распределенными параметрами.

Подчеркнутое в приведенной формулировке теоремы указывает на ограничения, предусмотренные Максвеллом. Вместе с тем, как это, вообще говоря, известно, потокораспределение отвечает минимуму потерь энергии не только в линейных электрических (закон Ома), но и в гидравлических системах. В работе проводится доказательство для квадратичных и выпуклых цепей.

Доказательство, которое может быть выполнено различным образом, в данной работе следует общему ходу рассуждений Максвелла. Опуская подробные выводы, останавливаемся на основных положениях.

В цепи выделяется c-й контур из n ветвей, который связан с внешними ветвями условиями материального баланса в m узлах. Сравнивается энергия торможения, выделяющаяся при установившемся потокораспределении $W_c = f_c(x_1, x_2, ..., x_n)$ и при его нарушении $W_c' = f_c\left(x_1 \pm \Delta x, x_2 \pm \Delta x, \ldots, x_m \pm \Delta x\right)$.

Причем, $\Delta x = \text{idem}$ из условия поддержания материального баланса. Далее показывается, что при *линейном законе* $P_j - P_{j+1} = S_i x_i$ тепловой баланс представляется как $W_c' = W_c + \Delta x^2 \sum_{i=1}^{n} S_i$. Поскольку $\Delta x^2 > 0$, получаем вывод: $W_c' > W_c$.

Для квадратичных ветвей аналогичное выражение для теплового баланса имеет вид: $W_c' = W_c + 3\Delta x^2 \sum_{i=1}^{n} S_i x_i + \Delta x^3 \sum_{i=1}^{n} S_i$.

Поскольку изменение расходов по абсолютной величине может последовательно выбираться сколь угодно малым, т. е. $|\Delta x| \ll x_i$, отношение второго и третьего членов правой части представляется неравенством

$$\frac{3\sum S_i x_i}{\sum S_i \Delta x_i} > 1.$$

Таким образом, сумма второго и третьего членов в тепловом балансе всегда положительна. Отсюда: $W_c' = W_c$.

Для выпуклых цепей зависимость между падением давления и расходом в ветвях в общем случае аппроксимируется полиномом

$$P_j - P_{j+1} = \sum_{v=1}^{r} a_v x^v, \quad \left(a_v \geq 0, \quad v = 1, 2, \ldots, r\right).$$

Следовательно, изменение энергии в контуре при соблюдении материального баланса представляется как

$$\Delta W = W_c' - W_c = \sum_{i=1}^{n} \sum_{v=1}^{r} a_{vi} \left(x_i \pm \Delta x\right)^{v+1} - \sum_{i=1}^{n} \sum_{v=1}^{r} a_{vi} x_i^{v+1}.$$

Раскрывая биномы по формуле Ньютона и группируя соответственные члены, получаем: $\lim_{\Delta x \to 0} \Delta W = 0$.

Далее специально анализируется сумма членов биномиального разложения и показывается, что при любом $\Delta x \neq 0$ ($\Delta x > 0$ и $\Delta x < 0$): $W_c' = W_c$, что и следовало доказать.

Таким образом, W_c представляет собой абсолютный минимум функции W', что показывает справедливость теоремы Максвелла для выпуклых гидравлических цепей и одновременно служит доказательством однозначности потокораспределения.

Подчеркнем, что совпадение абсолютного минимума энергии с минимумом, отвечающим условиям материального баланса (условным минимумом), следует из приведенного вывода только для пассивных цепей, что и было отмечено Максвеллом. Поэтому для пассивных гидравлических цепей в принципе может использоваться методика расчета давлений в узлах цепи, основанная на поиске абсолютного минимума энергетического функционала, например, методом покоординатного спуска. При этом, конечно, точность расчета по отношению к расходам в ветвях заранее не может быть назначена.

В общем случае для активной цепи потокораспределение отвечает нулевому минимуму энергетического функционала $F = W' - W$, т. е. разнице между использованной в цепи и подведенной от источников энергии, при ограничениях, определяемых принципом сплошности, т. е. условиями материального баланса в узлах. Так, для квадратичной цепи математическая формулировка гласит: требуется вычислить вектор $\mathbf{x}$, обращающий в минимум функционал

$$F = \sum_{i=1}^{p} S_i x_i^3 - \sum_{i=1}^{p} H_i x_i \text{ при условиях: } \mathbf{Ax} = \mathbf{Q},\ x_i \geq 0.$$

Условия-неравенства, определяющие выбор направлений потоков и одновременно выпуклость функционала, указывают на формулировку задачи нелинейного программирования. Однако наличие заранее известных условий-равенств позволяют решать ее классическим методом Лагранжа с последующей проверкой неотрицательности расходов. При этом функция Лагранжа имеет вид

$$\Phi = \sum_{i=1}^{p} h_i x_i - \sum_{i=1}^{p} H_i x_i + \sum_{j=1}^{q-1} \lambda_i \sum_{j} x_i .$$

После дифференцирования и т. д. нетрудно видеть, что такое *промежуточное решение приводит к системе уравнений Кирхгофа*. Физический же смысл неопределенных множителей Лагранжа в этой задаче заключается в том, что λ_j *численно равны пьезометрическим напорам во всех узлах цепи*. Таким образом, снова возвращаемся к необходимости решать систему нелинейных алгебраических уравнений, а если желательно построение иллюстративного пьезометрического графика по результатам решения, то оно будет равносильно распределению множителей Лагранжа вдоль магистралей сети.

Теоретически можно, конечно, применить к этой задаче дискретные методы нелинейного программирования. В частности, с кусочно-линейной аппроксимацией выпуклого функционала и последующим использованием стандартных программ линейного программирования. Однако простые соображения о резком возрастании числа неизвестных и вообще всего размера задачи, а также вычислительная проверка на элементарных примерах, убедительно показали предпочтительность “старого способа”, т. е. непосредственного решения систем алгебраических уравнений при условии, что применяются вычислительные схемы, предложенные в гл. III.

Подчеркнем, что эти выводы относятся к цепям с сосредоточенными параметрами, когда в систему условий включаются только равенства материального баланса, что и приводит решение задачи на условный минимум энергетического функционала к системе уравнений Кирхгофа.

При технических расчетах гидравлических цепей с распределенными параметрами, по существу, требуется учет дополнительных условий-ограничений как в форме равенств, так и неравенств. При этом полное решение уже не приводит к системе уравнений Кирхгофа, просто дополняемых новыми уравнениями, и в сложных случаях это меняет всю вычислительную схему. На это обстоятельство никогда ранее не обращалось внимание.

Расчет гидравлических цепей с распределенными параметрами. Приводятся примеры таких цепей и отмечается, что их невозможно моделировать с помощью электрических моделей известных типов, представляющих цепи с сосредоточенными параметрами. В работе основное внимание уделяется гравитационным цепям с несвободной конвекцией жидкости на примере систем водяного отопления. В таких системах движение связано с преобразованиями потенциальной энергии в кинетическую, что определяется условиями теплообмена во всей цепи в целом. Поэтому для них только коэффициенты сопротивления S_i являются сосредоточенными, а также условные, вводимые для удобства расчета параметры, как “естественные давления”, или “гравитационные напоры”, имеют физический смысл только для вполне определенных направлений потоков.

Рассматривается наиболее сложный случай схемы с рангом матрицы соединения $r > 1$, или со многими пунктами подвода тепла. При этом возникает неопределенность направлений потоков, как, например, возможность опрокидывания циркуляции в двухтрубных системах отопления с попутным движением в вертикальных стояках и в некоторых других. Заметим, что для большинства стандартных систем отопления, имеющих цепочечную схему ($r = 1$), направления потоков вполне определены. Поэтому только для половины узлов следует вводить условия тепловых балансов, и это, конечно, существенно упрощает задачу.

При постановке экстремальной задачи распределения потоков и температур в число ограничений (уравнений связи), помимо материальных балансов, включаются уравнения теплового баланса и теплопередачи. Последние исключаются, когда, по условиям задачи, теплосъем с поверхности нагрева (охлаждения) задан и обязательно участвуют, когда фиксирована температура окружающей среды. В любом случае уравнения второго

закона Кирхгофа (увязка напоров по кольцам) не используются, а общее число уравнений намного меньше числа неизвестных.

При математическом описании предполагается, что теплообмен может происходить на всех i ветвях, и что в любом из j узлов может быть слияние потоков жидкости с разными температурами. Каждый теплообменник делит ветвь на две части с номерами i и i' (по ходу теплоносителя) и образует дополнительный узел в тепловой схеме, которая накладывается на основную схему гидравлической цепи. Таким образом, для тепловой схемы: ($i_т$ = 1, 1′, 2, 2′, ..., p, p') и ($j_т$ = 1, 2, ..., q − 1, $q + n_т$ − 1), где $n_т$ – число теплообменников.

В преобразованиях участвуют векторы-столбцы: потоков тепла в ветвях $\mathbf{W} = \{W_i\}$ и теплоотдачи в окружающую среду $\omega = \{\varpi_i\}$. Для представления теплового баланса вводится матрица соединений тепловой схемы размеров $(p + n_т) \times (q + n_т - 1)$:

$$\mathbf{Ш} = \{Ш_{ij}\},\ (Ш_{ij} = 0, +1, -1),$$

которая является производной матрицы **A**, но аналога в теории электрических цепей не имеет. Далее вводится прямоугольная матрица температур (энтальпий) размеров $p \times (p + n_т)$, имеющая ступенчатую структуру:

$$\boldsymbol{\theta} = \left\{t_{i\text{г},i\text{т}}\right\} \quad \left(t_{i\text{г},i\text{т}} = 0,\ t_i',\ t_i\right),$$

где $i_г$ – номера ветвей, гидравлической, а $i_т$ – тепловой схемы. В результате система условий теплового баланса и теплопередачи для гравитационной цепи представляется в матричной форме как

$$\mathbf{Ш}\cdot\boldsymbol{\theta}\cdot\mathbf{x} = \boldsymbol{\omega}. \tag{21}$$

Вводя параметры узлов теплообмена $d_i = \dfrac{k_j F_j}{2}$ и $m_j = 2d_j t_в$, получаем значение каждой компоненты вектора:

$$\varpi_j = d_j\left(t_i + t_i'\right) - m_j\ \ (i = 1, 2, ..., p),\ j = q, q + 1, ..., q + n_т - 1).$$

Здесь k_j и F_j – коэффициенты теплопередачи и поверхность теплообменника, а $t_в$ – температура окружающей среды (воздуха – для системы отопления).

Функционал гравитационной цепи формируется, как и ранее, исходя из общего “принципа наименьшего теплового действия”. Здесь тепловая энергия торможения потоков жидкости W′ балансируется с потенциальной энергией П, возникающей в цепи в процессе подвода и отвода тепла. Таким образом, искомое решение для потоков и температур можно получить, исходя из того, что W′ − П = минимум, при соблюдении условий (2) и (21).

Потенциальная функция вычисляется суммированием потенциалов по всем ветвям

$$\Pi = \sum_{i=1}^{p} \Pi_i = \sum_{i=1}^{p} x_i\left[z_i' f\left(t_i'\right) - z_i f\left(t_i\right)\right], \tag{22}$$

где z_i и z_i' – высоты расположения гидравлических узлов данной ветви относительно узла теплоотдачи; $f\left(t_i\right)$ и $f\left(t_i'\right)$ – плотности нагретой и охлажденной жидкости. При этом используется известная аппроксимация

опытных данных в виде $f(t) = a + bt - ct^2$. В результате получаем выражение для минимизируемого функционала

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}\left(x_i, t_i, t_i'\right) \ (i = 1, 2, \ldots, p)$$

и систему условий $\mathbf{Ax} = 0$ (при разборе из системы $\mathbf{Ax} = \mathbf{Q}$) и $\mathbf{Ш}\cdot\boldsymbol{\theta}\cdot\mathbf{x} = \boldsymbol{\omega}$, которая состоит из $q - 1$ линейных и $p + q - 1$ билинейных уравнений связи. При решении такой экстремальной задачи методом Лагранжа получаем опускаемую здесь систему алгебраических уравнений весьма высокого порядка, который составляет $4p + 2q - 2$. Это ограничивает возможности расчета на ЭВМ с невысокими параметрами. Экспериментальные расчеты основывались на решении методом Ньютона системы уравнений, которая для элементарной схемы (3 контура) имела 92-й порядок.

Свойства функционала определяются тем, что для квадратичной цепи

$$\frac{\partial^2 F}{\partial x_i^2} = 6S_i x_i; \quad \frac{\partial^2 F}{\left(\partial t_i'\right)^2} = 2cz_i' x_i \quad \text{и} \quad \frac{\partial^2 F}{\partial t_i^2} = 2cz_i x_i.$$

Устойчивость любого из применяемых вычислительных процессов будет обеспечена при условии строгой выпуклости функционала по всем координатным направлениям. Для первых двух групп направлений x_i и t_i' это требует неотрицательности значений расхода ($x_i \geq 0$). Такое требование нетрудно выполнить, выбрав начальное приближение по так называемому "расчетному режиму отопления", которому отвечает максимум расходов и температур во всех ветвях и, следовательно, максимум потенциальной энергии системы Π_{max}. При этом оценка направлений потоков и возможности опрокидывания циркуляции не связана со знаками x_i, так как в данном случае существует другой критерий $t_i \gtrless t_i'$; если в результате счета выясняется, что $t_i < t_i'$, то направление необходимо изменить на противоположное.

Физические свойства воды определяют вогнутость функционала по третьей группе координат t_i, поскольку при $x_i \geq 0$ $\dfrac{\partial^2 F}{\partial t_i^2} \leq 0$. При относительно небольших размерах матрицы оправданна линеаризация, для чего вводятся дополнительные параметры ветвей $r_i = a_i + b_i t_i$. Сходимость имеет место, если по предварительным техническим соображениям удается наметить достаточно близкие значения температур перед теплообменниками. Преодоление трудностей расчета, связанных с большими размерами задачи и нелинейной зависимостью между плотностью и температурой, требует дополнительных исследований и вычислительных экспериментов. В равной мере это относится и к простым цепочечным схемам.

Особенности экономических расчетов для нелинейных и линейных цепей (Устойчивость экстремальных решений). В давних работах автора было показано [6, 7; и др.], что одно простое свойство степенной функции $y = ax^n$ может быть использовано для получения универсальных технико-экономических характеристик в относительных величинах, для ряда энергетических задач. Такие безразмерные экономические функционалы могут быть использованы для количественных оценок и сравнительного анализа

устойчивости (инертности) экстремальных решений. Кроме того, с их помощью разъясняется оправданность некоторых приближенных методов расчета[13]. В настоящей работе они используются в указанных целях, при оптимизации трубопроводных сетей.

Экономический функционал трубопровода, или электрической линии, как и во многих других случаях, достаточно точно выражается в виде степенного двучлена

$$з = Гp^{\gamma} + Вp^{-\beta}, \qquad (23)$$

где з – расчетные затраты и p – текущие значения расчетного параметра, выбираемого в зависимости от постановки задачи. Выбор p влияет на значения коэффициентов Г, В, γ и β. Постоянные Г и В зависят от множества технических и экономических показателей, характерных для данной конкретной сети, условий ее сооружения и эксплуатации. Постоянные же γ и β имеют иной характер. Они зависят главным образом от типа задачи, т. е. от вида сети (теплосети, водопроводы, электросети и пр.), а также от вида расчетного параметра; при оптимизации потерь напора в трубопроводах коэффициент $b = \dfrac{m}{2n + \alpha + 1}$, где n – показатель степени в зависимости напора от расхода; α – показатель степени в эмпирической зависимости для коэффициента сопротивления трению; m – показатель степени в стоимостной функции.

Из уравнения $\dfrac{\partial з}{\partial p} = 0$ получаем выражение для параметра p_0, отвечающего абсолютному минимуму расчетных затрат $з_0$:

$$p_0 = \left(\frac{В\beta}{Г\lambda}\right)^{\frac{1}{\gamma+\beta}}. \qquad (24)$$

Выражение (24) представляет наиболее общую формулу оптимальных параметров для трубопроводных и электрических сетей, а также других сооружений и установок. В зависимости от значения коэффициентов из нее могут быть получены различные формулы многих авторов. В честь первых она была названа нами формулой Шухова-Кельвина.

---

[13] Значение безразмерных экономических функционалов не следует преувеличивать, как это делалось позднее. Их нельзя использовать при оптимизации параметров для пересчетов полученных результатов с одних исходных данных на другие, так как в большинстве случаев в энергетике и других областях необходим поиск экстремальных решений в присутствии ограничений, выраженных равенствами и неравенствами, которые не позволяют воспользоваться свойствами подобия экономических функционалов. Как правило, это задачи математического программирования, или задачи на условный, а не на абсолютный минимум функций многих переменных; их нельзя решать путем дифференцирования, приравнивания нулю и т. д. Ограниченные возможности ручного счета не позволяли ранее правильно формулировать и решать эти задачи, и поэтому иногда возникали недоразумения.

Вводя обозначения отношений текущих значений затрат и параметров к их значениям в экстремальной точке: $\varphi = \frac{з}{з_0}$ и $з = \frac{p}{p_0}$, и используя (23) и (24), получаем после преобразований универсальное выражение для безразмерного экономического функционала

$$\varphi = \left(\frac{\beta}{\gamma+\beta}\right)\varepsilon^{\gamma} + \left(\frac{\gamma}{\gamma+\beta}\right)\varepsilon^{-\beta}. \qquad (25)$$

Важно, что в результате преобразований исключаются постоянные Г и В, характеризующие технические особенности и экономические показатели конкретного объекта, и функция $\varphi = \varphi(\varepsilon)$ определяется коэффициентами γ и β, зависящими только от типа сооружения и вида задачи. Получение подобного безразмерного функционала возможно, когда расчетные затраты, или любые другие экономические критерии, точно или приблизительно выражаются с помощью степенных функций вида (23).

Из (23) следуют частные выражения для нелинейных и линейных цепей. Например, при оптимизации:

а) потерь напора в тепловых сетях ($m = 1$)

$$\varphi = 0{,}16\varepsilon + 0{,}84\varepsilon^{-0{,}19};$$

б) то же для водопроводов ($m = 1{,}8$)

$$\varphi = 0{,}225\varepsilon + 0{,}745\varepsilon^{-0{,}342};$$

в) для любых параметров электрических линий

$$\varphi = 0{,}5\varepsilon + 0{,}5\varepsilon^{-1}.$$

Из приведенных зависимостей следуют универсальные оценки устойчивости экстремальных решений. Например, при увеличении на станции напора в 1,5 раза против оптимального суммарные затраты по тепловым сетям возрастут только на 1,7 %, при увеличении напора в 2 раза – на 3,2 % и т. д. Соответственные же цифры для электрических сетей значительно выше и составляют 8,3, 25,0 % и т. д.

Значительная пологость экономического функционала для нелинейных гидравлических систем, имеющих, как видим, универсальный характер, приводит к различным выводам.

Первый вывод заключается в том, что здесь вполне оправданны упрощенные методы и приемы расчета, которые и применяются на практике при ручном счете.

Второй вывод относится к условиям эффективности и методике оптимизации трубопроводных сетей на ЭВМ. Очевидно, что в силу пологости функционала здесь нельзя получить заметной экономии за счет более точных методов сравнительно с приближенными. Известный эффект, иногда порядка 10–15 %, получается просто потому, что на практике диаметры выбираются по универсальным нормативам. Вместе с тем пологость функционала усиливает значение технических ограничений, особенно в форме неравенств, которые в ряде сложных случаев сильно сужают область воз-

можных решений и не могли ранее учитываться в самом процессе оптимизации. Учет этих ограничений под силу только ЭВМ.

Применение динамического программирования для оптимизации разветвленных тепловых и других трубопроводных семей. Линейное распределение напора вдоль главной магистрали дает наиболее обоснованное упрощение методики оптимизации разветвленных сетей, использующее значительную пологость экономического функционала. Известные аналитические методы, основанные на линейном законе, обладают четкой вычислительной схемой и, по сравнению с использованием метода Лагранжа, оказывались менее трудоемкими и доступными для ручного счета. Они не могли преодолеть некоторой ограниченности решений в аналитической форме (необходимость округления диаметров, единственный источник, одинаковый тип прокладки на всех участках, одинаковые напоры у всех потребителей). Однако и эти второстепенные недостатки компенсировались пологостью функционала. Использование ЭВМ позволяет их исключить с помощью дискретного счета. *Если же допустима*, обычная до сих пор, *постановка задачи с ограничениями в форме равенств 2-го закона Кирхгофа* для сравнительно простых и новых сетей, то *линейный закон остается наилучшим приемом*, упрощающим программу, сокращающим число перебираемых вариантов и время счета на машине. При этом алгоритм расчета воспроизводит, по существу, методику вариантного выбора, который вручную производился в проектных организациях в 1920–1930-е гг., еще до появления аналитических методов. При использовании ЭВМ время на каждый вариант резко сокращается, и поэтому появляется ряд дополнительных возможностей.

Любое упрощение методики, основанное на пологости экономического функционала, а также использование метода Лагранжа, неприменимо в ряде сложных случаев, встречающихся на практике. К ним относятся: проектирование сетей большой протяженности при сложном рельефе местности, а также все случаи реконструкции и расширения существующих сетей.

В работе с помощью геометрической интерпретации и расчетов показано, что при решении такой задачи математического программирования, характеризуемой выпуклым и весьма пологим функционалом, система физических условий, выражаемых равенствами **Bh** = **BH**, создает очень широкую область возможных решений. В сложных же случаях, отмеченных выше, эта система должна быть дополнена рядом технических ограничений в форме равенств и неравенств. Последние особенно важны и наиболее трудно учитываются. Расширенная таким образом система физических и технических условий приводит к суженной области, при которой пологость функционала уже не существенна. Сужение иллюстрируется для элементарных примеров сети.

Для различных трубопроводов технические ограничения имеют вполне конкретное содержание. Рассматриваются две характерные ситуации.

1. Тепловая сеть прокладывается на местности со сложным рельефом и для нее предрешено сооружение насосной подстанции. Для многих узлов сети с учетом профиля местности задаются неравенства вида “не больше

чем" и "не меньше чем": наибольшее давление в сети по условиям прочности; наименьшее давление в подающей линии по условиям невскипаемости; наибольшее давление в обратной линии по условиям прочности отопительных приборов и т. д. Таким образом, выбор наивыгоднейших напоров на станции и подстанции, а также их распределение по участкам, должны одновременно удовлетворять указанным неравенствам.

2. Проектируется расширение существующей сети. Возникает вопрос о выборе таких диаметров на новых участках, а также напоров на новых и существующих источниках, которые были бы оптимальными для реконструируемой сети в целом. Очевидно, что методика оптимизации должна исходить из расширенной схемы из p участков, в котором для p' участков решение фиксировано.

Поскольку решения для отдельных участков могут быть внутри и на границе области, включая вершины и грани многогранника, а ограничения представлены неравенствами, выбор экстремального решения для сети в целом представляет задачу нелинейного программирования.

Разработанный в СЭИ метод оптимизации разветвленных трубопроводов на ЭВМ [10, 14, 17] представляет реализацию общего принципа динамического программирования применительно к данной задаче. Предметом динамического программирования является построение оптимальных многошаговых процессов управления физическими системами во времени. В нашем же случае математическая модель интерпретируется следующим образом: физическая система – трубопроводная сеть; время – протяженность сети; управление системой – выбор диаметров; фазовая переменная – значение напора в узловой точке; изменение состояния системы в процессе регулирования – изменение напора вдоль всех участков (пьезометрический график). Процесс динамического программирования разворачивается в обратном по времени направлении, а в нашем случае – от потребителей к источникам. Если сеть питается от нескольких источников, то один из них выбирается в качестве опорного, а остальные рассматриваются как потребители, но со всем набором возможных концевых напоров.

Одной из предпосылок применения динамического программирования является аддитивность (суммируемость) физического или экономического функционала. Такая возможность имеется для разветвленных трубопроводов и вообще для всех систем, граф которых является деревом. Используя закон сохранения, можно заменить общие расходы энергии на перекачку расходами энергии на некоторых воображаемых источниках, устанавливаемых на всех участках сети, включая ответвления. В результате выражение для функционала представляется в аддитивном виде

$$з = \sum_{i=1}^{p} з_i\left(h_i\right),$$

где суммарные расчетные затраты по одному участку – функция потери напора:

$$з_i(h_i) = \varphi_i(h_i) + A_i h_i.$$

Здесь: A_i – коэффициенты, линейно зависящие от расходов на каждом участке; $\varphi_i(h_i)$ – затраты по прокладке труб на участке.

Сочетание аддитивности функционала и схемы сети в виде дерева, а также быстрота и дискретность счета, позволяют организовать направленный перебор таким образом, что в его процессе просматриваются все участки со своими индивидуальными характеристиками и показателями, и проверяются все узлы с накладываемыми на них техническими ограничениями.

Данный метод был реализован в СЭИ в программах для БЭСМ-2м, предназначенных для расчета новых сетей с числом участков до 125, и реконструируемых сетей с числом участков до 70. Повышение параметров ЭВМ позволит, соответственно, увеличить число участков.

Заключение

1. В работе излагаются элементы общей теории гидравлических цепей как новой научно-технической дисциплины и самостоятельной области научных исследований. Гидравлические цепи – это математические модели гидравлических систем. Теория существенно нелинейных цепей необходима для применения научно обоснованных методов технического расчета, а также оптимизации параметров и схем гидравлических систем различного рода с помощью цифровых ЭВМ.

При построении теории устанавливается ее преемственная связь с теорией линейных электрических цепей, что способствует дифференциации методов расчета гидравлических систем различного рода. Основанием для такой связи служат: общность структуры гидравлических цепей; выпуклость функций при течениях однофазной жидкости; использование линеаризации; применение методов последовательного приближения с помощью ЭВМ.

2. Язык матричной алгебры должен последовательно использоваться в теории гидравлических цепей, так как он обладает рядом принципиальных преимуществ в отношении компактного описания цепей, использования стандартных программ для выполнения матричных операций и решения систем линейных уравнений, классификации задач и методов их расчета, анализа сходимости и устойчивости вычислительных процессов, упрощения подготовки исходной информации и пр. Формальный метод разбиения множества ветвей на хорды и ветви дерева и, соответственно, выделения ограниченного множества систем независимых контуров является удобным средством для систематического изложения теории.

3. Установлена предпочтительность многократного преобразования расходов к контурным величинам. Показано, что для расчета цепей с сосредоточенными параметрами на ЭВМ оптимальным является применение метода контурных расходов, представляющего собой сочетание метода Ньютона с многократным преобразованием вектора расходов и соблюдением материальных балансов на каждом шаге итераций. Принятый метод решения систем линейных уравнений на каждом шаге ньютоновского процесса дает тот или иной вариант метода контурных расходов. Выбор варианта определяется видом цепи, размером задач и параметрами ЭВМ.

Анализ специальных свойств матрицы преобразования (ее квадратичной формы, преобладания диагональных элементов и пр.) в зависимости

от вида цепи и ее схемы обосновывает условия устойчивой сходимости вычислительных процессов, разъясняет причины медленной сходимости, которая имеет место в ряде случаев, и указывает способы ускорения. Показывается важность выбора близкого начального приближения, включая правильные направления потоков, для достижения быстрой и монотонной сходимости.

4. Геометрические интерпретации в виде пересечения поверхностей второго порядка и гиперплоскостей дают качественные оценки переменных гидравлических режимов. Изучение свойств этих образов (положения в пространстве, автономности, деформируемости) в зависимости от параметров гидравлической цепи непосредственно приводит к моменту линеаризации квадратичных форм, дающему приближенное решение для расходов в гидравлической системе.

Основное значение этого метода заключается в возможности построения эквивалентной линеаризованной цепи с тождественной схемой соединения. Решение соответствующей системы линейных уравнений дает близкое начальное приближение для расходов, включая точные направления потоков на всех ветвях.

5. Возможности эквивалентирования схем гидравлических цепей весьма ограничены. В работе дано обоснование известных приемов линейного преобразования схем и предложен новый метод приближенного преобразования гидравлического треугольника в звезду. В основе этого метода лежит линеаризация квадратичных форм гидравлической цепи.

6. Для выявления области применения нелинейного программирования к распределению потоков жидкости и тепла фундаментальное значение имеет теорема Максвелла, формулирующая “принцип наименьшего теплового действия” по отношению к линейным электрическим цепям. В работе дано обобщение этой теоремы для любых выпуклых гидравлических цепей с течениями однофазных жидкостей.

7. Показано, что для цепей с сосредоточенными параметрами предпочтительной является методика расчета, основанная на решении систем уравнений Кирхгофа. Для цепей с распределенными параметрами и, в частности, гравитационных цепей с несвободной конвекцией жидкости, необходима экстремальная формулировка, использующая “принцип наименьшего действия”.

В работе дано новое математическое описание расчета гидравлической и тепловой устойчивости сложных систем отопления, как задачи нелинейного программирования.

8. При выборе метода оптимизации нелинейных гидравлических систем необходим учет значительной пологости экономических функционалов. Введенные в работе безразмерные экономические функционалы, имеющие универсальный характер для ряда энергетических задач, используются при сравнительном анализе устойчивости (инертности) экстремальных решений.

9. При оптимизации простых разветвленных трубопроводов оправданным упрощением является линейное распределение напоров вдоль главной магистрали. При проектировании же сетей большой протяженности со

сложным рельефом местности, а также для всех случаев реконструкции и расширения существующих сетей необходим учет дополнительных технических ограничений в форме равенств и неравенств. Расширенная система условий сужает область возможных решений и требует применения методов нелинейного программирования с помощью ЭВМ. Разработанный в СЭИ метод оптимизации разветвленных трубопроводов использует общий принцип динамического программирования применительно к данной задаче.

* * *

Отдельные этапы работы докладывались: на секции теплофикации Моск. отд-ния НТОЭП (март 1953 г.) и Ленингр. отд-ния НТОЭП (декабрь 1955 г.), на Всесоюз. конференции по проектированию тепловых сетей ЦЕНТОЭП (март 1957 г.), на расширенной сессии СЭИ СО АН и ЦЕНТОЭП по применению ЭВМ в энергетике (сентябрь 1963 г.), на семинаре по применению ЭВМ в гидравлике Института гидродинамики СО АН (сентябрь 1963 г.), на факультете теплогазоснабжения МИСИ (март 1964 г.), в секторе водоснабжения АКХ (декабрь 1965 г.), в ЦНИИЭП инженерного оборудования (февраль 1966 г.).

Список опубликованных работ автора по теме диссертации

1. Рациональная трассировка теплопроводов // Строительная промышленность. – 1944. – № 2/3. – С. 21–24. (Совместно с Б.Л. Шифринсоном).
2. Анализ конфигурации несимметричных тепловых сетей и его применение к выбору мощности систем централизованного теплоснабжения // Изв. АН СССР. Отделение техн. наук. – 1945. – № 10/11. – С. 1105–1114.
3. Некоторые вопросы теплоснабжения городов // Изв. АН СССР. Отделение техн. наук. – 1947. – № 9.
4. Энергетическая эффективность параллельной работы однотипных ТЭЦ // Докл. АН СССР. – 1949. – Т. 68, № 2.
5. Задачи потокораспределения в сложных тепловых сетях и их решение на электрических моделях // Докл. АН СССР. – 1950. – Т. 74, № 2. – С. 243–246. (Совместно с Г.Л. Полисаром).
6. Обобщенные зависимости для технико-экономических расчетов тепловых и других сетей // Теплоэнергетика. – 1957. – № 1. – С. 28–32.
7. Вопросы технико-экономического расчета тепловых сетей // Проектирование городских тепловых сетей. – М.: Госэнергоиздат, 1958.
8. Гидравлический режим индивидуального регулирования в теплофицированных зданиях // Труды МИНХ им. Г.В. Плеханова. – 1959. – Вып. 15, ч. II.
9. Вопросы математического моделирования распределения потоков в сложных гидравлических системах // Методы математического моделирования и использования ЭВМ в энергетике: Тезисы докладов научной сессии СЭИ СО АН СССР и НТО ЭП. – Иркутск: Иркут. кн. изд-во, 1963. – С. 93–94.
10. Расчет разветвленных тепловых сетей на основе их оптимизации с использованием ЭВМ // Изв. СО АН СССР. Сер. техн. наук. – 1963. – № 10. – Вып. 3. – С. 42–48. (Совместно с А.П. Меренковым).

11. Элементы теории гидравлических цепей // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1964. – № 1. – С. 69–88.
12. Линейные и линеаризованные преобразования схем гидравлических цепей // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1964. – № 2. – С. 231–243.
13. Математические модели сложных гидравлических цепей // Методы применения ЭВМ в энергетических расчетах / Под ред. Л.А. Мелентьева. – М.: Наука, 1964. – Гл. 10. (Совместно с К.С. Светловым, В.Ф. Скрипником, С.В. Сумароковым, М.К. Такайшвили и Н.И. Толмачевой).
14. Методы математического моделирования для комплексной оптимизации разветвленных тепловых сетей / Под ред. Л.А. Мелентьева. – М.: Наука, 1964. – Гл. 11. – С. 270–291. (Совместно с А.П. Меренковым).
15. Вопросы математического моделирования и оптимизации гидравлических систем с применением ЭЦВМ // Методы математического моделирования в изучении проблем энергетики / Под ред. Л.А. Мелентьева, Л.С. Беляева. – Иркутск: Иркут. кн. изд-во, 1966. – Гл. 6–1. – С. 343–348.
16. Гравитационные гидравлические цепи с распределенными параметрами и методика их расчета // Методы математического моделирования в изучении проблем энергетики / Под ред. Л.А. Мелентьева, Л.С. Беляева. – Иркутск: Иркут. кн. изд-во, 1966. – Гл. 6–2. – С. 349–362.
17. О выборе диаметров труб разветвленных тепловых сетей с использованием ЭВМ // Теплоэнергетика. – 1966. – № 6. – С. 60–65. (Совместно с А.П. Меренковым и С.В. Сумароковым).

РАЦИОНАЛЬНАЯ ТРАССИРОВКА ТЕПЛОПРОВОДОВ В ПРОМЦЕХАХ[1]

Б.Л. Шифринсон, В.Я. Хасилев

I. Рациональное проектирование промышленных сооружений, дающее наибольший экономический эффект и минимальный расход стратегических материалов, имеет особенно важное значение в условиях военного времени.

Настоящая статья посвящена внутрицеховым теплопроводам (прокладываемым от места ввода тепловой сети или местной котельной к отдель-

[1] Строительная промышленность. – 1944. – № 2/3. – С. 21–24. Сокращенное изложение работы, выполненной авторами по предложению Главсантехмонтажа Наркомстроя и доложенной на III Научно-исследовательской конференции Московского инженерно-строительного института.

ным агрегатам, размещенным в различных точках цеха) и имеет целью дать метод выбора наивыгоднейшей схемы трассировки с наименьшим расходом металла на сеть.

Обычным критерием экономической эффективности для сравнения различных вариантов тепловых сетей служат годовые эксплуатационные расходы. Эти расходы связаны с амортизацией и ремонтом трубопроводов, теплоотдающих приборов и насосных установок, потерями тепла и затратой электроэнергии.

При заданных параметрах теплоносителя расходы, связанные с теплоотдающими приборами, остаются постоянными и, следовательно, не влияют на выбор вариантов.

Поскольку во внутрицеховых теплопроводах располагаемая потеря напора – обычно величина заданная и постоянная, расходы на оплату электроэнергии и на амортизацию и ремонт насосной установки являются также величинами постоянными и не влияющими на выбор вариантов.

Таким образом, основным критерием для выбора наивыгоднейшей схемы трассировки внутрицеховых теплопроводов служит расход по трубопроводам.

В современных условиях для рассматриваемой задачи этот критерий – вес металла, который мы и примем для сравнительной оценки сопоставляемых схем.

Предлагаемый метод принципиально ничем не отличается от метода сопоставления по первоначальным затратам или по эксплуатационным расходам[2] и может быть использован при сопоставлении и по этим критериям.

II. Для большинства трубопроводов[3] в современных теплоснабжающих установках (табл. 1) вес металла трубы в зависимости от ее внутреннего диаметра может быть выражен формулой

$$\rho = 226d^{1,37}, \qquad (1)$$

где ρ – вес 1 пм трубы, кг/м; d – внутренний диаметр трубы, м.

Если диаметр трубы выражается в мм, то

$$\rho = 0{,}175d^{1,37}. \qquad (1')$$

III. Нагревательные приборы (отопительные агрегаты) устанавливаются, как правило, на несущих колоннах цехов. Расстояние между колонна-

Таблица 1

Внутренний диаметр трубы, мм	33	39,5	51,5	70	82	100,5	125	150
Фактический вес 1 пм трубы, кг/м	2,19	2,59	3,99	5,4	6,87	9,64	12,3	17,2
Вес 1 пм трубы по формуле, кг/м	2,1	2,65	3,85	5,81	7,28	9,64	12,3	16,7
Расхождение, %	−4,3	+2,7	−3,5	+7,6	+6,0	0	0	−2,9

[2] Б.Л. Шифринсон. Выбор конфигурации водяной тепловой сети // Теплосиловое хозяйство. 1939. № 10–11.

[3] ГОСТ 5098/1.

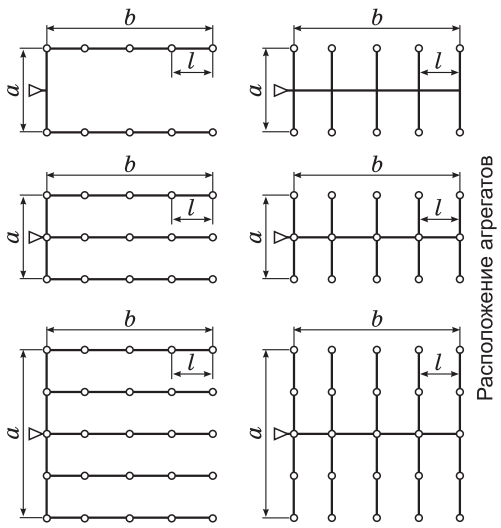


Рис. 1. Схемы расположения магистралей:

а – периферические; *б* – центральные.

ми принимается обычно одинаковым для всех пролетов цеха (по длине или ширине). По ряду причин строительного и технологического характера расстояние между колоннами для самых разнообразных цехов стандартное, например 6, 12, 18 и 24 м.

В соответствии с расположением колонн в цехе отопительные агрегаты размещаются на разных расстояниях друг от друга (в соответствии с пролетами между колоннами), при этом, как правило, устанавливаются агрегаты одинаковой мощности. Указанное обстоятельство создает предпосылки для типизации схем трассировки теплопроводов в промцехах.

Рассмотрение существующих схем трассировки показывает, что из них наиболее распространены два вида:

1) схемы с расположением нескольких магистралей по длине цеха вдоль колонн с непосредственным присоединением агрегатов к этим магистралям (рис. 1, *а*); схемы такого типа условно названы “периферическими”;

2) схемы с одним магистральным трубопроводом по длине цеха, расположенным в середине цеха; присоединение агрегатов к магистрали при этой схеме осуществляется при помощи ответвлений, расположенных по ширине цеха (см. рис. 1, *б*); схемы такого типа условно названы “центральными”.

В зависимости от числа рядов агрегатов образуются схемы: двухрядные, трехрядные, пятирядные и т. п.

Решение вопроса рациональной схемы трассировки трубопроводов при данном числе агрегатов и заданных геометрических размерах отдельных элементов сети (длина и ширина цеха, расстояние между агрегатами), по существу, сводится к определению выгодности “периферической” или “центральной” схемы в каждом отдельном случае.

IV. Установим основные зависимости, определяющие расход металла для периферических и центральных схем при двух-, трех- и пятирядном расположении агрегатов[4].

[4] Все приводимые расчеты относятся к водоводам. Однако методика расчетов остается справедливой для любого вида теплопроводов (пар, конденсат), а также водопроводов, воздухопроводов, газопроводов и др.

Диаметры отдельных участков сети внутрицеховых теплопроводов определяются по формуле[5]:

$$d_x = \chi \frac{G_x^{0,38}}{i_x^{0,19}} \text{ [м]}, \tag{2}$$

где $\chi = 4{,}57 \cdot 10^2$ – для водоводов при удельном весе воды $\gamma = 975$ кг/м^3 и средней высоте выступов шероховатости $k = 0{,}2$ мм; G_x – нагрузка на отдельном участке, т/ч; i_x – удельная потеря напора на трение на участке, мм вод. ст./м.

Вес металла в трубопроводах в общем виде выражается следующей формулой[6]:

$$M = \sum_{x=1}^{m} \rho_x l_x \,, \tag{3}$$

где l_x – длина участка сети, м; m – число участков в сети.

После подстановки в формулу (3) значения ρ из формул (1) и (2) получаем выражение:

$$M = 3{,}29 \sum_{x=1}^{m} \frac{G_x^{0,52} l_x}{i_x^{0,26}} \,. \tag{4}$$

В соответствии с наблюдающимся характером размещения агрегатов в цехе – на равных расстояниях друг от друга и одинаковой теплопроизводительности – формула (4) применительно к "периферической" схеме с двухрядным расположением агрегатов может быть представлена в следующем виде:

$$M_{n2} = 6{,}58 \frac{G_a^{0,52}}{i_{\text{г}}^{0,26}} lN \,, \tag{5}$$

где

$$N = 1 + 2^{0,52} + 3^{0,52} + 4^{0,52} + \ldots n^{0,52}. \tag{6}$$

В написанных выражениях обозначают:

G_a – количество воды, проходящей через один агрегат, т/ч;

$i_{\text{г}}$ – удельная потеря напора на трение вдоль главной магистрали цеховой сети, мм вод. ст./м;

l – длина участка главной магистрали, м;

n – число участков главной магистрали.

Под главной магистралью сети понимается направление от ввода в цех до наиболее удаленного от него отопительного агрегата.

Выражение (6) с достаточной степенью точности может быть заменено выражением

$$N = 0{,}87 n^{1,4}. \tag{7}$$

---

[5] Шифринсон Б.Л. Основной расчет тепловых сетей. М.: Госэнергоиздат, 1940.

[6] Здесь и далее вес металла определяется для одной трубы независимо от числа труб, прокладываемых совместно (для одной "нитки").

После подстановки значения из выражения (7) формула (5) приобретает вид:

$$M_{n2} = 5,72 \frac{G_a^{0,52}}{i_{\text{г}}^{0,26}} l\, n^{1,4}. \tag{8}$$

Как можно видеть из рис. 1, *а*, для "периферической" схемы с двухрядным расположением

$$n = \frac{1}{l}\left(b + \frac{a}{2}\right), \tag{9}$$

где a – ширина цеха, м; b – длина цеха, м.

Подстановкой выражения (9) в формулу (8) можно получить окончательное выражение для определения веса металла в трубопроводах "периферической" схемы с двухрядным расположением агрегатов

$$M_{n2} = \frac{5,72}{l^{0,4}}\left(b + \frac{a}{2}\right)^{1,4} \frac{G_a^{0,52}}{i_{\text{г}}^{0,26}} \text{ [кг]}. \tag{10}$$

Для "центральной" схемы с двухрядным расположением агрегатов (см. рис. 1, *б*) аналогичным путем можно получить следующее выражение для определения веса металла в трубопроводах:

$$M_{\text{ц}2} = \left[6,58 \frac{\left(\frac{a}{2}\right)^{1,26}}{l^{0,26}} N' + 4,03 \frac{b^{1,4}}{l^{0,4}} \right] \frac{G_a^{0,52}}{i_{\text{г}}^{0,26}}, \tag{11}$$

где a, b и l имеют те же значения, что и в предыдущих формулах.

$$N' = 1 + \frac{1}{2^{0,26}} + \frac{1}{3^{0,26}} + \frac{1}{4^{0,26}} + \ldots + \frac{1}{n^{0,26}}, \tag{12}$$

где n – число участков главной магистрали.

Выражение (12) может быть достаточно точно представлено простой степенной функцией:

$$N' = n^{0,85}. \tag{13}$$

Заменив выражением (13) значение N' в формуле (11) и выразив число участков главной магистрали n в виде отношения

$$n = \frac{b}{l}, \tag{14}$$

получим окончательную формулу для определения веса металла в трубопроводах "центральной" схемы с двухрядным расположением агрегатов:

$$M_{\text{ц}2} = \frac{2,78}{l^{0,4}}\left(1,45 b^{1,4} + \frac{a^{1,26} b^{0,85}}{l^{0,71}}\right) \frac{G_a^{0,52}}{i_{\text{г}}^{0,26}} \text{ [кг]}. \tag{15}$$

На основании выводов, аналогичных предыдущим, могут быть получены формулы для определения веса металла в трубопроводах "периферических" и "центральных" схем при трехрядном, пятирядном и других расположениях агрегатов.

Эти формулы, равно как и формулы (11) и (15), могут быть представлены в виде:

$$M = \mu Z, \tag{16}$$

где μ – фактор конфигурации сети, зависящий от геометрических свойств сети: ширины цеха – a, длины цеха – b и расстояния между агрегатами – l, устанавливаемыми вдоль цеха; Z – характеристика цеха, зависящая от расхода теплоносителя одним агрегатом, и удельной потери напора в магистрали сети:

$$Z = \frac{G_a^{0,52}}{i_{\text{т}}^{0,26}}. \tag{17}$$

Таким образом, определение веса металла в трубопроводах для любой схемы, а также сопоставление схем друг с другом может быть произведено по исходным данным, которыми обычно располагают до начала расчета сети. С достаточной для практики степенью точности предлагаемая формула может быть представлена в виде

$$Z \approx \sqrt{\frac{G_a}{\sqrt{i_{\text{т}}}}}. \tag{18}$$

Из написанного нетрудно убедиться также в том, что, приняв в качестве критерия экономичности той или иной схемы вес металла в трубопроводах, сравнение схем можно производить исключительно по фактору конфигурации μ, отдавая предпочтение той схеме, для которой значение μ оказывается наименьшим.

Формулы для определения факторов конфигурации сетей наиболее употребляемых схем приведены в табл. 2.

Таблица 2

Число рядов агрегатов	Наименование схемы	
	периферическая (см. рис. 1, *а*)	центральная (см. рис. 1, *б*)
2	$\mu = \frac{5,72}{l^{0,4}}\left(b + \frac{a}{2}\right)^{1,4}$	$\mu = \frac{2,78}{l^{0,4}}\left(1,45b^{1,4} + \frac{a^{1,26}b^{0,85}}{l^{0,7}}\right)$
3	$\mu = \frac{5,72}{l^{0,4}}\left[\left(b + \frac{a}{2}\right)^{1,4} + b^{1,4}\right]$	$\mu = \frac{2,78}{l^{0,4}}\left(1,78b^{1,4} + \frac{a^{1,26}b^{0,85}}{l^{0,7}}\right)$
4	$\mu = \frac{5,72}{l^{0,4}}\left[\left(b + \frac{a}{2}\right)^{1,4} + 3b^{1,4}\right]$	$\mu = \frac{3,35}{l^{0,4}}\left(1,91b^{1,4} + \frac{a^{1,26}b^{0,85}}{l^{0,7}}\right)$

Размеры пролетов между агрегатами (l), являясь в известной степени стандартными, изменяются в рамках стандартных значений в весьма узких пределах. Поэтому, приняв постоянными некоторые значения l, можно существенно упростить формулы для фактора конфигурации.

Как показывает рассмотрение большого числа существующих и проектируемых цехов, отопительные агрегаты чаще всего устанавливаются через каждые 12 м.

Для этого расстояния (12 м) на рис. 2, 3 и 4 приведены графики, дающие значения факторов конфигурации наиболее употребительных схем в зависимости от типа схемы, ширины и длины цеха.

Приведенными формулами и графиками можно пользоваться не только для выбора наиболее рациональной схемы трассировки внутрицеховых теплопроводов, но и в тех часто встречающихся на практике случаях, когда возникает потребность в ориентировочном определении веса металла в трубопроводах цехов.

Представляется интересным произвести общее исследование вопроса о степени экономичности той или иной схемы трассировки в зависимости от основных размеров цеха (длины, ширины) и числа рядов агрегатов (по ширине цеха).

На рис. 5 приведен график, дающий возможность произвести такого рода исследования для расстояния между агрегатами $l = 12$ м, чаще всего встречающегося на практике. Изображенные на графике кривые указывают на значительные колебания в экономии, которая может быть достигнута при правильном выборе схемы трассировки.

На практике графики типа, представленного на рис. 5, построенные для различных исходных данных, позволяют сравнительно просто и быстро выбирать наиболее рациональные схемы трассировки внутренних теплопроводов для различных промышленных цехов.

V. Приводимые ниже примеры иллюстрируют применение предлагаемого метода.

Пример 1. Цех имеет: $a = 20$ м, $b = 60$ м. Отопительные агрегаты расположены вдоль цеха двумя радами. Расстояние между агрегатами $l = 12$ м. Тепловая нагрузка каждого агрегата $Q_a = 10\,000$ ккал/ч. Располагаемая удельная потеря напора вдоль главной магистрали $i_г = 8$ мм вод. ст/м. Теплоноситель – вода с перепадом температуры между подающей и обратной магистралью 60° ($\tau = 60°$).

Требуется:

а) сравнить трассировки внутренних теплопроводов цеха по периферической и центральной схемам;

б) определить вес металла в подающей и обратной магистралях для обеих сравниваемых схем.

Решение. Пользуясь кривыми, приведенными на рис. 2, определяем значение факторов конфигурации для обеих схем:

для периферической: $\mu = 805$;

для центральной: $\mu = 713$.

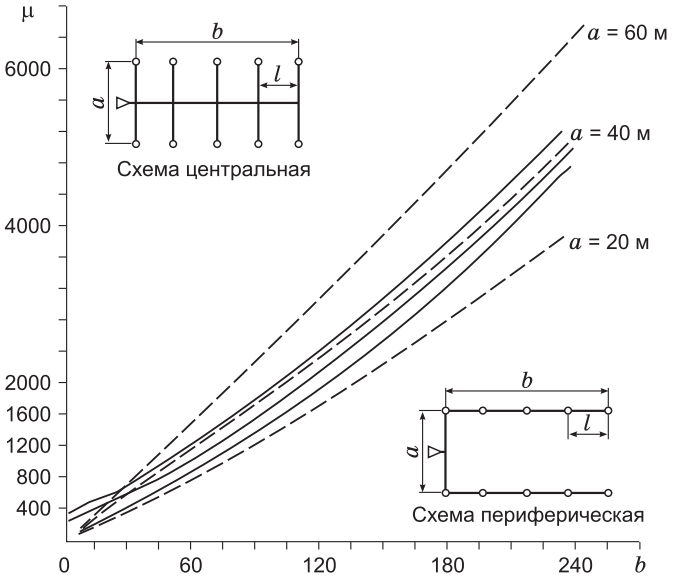


Рис. 2. График зависимости конфигурации сети μ от длины *b* и ширины *a* цеха при *двухрядном* расположении агрегатов (длина пролета между агрегатами 12 м).

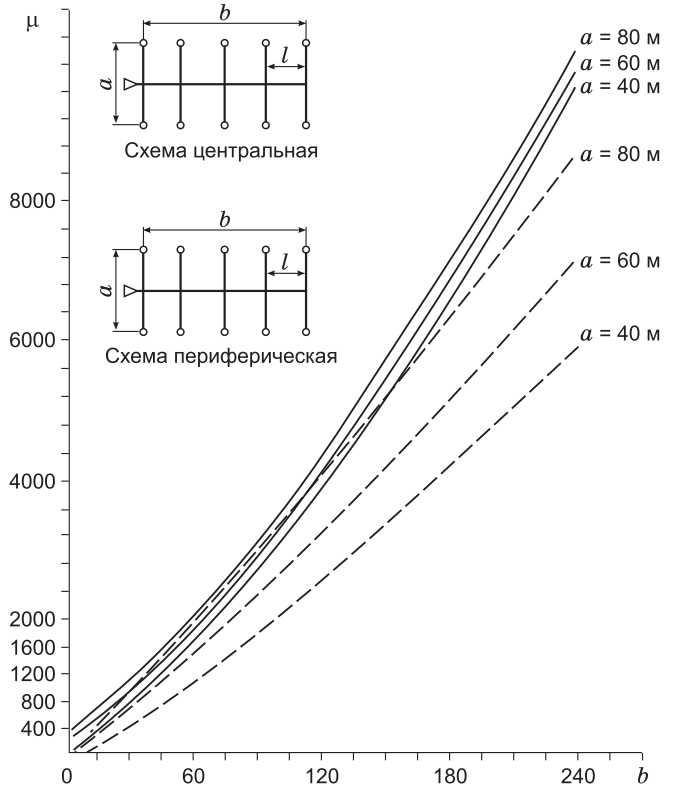


Рис. 3. График зависимости конфигурации сети μ от длины *b* и ширины *a* цеха при *трехрядном* расположении агрегатов (длина пролета между агрегатами 12 м).

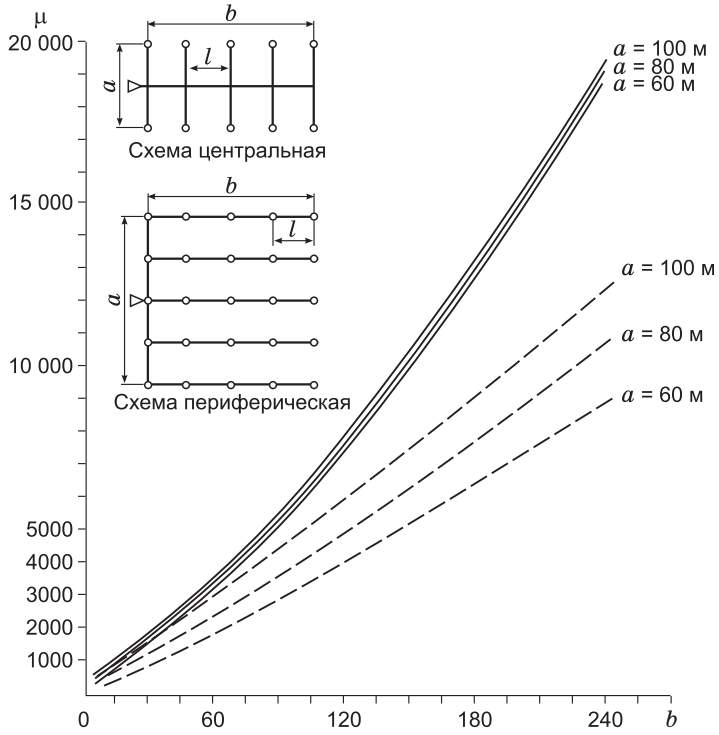


Рис. 4. График зависимости конфигурации сети μ от длины *b* и ширины *a* цеха при *пятирядном* расположении агрегатов (длина пролета между агрегатами 12 м).

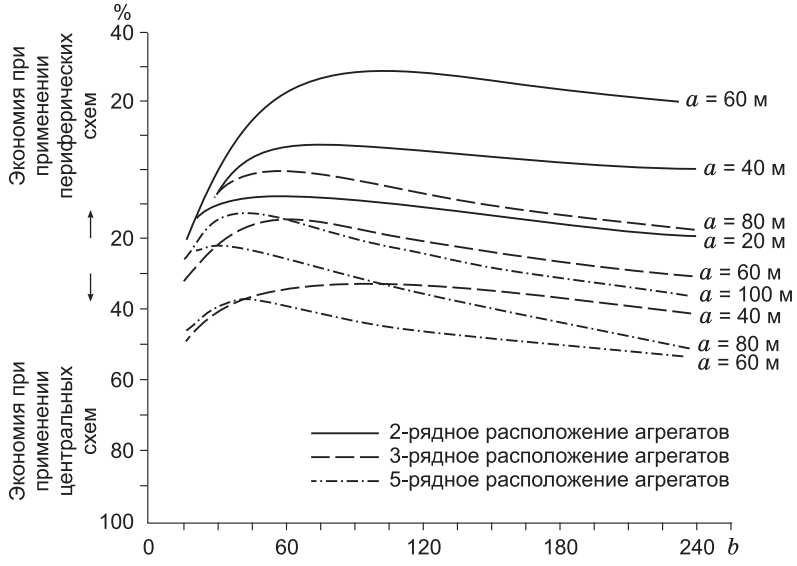


Рис. 5. График сравнительной экономии металла при применении периферических и центральных схем (длина пролета между агрегатами 12 м).

Из сопоставления этих значений уже можно сделать вывод, что периферическая схема будет несколько целесообразнее, так как сравнительно с центральной она даст экономию металла

$$\frac{805-713}{713}\cdot 100 = 13\ \%.$$

Расход воды, проходящей через один агрегат, составит:

$$G_a = \frac{Q_a}{\tau \cdot 1000} = \frac{10\ 000}{60 \cdot 1000} = 0{,}167\ \text{т/ч}.$$

Характеристика цеха равна:

$$Z = \frac{G_a^{0,52}}{i_3^{0,26}} \approx \sqrt{\frac{G_a}{\sqrt{i_3}}} = \sqrt{\frac{0{,}167}{\sqrt{8}}} = 0{,}243.$$

Вес металла в трубопроводах подающей и обратной сети:

а) для периферической схемы: $M = 2 \cdot 805 \cdot 0{,}243 = 397$ кг;

б) для центральной схемы: $M = 2 \cdot 713 \cdot 0{,}243 = 347$ кг.

Таким образом, применив центральную схему, можно по сравнению с периферической в данном случае сэкономить всего лишь 392 − 347 = 45 кг металла.

Пример 2. Цех имеет $a = 80$ м и $b = 240$ м при пятирядном расположении отопительных агрегатов.

Пользуясь кривыми, приведенными на рис. 4, определяем значения факторов конфигурации сети:

а) для периферической схемы: $\mu = 19\ 450$,

б) для центральной схемы: $\mu = 10\ 800$.

В этом случае экономия металла при применении центральной схемы получается уже в размере:

$$\frac{19\ 450-10\ 800}{10\ 800}\cdot 100 = 80\ \%.$$

Вес металла в трубопроводах соответственно составит:

а) для периферической схемы: $M = 2 \cdot 19\ 450 \cdot 0{,}243 = 9480$ кг;

б) для центральной схемы: $M = 2 \cdot 10\ 800 \cdot 0{,}243 = 5260$ кг.

Таким образом, если применить, как и в примере 1, периферическую схему, то по сравнению с центральной получится перерасход: 9480 − 5260 = = 4220 кг металла, *чем уже пренебрегать никак нельзя*.

Существенный интерес представляет сопоставление значений веса металла в трубопроводах, получаемых по предлагаемому методу, с фактическим весом металла, который получается в результате обычного гидравлического расчета с округлением диаметров труб до стандартных значений, и выяснение, какие же в конечных результатах могут быть отклонения. Произведенный авторами ряд расчетов показал, что получающиеся отклонения по своей величине весьма незначительны и не выходят за пределы ±2 ч 3 %.

АНАЛИЗ КОНФИГУРАЦИИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ К ВЫБОРУ МОЩНОСТИ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ*

В.Я. Хасилев
(Представлено академиком Г.М. Кржижановским)

Теплофикационные и теплоснабжающие системы с протяженными тепловыми сетями сложной конфигурации получают широкое распространение в городах и промышленных центрах. Поэтому большое значение имеют вопросы, связанные с разработкой обобщающих аналитических методов расчета разветвленных несимметричных тепловых сетей.

Расчеты такого рода возникают при выборе рациональных схем тепловых сетей, при оценке правильности намечаемой конфигурации тепловых сетей отдельных районов и т. п. Аналогично стоят эти задачи для других видов трубопроводных сетей (паровоздухогазопроводы и пр.).

Аналитические расчеты сложных тепловых сетей имеют особое значение при решении комплексных задач теплофикации и теплоснабжения, в частности, при выборе оптимальной мощности теплогенерирующих установок.

Аналитический метод расчета протяженных тепловых сетей связан с нахождением взаимосвязи между конфигурацией тепловых сетей различной протяженности $\left(\sum l\right)$, пропускной способностью сети (Q, мгкал/ч или G, тн/ч) и технико-экономическими показателями.

Существование зависимости (практически линейного вида) между показателями затрат по тепловым сетям, диаметрами труб на отдельных участках сети d_i и их длинами l_i предопределило введение специальных характеристик тепловых сетей, выражающих в различной форме сумму произведений диаметров и длин на отдельных участках, причем число слагаемых этой суммы i определяется числом участков главной магистрали n и ответвлений m. В литературе получили распространение:

а) удельная материальная характеристика [1]

$$M_{\text{у}} = \frac{\sum d_i l_i}{Q} \text{ мм} \cdot \text{км} \cdot \text{ч/Мкал};$$

б) характеристика тепловых сетей [2]

$$\Phi = \sum_{1}^{n+m} \frac{G_i^{0,18} l^{1,19}}{\vartheta_i^{0,19} \gamma_i^{0,19}},$$

* Известия Академии наук СССР. Отделение техн. наук. 1945. № 10–11. (Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского. Отдел общей энергетики Академии наук СССР. Поступила в редакцию 4 июля 1945 г.).

исключающая значения диаметров труб, обычно не известных в начале расчета. Связь между приведенными характеристиками определяется простым соотношением

$$M_y = \frac{\chi}{\Delta p^{0,19}} \frac{\Phi}{Q}, \qquad (1)$$

где χ – постоянный коэффициент, зависящий от шероховатости труб и рода теплоносителя [2], Δp – потеря давления в сети, кг/м^2 (без учета потерь на местные сопротивления).

Очевидно, что метод определения характеристики сети Ф или M_y суммированием характеристик отдельных участков совершенно неприемлем для аналитического исследования и решения комплексных задач централизованного теплоснабжения и теплофикации в общей форме, так как он не позволяет учесть, а в некоторых случаях исключить, многообразное влияние конфигурации тепловых сетей с очень большим числом участков ($n + m$). Кроме того, для практических расчетов указанный метод является весьма громоздким.

Методы приближенного определения характеристик тепловых сетей, предлагавшиеся ранее [1, 3], основывались на предпосылке о симметричности сетей в районе. В результате были получены отдельные выражения применительно к типовым трассировкам (при различных вариантах расположения источника) и с учетом правильных геометрических форм контура (квадрат, треугольник, окружность и др.), к которым условно приводятся границы теплоснабжаемого района. При этом влияние пропускной способности и конфигурации на характеристику сети учитывалось совместно.

ФАКТОР КОНФИГУРАЦИИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Нами предлагается метод приближенной оценки конфигурации несимметричных водяных тепловых сетей в зависимости от числа и сочетания участков, а также основных линейных размеров: длины главной магистрали L и суммарной длины всех ответвлений $\sum_1^m l_i$. При этом предполагается, что любая сеть может рассматриваться как сложное соединение “элементарных” симметричных сетей, расположенных в районе с равномерно распределенной теплоплотностью, т. е. с одинаковой тепловой нагрузкой Q_m во всех точках потребления. Последняя предпосылка имеет наибольшую точность для районов жилищно-коммунального строительства. Основные положения предлагаемой методики могут быть распространены на трубопроводные сети различного рода (паропроводы, газопроводы и т. п.). Для “элементарной” сети, изображенной на рис. 1, при условии равномерного распределения давления главной магистрали[1], характерны соотношения, приведенные в табл. 1.

[1] Исследованием Б.Л. Шифринсона [2, § 29] доказано, что равномерное распределение давления практически совпадает с распределением давления по методу расчета на минимум издержек производства.

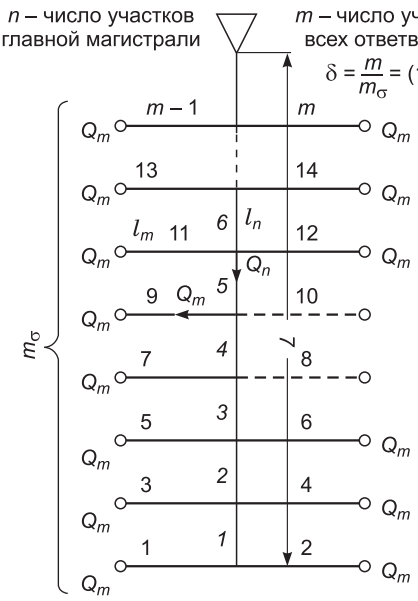


Рис. 1. Схема элементарной сети.

Из приведенных соотношений следует, что сумма произведений диаметров и длин отдельных участков для главной магистрали пропорциональна выражению $\sum_1^n q_i^{0,18}$, а для ответвлений $\sum_1^m \frac{1}{\vartheta^{0,19}}$. Характеристика главной магистрали при двустороннем и симметричном расположении ответвлений определяется выражениями:

$$\sum_1^n q_i^{0,38} = \left(\frac{2}{m}\right)^{0,38} N(n), \qquad (2)$$

$$N(n) = 1 + 2^{0,38} + 3^{0,38} + \ldots + n^{0,38}. \qquad (3)$$

При одностороннем расположении ответвлений $\sum_1^n q_i^{0,38} = \left(\frac{1}{m}\right)^{0,38} N(n)$.

Для большинства тепловых сетей $n > 5$. При этом условии с помощью логарифмической анаморфозы можно получить приближенное выражение $N(n) \approx 0,89 \cdot n^{1,32}$.

Для оценки общего и чаще всего встречающегося случая несимметричного расположения ответвлений по обе стороны главной магистрали целесообразно введение понятия о “числе сторон” тепловой сети:

$$\delta = \frac{m}{m_1}, \qquad (4)$$

где $m_б$ – бóльшее число ответвлений по одну сторону главной магистрали.

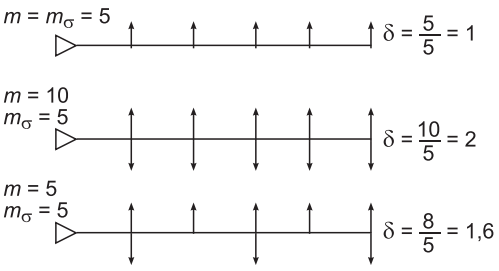
Таким образом, как это иллюстрирует рис. 2, для односторонней сети $\delta = 1$, для двусторонней – $\delta = 2$ и для несимметричной сети – $1 \le \delta \le 2$. Очевидно, что в общем случае взамен выражения (2) справедливо равенство

$$\sum_1^n q_i^{0,38} = \frac{f(\delta)}{m^{0,38}} N(n).$$

Таблица 1

Участок теплосети	Относительный расход тепла	Относительное падение давления
Для главной магистрали, состоящей из n участков	$q_n = \frac{Q_n}{Q} = \text{var}$	$\vartheta_n = \frac{\Delta p_n}{\Delta p} = \text{const}$
Для ответвлений, состоящих из m участков	$q_m = \frac{Q_m}{Q} = \text{const}$	$\vartheta_m = \frac{\Delta p_m}{\Delta p} = \text{var}$

Рис. 2.



Численные значения $f(\delta)$, изменяющиеся в пределах от 1 до 2, могут быть получены при последовательном увеличении числа ответвлений односторонней сети от 0 до $\frac{m}{2}$. Характер изменения $f(\delta)$ зависит от того, в каком направлении происходит увеличение числа ответвлений: от "последнего потребителя" $f_1(\delta)$ или от "источника" $f_2(\delta)$.

Вычисление функций $f_1(\delta)$ и $f_2(\delta)$ можно производить по формулам

$$f_1(\delta) = 1{,}34 - 2{,}7 \cdot e^{2{,}18\delta} \text{ и } f_2(\delta) = 0{,}935 + 0.0156\delta^{4{,}35},$$

полученным в результате соответствующей обработки расчетных данных. Однако, как это следует из графика (рис. 3), можно в дальнейших рассуждениях с достаточной степенью точности допустить, что $f_1(\delta) \approx f_2(\delta) \approx \delta^{0{,}38}$ и, следовательно,

$$\sum_1^n q_i^{0{,}38} = 0{,}89 \frac{n^{1{,}32}}{m^{0{,}38}}. \qquad (5)$$

Характеристика ответвлений при двустороннем и симметричном расположении их относительно главной магистрали определяется выражением

$$\sum_1^m q_i = \varphi(\delta) N(m) \left(\frac{L}{n} \xi \right)^{1{,}19}. \qquad (6)$$

Здесь $\xi = \frac{n \sum_1^m l_i}{mL}$ – среднее отношение длин ответвлений к длинам участков главной магистрали

$$N(m) = (n + \xi)^{0{,}19} \left[\frac{1}{\xi^{0{,}19}} + \frac{1}{(\xi+1)^{0{,}19}} + \frac{1}{(\xi+2)^{0{,}19}} + \ldots + \frac{1}{(\xi+n-1)^{0{,}19}} \right]. \qquad (7)$$

Для подавляющего большинства тепловых сетей $0{,}25 \le \xi \le 2{,}0$ и $n > 5$. При этом с большой степенью точности следует, что $N(m) = 1{,}2\ n$.

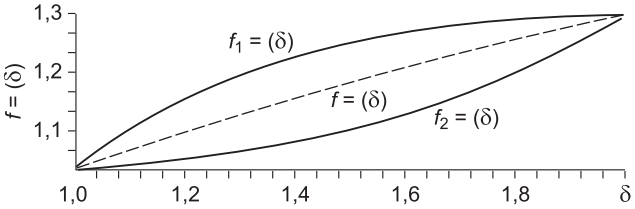


Рис. 3. График функции $f(\delta)$.

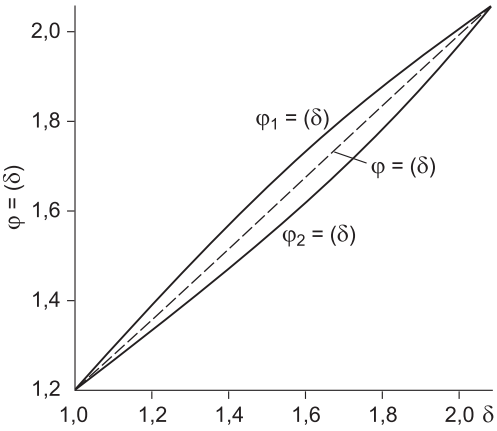


Рис. 4. График функции φ(δ).

Значение функции φ(δ), оценивающей несимметричность расположения ответвлений, определяется аналогично $f(\delta)$. При этом $\varphi_1(\delta) = 4{,}0 - 4{,}4 \cdot e^{-0{,}4\delta}$ и $\varphi_2(\delta) = 0{,}5 + 0{,}457 \cdot \delta^{1{,}65}$. Как это видно из кривых на рис. 4, с достаточной степенью точности с достаточной степенью точности можно принять, что $\varphi_1(\delta) \approx \varphi_2(\delta) \approx \delta$. Основные соотношения табл. 1, а также выражения (2) и (6) позволяют установить единый критерий для оценки геометрических свойств сети – *фактор конфигурации*

$$K = K_n + K_m = f\left(L, \sum_1^m l_i, n, m, m_1\right),$$

где K_n – фактор конфигурации главной магистрали, K_m – фактор конфигурации ответвлений. Для практических расчетов рекомендуется использование номограмм, приведенных из рис. 5 (фактор конфигурации главной магистрали) и на рис. 6 (фактор конфигурации ответвлений). Ключ для пользования этими номограммами указан на чертежах.

Общее выражение для фактора конфигурации сложной несимметричной водяной тепловой сети имеет следующий вид:

$$K = 1{,}2\frac{n}{m_1} = \left[0{,}74\frac{L^{1{,}19} m_1^{0{,}62}}{n^{0{,}68}} + \frac{\left(\sum_1^m l_i\right)^{1{,}19}}{m^{0{,}57}}\right]. \quad (8)$$

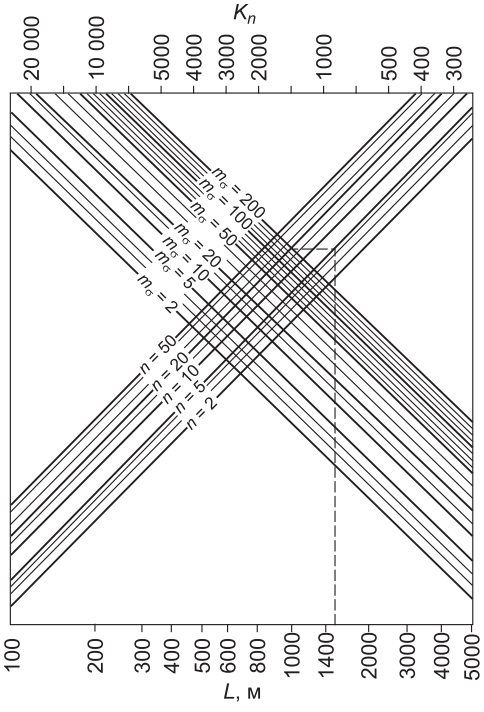


Рис. 5. Номограмма для определения фактора конфигурации главной магистрали (K_n).

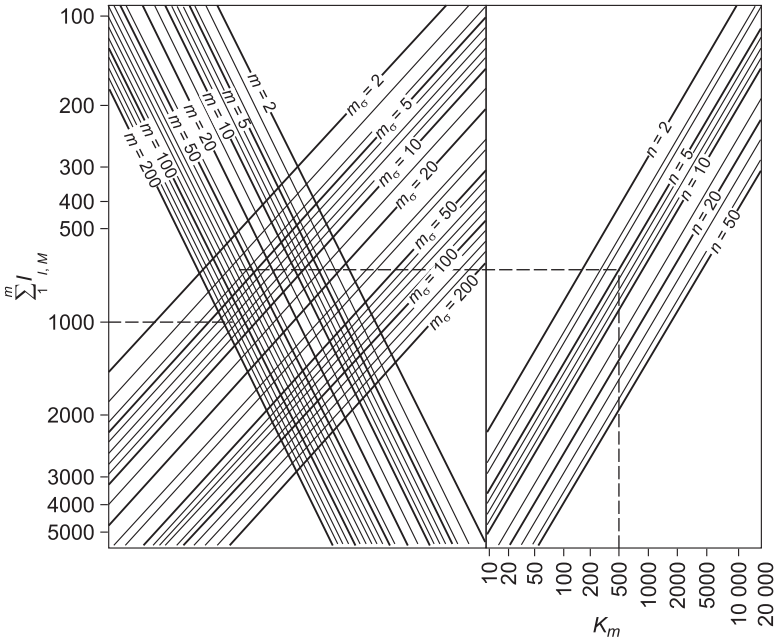


Рис. 6. Номограмма для определения фактора конфигурации ответвления (K_m).

Связь между фактором конфигурации и характеристиками тепловой сети устанавливается следующими соотношениями:

$$M_y = \frac{K}{Q^{0,62}\Delta p^{0,19}\Delta t^{0,38}}, \tag{9}$$

$$\Phi = \left(\frac{Q}{\Delta t}\right)^{0,38} \cdot K, \tag{10}$$

где Δt – расчетный перепад температур водяной тепловой сети, °С.

МЕТОДИКА ВЫБОРА ЧИСЛА И МОЩНОСТИ УСТАНОВОК ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Одной из важных задач, возникающих при проектировании и строительстве систем централизованного теплоснабжения новых и восстанавливаемых жилых районов, является установление оптимальной мощности теплогенерирующей установки и соответствующей пропускной способности тепловой сети.

С точки зрения экономии годовых эксплуатационных расходов $Э_k$ и капиталовложений K_k по котельной, предпочтительно увеличение мощ-

[2] Строго говоря, линии, изображающие эту зависимость, обладают незначительной кривизной. Однако с учетом практических пределов изменения тепловой мощности установок и необходимой степени точности расчетов вполне допустимо аппроксимировать эти кривые прямыми линиями.

ности установки до значений расчетной тепловой нагрузки всего района. Определяющим здесь является существование линейной зависимости между $Э_k$ и K_k и тепловой нагрузкой Q^2.

Таким образом, удельные эксплуатационные расходы и капиталовложения могут быть представлены в следующем виде:

$$\frac{Э_k}{Q} = \frac{C}{Q} + D \ \text{[руб/год·мгкал]}, \tag{11}$$

$$\frac{K_k}{Q} = \frac{A}{Q} + B \ \text{[руб/мгкал]}, \tag{11'}$$

где A, B, C и D – постоянные коэффициенты, зависящие от типа теплогенерирующей установки, ее оборудования, рода топлива, способа его сжигания и пр.

Элементом теплоснабжающей системы, ограничивающим целесообразность увеличения ее мощности, являются тепловые сети.

Указанное определяет существование оптимальной мощности системы централизованного теплоснабжения $(Q_{\text{opt}})_э$, соответствующей минимуму эксплуатационных расходов, либо минимуму капиталовложений $(Q_{\text{opt}})_k$ для всего района в целом. Оптимальное число центральных котельных определится из соотношения $n_{\text{F:}} = \frac{Q}{Q_{\text{opt}}}$.

Решение поставленной задачи требует установления аналитической зависимости между показателями затрат по сети и тепловой нагрузкой. Отсутствие общих зависимостей такого рода приводило к тому, что при определении оптимальной мощности источников теплоснабжения приходилось по существу пользоваться методом вариантов либо, как это делалось в предыдущих исследованиях [4, 5], решать частные задачи применительно к типовым трассировкам симметричных сетей.

Предложенный нами выше метод оценки геометрических свойств тепловых сетей с помощью фактора конфигурации делает возможным решение поставленной задачи для систем централизованного теплоснабжения в общей форме.

Удельные технико-экономические показатели по тепловым сетям представляются в следующем виде:

$$\frac{Э_c}{Q} = f_c a \frac{\sum l}{Q} + \frac{Y'}{\Delta t^{0,48} Q^{0,62}} K, \tag{12}$$

$$\frac{K_c}{Q} = a \frac{\sum l}{Q} + \frac{U'}{\Delta t^{0,48} Q^{0,62}} K. \tag{12'}$$

Здесь f_c – нормы амортизационных и прочих отчислений по сети, a – постоянная слагаемая капиталовложений, зависящая от способа прокладки сети (руб/пм), Δt – расчетный температурный перепад водяной тепловой сети в °С, K – фактор конфигурации сети (8).

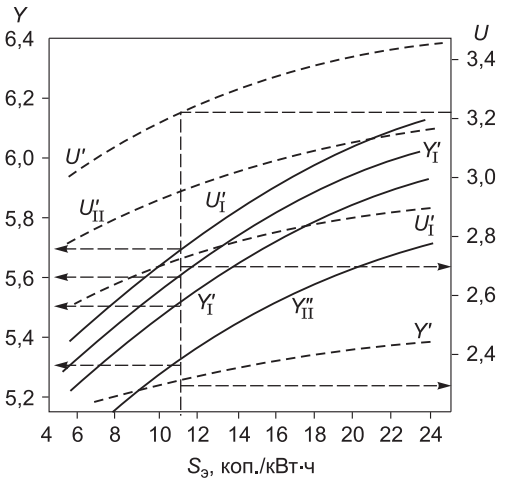


Рис. 7. График изменения экономических коэффициентов водяных теплосетей:

I – бесканальная прокладка $b = 500$; II – непроходные каналы $b = 750$; III – непроходные каналы с дренажем грунтовых вод $b = 900$; IV – непроходные каналы с дренажем и мостовыми работами $b = 1075$.

Экономические коэффициенты водяных тепловых сетей Y' и U' зависят от многих факторов, характеризующих тепловую сеть, главным образом от стоимости электроэнергии $S_э$ и способа прокладки. Для определения Y' и U' в зависимости от стоимости электроэнергии и способа прокладки сети служит график, представленный на рис. 7.

Выражения (12), (12′) и (8) предполагают наличие сети конечных размеров, так как здесь L – длина главной магистрали, а $\sum l$ – сумма длин всех участков. В рассматриваемой задаче линейные размеры сети связаны с величиной тепловой нагрузки и соответственно в данном случае $K = f(Q)$. Связь между возможной тепломощностью системы и протяженностью сети выражается через линейную теплоплотность $q_l = \dfrac{Q}{L}$ [Мкал/м·ч].

Приведенные соотношения позволяют с помощью ряда преобразований и достаточно допустимых упрощений представить удельные технико-экономические показатели по сети в функции от тепловой нагрузки и коэффициентов разветвленности P, X и Z:

$$\frac{Э_c}{Q} = \frac{f_c a(1+P)}{q_l} + \frac{Y' \cdot Q^{0,16}}{\Delta t^{0,48} q_l^{0,52}} \left(X \frac{Q^{0,32}}{q_l^{0,51}} + Z \right)^{0,84}. \qquad (13)$$

Выражение для удельных капиталовложений $\dfrac{K_c}{Q}$ отличается от (13) отсутствием коэффициента f_c в первом члене и наличием U' вместо Y' – во втором. Для определения оптимальной мощности существенны выражения для вторых членов формулы (13), поскольку в первые члены значение тепловой нагрузки не входит. Коэффициенты разветвленности в зависимости от соотношения чисел участков главной магистрали и ответвлений вычисляются из выражений

$$P = \xi\delta \frac{m_б^{уд}}{n^{уд}}, \quad X = 0,89 \frac{\left(n^{уд}\right)^{0,32}}{\left(m_б^{уд}\right)^{0,38}}, \quad Z = 1,2 \frac{\xi^{1,19}\delta^{0,62}}{\left(n^{уд}\right)^{0,19}\left(m_б^{уд}\right)^{0,38}}.$$

Значения величин, входящих в формулы для P, X и Z приведены в первом разделе. Индекс "уд" означает, что числа участков главной магистрали и ответвлений отнесены к длине главной магистрали.

В результате суммирования выражений (11) и (13) могут быть получены суммарные удельные показатели по теплоснабжающим установкам всего района в функции от тепловой нагрузки $\frac{\sum Э}{Q} = f_э(Q)$ и $\frac{\sum K}{Q} = f_k(Q)$.

Аналитические выражения для определения оптимальной мощности теплоснабжающих установок района могут быть получены в результате отыскания минимумов функций $f_э(Q)$ и $f_k(Q)$. Для случая разветвленных несимметричных тепловых сетей уравнение для определения оптимальной мощности по минимуму эксплуатационных расходов представляется в следующем виде:

$$0{,}16\left(Q_{\text{opt}}\right)_э^{1{,}16}\left[X\frac{\left(Q_{\text{opt}}\right)_э^{1{,}32}}{q_l^{0{,}51}}+Z\right]^{0{,}84}+0{,}27\left(Q_{\text{opt}}\right)_э^{1{,}48}\frac{X}{q_l^{0{,}51}}\left[X\frac{\left(Q_{\text{opt}}\right)_э^{0{,}32}}{q_l^{0{,}51}}+Z\right]= \\ =\frac{C}{Y'}q_l^{0{,}51}\Delta t^{0{,}48} \qquad (14)$$

Уравнение для определения оптимальной мощности по минимуму капитальных затрат отличается от (14) тем, что в правой части коэффициент $\frac{C}{Y'}$ заменяется на $\frac{A}{U'}$. Трудности, связанные с точным решением уравнений такого вида, очевидны. Однако возможно приближенное решение с достаточной степенью точности, учитывая значительную пологость суммарных кривых $\frac{\sum Э}{Q}$ и $\frac{\sum K}{Q}$ в окрестности экстремума и практические пределы изменения коэффициентов разветвленности. Исследование большого числа самых разнообразных трассировок тепловых сетей дает следующие значения коэффициентов разветвленности $X = 0{,}7 \div 1{,}3$ и $Z = 4{,}0 \div 13{,}0$.

Указанное позволяет привести определение оптимальной мощности для общего случая разветвленных сетей к сети, представляющей собой линию с сосредоточенными нагрузками, линейная теплоплотность которой равна линейной теплоплотности главной магистрали разветвленной сети. В результате аналитические выражения для определения оптимальной мощности представляются в следующем простом виде:

$$\left(Q_{\text{opt}}\right)_э \approx 0{,}0022\sqrt[3]{\left(\frac{C}{Y'}q_l\right)^2\Delta t} \text{ [мгкал/ч]}, \qquad (15)$$

$$\left(Q_{\text{opt}}\right)_k \approx 0{,}0022\sqrt[3]{\left(\frac{A}{U'}q_l\right)^2\Delta t} \text{ [мгкал/ч]}. \qquad (15')$$

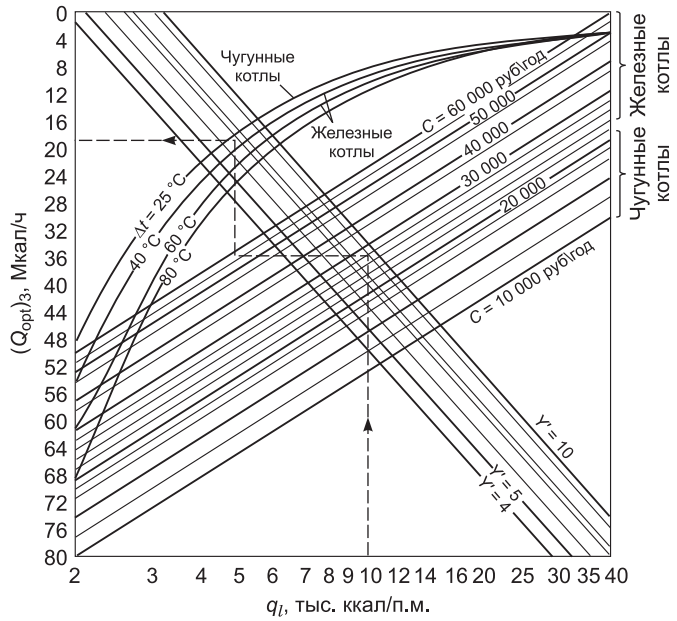


Рис. 8. Номограмма для определения оптимальной мощности установок централизованного теплоснабжения.

Для определения оптимальной мощности по минимуму годовых эксплуатационных расходов могут быть использованы номограммы типа, приведенного на рис. 8, для установок районного теплоснабжения от центральных котельных.

Значения коэффициентов A и C определяются в результате обработки сметных и эксплуатационных материалов в зависимости от типа теплогенерирующей установки и ее оборудования, степени механизации и пр.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Копьев С.Ф.** Теплофикация. – М.; Л.: ОНТИ, 1940.
2. **Шифринсон Б.Л.** Основной расчет тепловых сетей. – М,4 Л.: ОНТИ, 1940.
3. **Тепловые сети** / Под ред. Л.Д. Бермана и Б.М. Якуба. – М.; Л.: ОНТИ, 1936.
4. **Якуб Б.М.** Тепловые электрические станции. Т. 1. – М.; Л.: ОНТИ, 1938.
5. **Дмитриев В.В.** Основные вопросы теплофикации городов. – М.; Л.: ОНТИ, 1933.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ*[1]

В.Я. Хасилев
(Представлено академиком Г.М. Кржижановским)

1. Развитие теплоснабжающих систем характеризуется двумя этапами: первый – централизация теплоснабжения отдельных потребителей, второй – объединение теплогенерирующих централей в единую систему. Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии является ведущим направлением развития теплоснабжающих систем. Вместе с тем имеются определенные области, где для комбинированной выработки нет достаточных предпосылок и где должны быть применены системы централизованного теплоснабжения (центры с неблагоприятными условиями топливо- и водоснабжения и др.).

К числу основных вопросов развития теплоснабжающих систем относится выбор источников теплоснабжения и их параметров, определяемых рядом факторов, зависящих как от планировки городов, так и от энергетического баланса района.

В работе Смита [1] освещены результаты его исследований по отдельным вопросам этой темы, основанных на вариантных расчетах. Поэтому предложенные Смитом решения могут быть справедливы лишь для частных случаев.

В настоящем сообщении дан метод определения областей рационального применения различных источников теплоснабжения городов, причем эффект от комбинирования во всех случаях может быть оценен энергетическим к. п. д.

2. Тепловые нагрузки населенных районов определяются климатическими условиями, плотностью застройки и ее этажностью. Для унификации основных характеристик застройки района нами вводятся несколько упрощающих, но вполне допустимых положений.

• Основным видом потребления тепла является отопление; прочие тепловые нагрузки – водоснабжение (горячая вода) и вентиляция – составляют не более 20 % отопительной нагрузки. Теплоносителем в местных системах и наружных тепловых сетях является горячая вода.

• Предполагается, что во всех зданиях с числом этажей два и выше имеются подвальные помещения, в которых могут быть размещены котлы.

• Вводятся понятия средней этажности зданий района и средней территории абонента. Средняя этажность зданий района $n_э = \frac{\sum_{t}^{n_{аб}} n_{эх}}{n_{аб}}$; средняя

---

* Известия Академии наук СССР. Отд. техн. наук. – 1947. – № 9. Поступила в редакцию 15 мая 1947 г.

[1] Доложено на семинаре отдела общей энергетики Энергетического института им. Г.М. Кржижановского АН СССР в ноябре 1946 г.

территория абонента $F_{01} = \dfrac{fF}{n_{01}}$, где $n_{аб}$ – число зданий в районе, $n_{эх}$ – этажность одного здания, F – территория района в га, f – плотность застройки.

Обработка данных о габаритах жилых зданий, проектирующихся для застройки населенных районов, указывает на наличие определенной зависимости между средней территорией абонента и средней этажностью зданий в районе. Эта зависимость с некоторым приближением может быть представлена функцией $F_{аб} = \vartheta n_э^{\lambda}$, где ϑ и λ – коэффициенты, постоянные для данного типа планировки района. Высота одного этажа зданий $h_э$ по наружному обмеру может быть принята для всех районов одинаковой: от 3,5 до 3,8 м.

Таким образом, максимальная тепловая нагрузка зданий жилого района определяется из следующего выражения:

$$Q = f\,F\,n_э\,h_э\,\chi_{аб}\,\Delta t_{зд}\cdot 10^{-2} \text{ мгкал/ч}, \qquad (1)$$

где $\Delta t_{зд}$ – максимальная разность температур наружного воздуха и воздуха внутри зданий; $\chi_{аб}$ – средняя тепловая характеристика зданий в мгкал/м^3·°С·ч.

В соответствии с существующими нормами теплопотерь и с учетом расхода тепла на вентиляцию и водоснабжение горячей водой выведена зависимость

$$\chi_{аб} = \frac{0,32}{\left(F_{аб} n_э\right)^{0,17}}. \qquad (2)$$

Выражение для теплоплотности района в мгкал/га·ч может быть представлено в следующем виде:

$$q = \frac{Q}{F} = 1,12\cdot 10^{-2}\,\frac{n_э^{0,83-0,17\lambda} f \Delta t_{зд}}{\vartheta^{0,17}}. \qquad (3)$$

Показатель степени λ обычно колеблется в пределах от 0,5 до 0,7. В дальнейшем принимаем значение $\lambda = 0,6$. Как показывают расчеты, возможная ошибка при определении q осреднением при этом среднем значении λ даже при этажности зданий района $n_э = 6$, не будет превышать ±3 %. Коэффициент ϑ колеблется в пределах от 0,0155 (трехэтажный дом с габаритами в плане 10 × 30 м) до 0,0329 (четырехэтажный дом с габаритами в плане 15 × 50 м). Принимаем далее среднее значение $\vartheta = 0,025$. Оказывается, что погрешность при определении q по среднему значению ϑ не превышает ±4 %. При указанных средних значениях λ и ϑ получаем простейшую зависимость между теплоплотностью, плотностью застройки и средней этажностью зданий района

$$q = 0,021 n_м^{0,73} \Delta t_{74} f. \qquad (4)$$

Для условий II климатического пояса (Москва), т. е. при $t_{расч} = -30°$, выражение для теплоплотности приобретает следующий вид:

$$q = n_э^{0,73} f. \qquad (5)$$

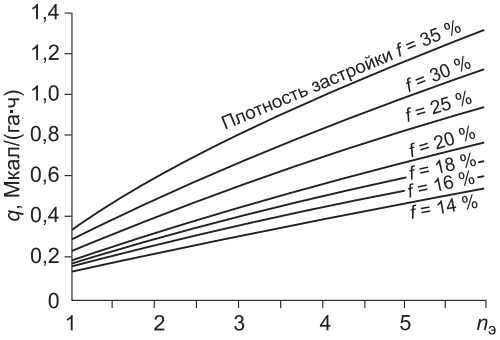


Рис. 1. Зависимости теплоплотности от этажности зданий и плотности застройки района.

График построен для $\Delta t_{зд}$ = 48 °С (II климатический пояс).

График на рис. 1, иллюстрирующий зависимость, выраженную формулой (5), позволяет установить диапазон реальных значений теплоплотности жилых районов при плотности их застройки от 14 до 35 % и числе этажей от двух до шести.

3. Необходимо предварительно решить задачу об оптимальном числе теплогенерирующих точек и их размещении. Для системы индивидуальных котельных решение в этом смысле однозначно, а для системы групповых и районных котельных, снабжающих теплом район с территорией F и теплоплотностью q, число точек питания n_k определяется их оптимальной мощностью $Q_{\text{opt}} = \dfrac{qF}{n_k}$. Существование значения оптимальной мощности объясняется тем, что с ростом теплопроизводительности отдельных установок удельная стоимость котельных уменьшается, а удельная стоимость тепловых сетей возрастает.

Общее решение этой задачи было дано ранее [2]. Произведенный анализ позволяет представить выражение для определения значений оптимальной мощности в следующем виде[2]:

$$\left.\begin{aligned} \left(Q_{\text{opt}}\right)^{\text{р,г}} &= R_{\text{эк}}^{\text{р,г}}(qb)^{0,66}, \\ R_{\text{э}}^{\text{р,г}} &= 0,475\cdot 10^{-3}\left(\frac{C^{\text{р,г}}}{Y'}\right)^{0,66}\left(\Delta t^{\text{р,г}}\right)^{0,33}, \\ R_{\text{к}}^{\text{р,г}} &= 0,475\cdot 10^{-3}\left(\frac{A^{\text{р,г}}}{U'}\right)^{0,66}\left(\Delta t^{\text{р,г}}\right)^{0,33}, \end{aligned}\right\} \qquad (6)$$

где b – приведенная ширина территории района (рис. 2); Δt – разница температур воды в подающей и обратной магистралях; C и A – постоянные члены в уравнениях, характеризующие экономические показатели котельных установок; Y' и U' – экономические характеристики тепловых сетей [2].

Если условно представить территорию теплоснабжаемого района в виде прямоугольника со сторонами b и L (см. рис. 2), считая, что $b = \beta L$, где $\beta < 1$, то соотношения значений $Q_{\text{opt}}^{\text{I}}$, $Q_{\text{opt}}^{\text{II}}$, $Q_{\text{opt}}^{\text{III}}$ и $Q_{\text{opt}}^{\text{IV}}$, соответствующих

[2] Индексы “э” и “к” соответствуют минимуму издержек производства и минимуму капиталовложений. Индексы “р” и “г” соответствуют районным и групповым установкам. Применяемый далее индекс “и” соответствует котельным.

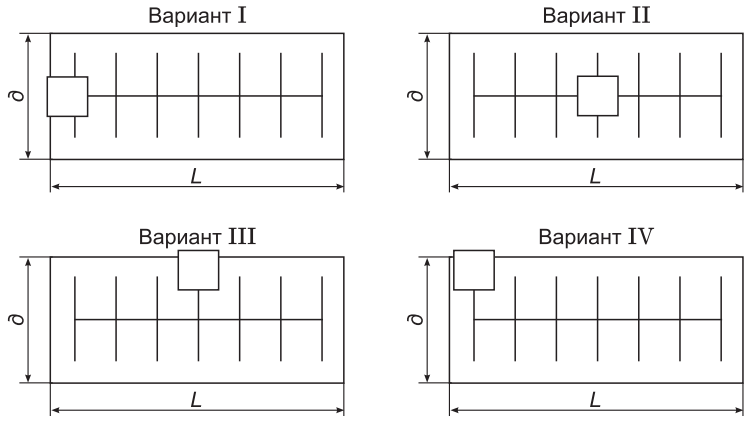


Рис. 2.

различным вариантам размещения источника теплоснабжения, определяются исходя из выражений (7):

$$\left.\begin{aligned} Q_{\text{opt}}^{\text{II}} &= 1,58Q_{\text{opt}}^{\text{I}} > Q_{\text{opt}}^{\text{I}}, \\ Q_{\text{opt}}^{\text{III}} &= \frac{Q_{\text{opt}}^{\text{I}}}{(\beta+0,5)^{0,66}} \gtrless {}^{3}Q_{\text{opt}}^{\text{I}}, \\ Q_{\text{opt}}^{\text{IV}} &= \frac{Q_{\text{opt}}^{\text{I}}}{(\beta+1)^{0,66}} < Q_{\text{opt}}^{\text{I}}. \end{aligned}\right\} \qquad (7)$$

Отсюда следует, что: а) центральное расположение источника теплоснабжения соответствует наибольшему значению Q_{opt}; б) расположение источника в углу теплоснабжаемого прямоугольника соответствует минимальному значению Q_{opt}. При периферийном расположении источника теплоснабжения $Q_{\text{opt}}^{\text{I}} > Q_{\text{opt}}^{\text{III}}$ в случае $\beta > 0,5$ и $Q_{\text{opt}}^{\text{I}} < Q_{\text{opt}}^{\text{III}}$ в случае $\beta < 0,5$.

Аналогичный анализ возможен для иных форм очертания территории района (треугольник, круг и пр.).

Как это следует из приведенных соотношений (7), значения Q_{opt} источников теплоснабжения в зависимости от их местоположения изменяются на 40–50 %, причем минимальное отклонение соответствует периферийному расположению.

Анализ уравнений, характеризующих суммарные затраты на установки централизованного теплоснабжения [2], указывает на значительную пологость соответствующих кривых в той области, где производительности превышают оптимальную мощность. Увеличение оптимальной мощности на 50 % не приводит к заметному изменению суммарных затрат. Указанные обстоятельства весьма благоприятны, так как они позволяют упростить учет фактора местоположения источника. В последующем исследовании мы исходим из периферийного расположения котельной на одной из границ территории района.

[3] Знак “больше” или “меньше”. – *Прим. ред.*

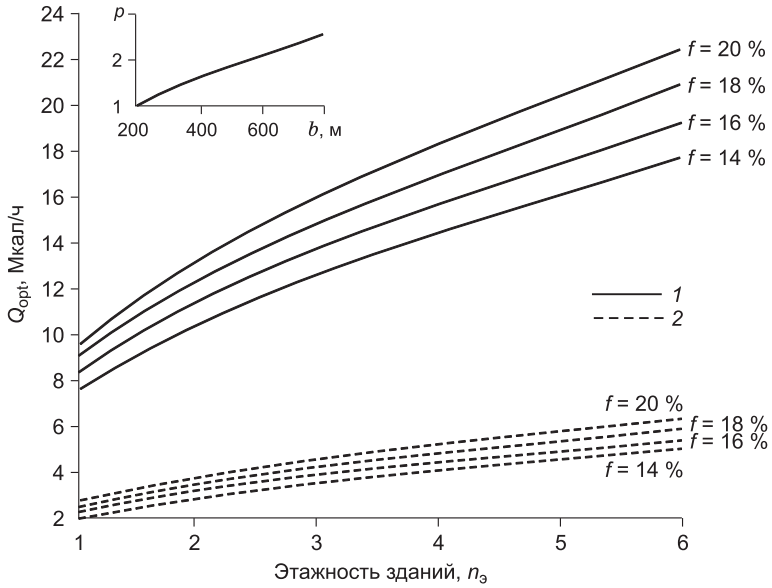


Рис. 3. Номограмма для определения оптимальной мощности теплоснабжающих установок (при приведенной ширине района >200 м значения Q_{opt} требуется помножить на поправочный коэффициент ρ):

1 – районные котельные; *2* – групповые котельные; *f* – процент застройки района.

4. Выражения (5) и (6) позволяют построить график (рис. 3), иллюстрирующий влияние строительной характеристики района (приведенная ширина района, этажность зданий, плотность застройки) на значение оптимальной мощности котельных: этот график может служить для предварительных расчетов. При построении графика были приняты следующие исходные данные: стоимость электроэнергии – 25 коп./кВт·ч, прокладка сети осуществляется в непроходных каналах без дренажа и мостовых работ, районные котельные оборудуются железными водотрубными котлами, а групповые – чугунными.

Как видно из приведенных на рис. 3 кривых, наибольшее влияние на Q_{opt} оказывает средняя этажность зданий района. Плотность застройки влияет на Q_{opt} в меньшей степени, а для групповых котельных, как и следовало ожидать, это влияние совсем незначительно. Роль расхода и стоимости электроэнергии при определении оптимальной мощности котельных ничтожна, поэтому стоимостью электроэнергии при практических расчетах можно пренебречь.

5. Как уже указывалось [2], технико-экономические показатели для котельных установок в общем случае выражаются линейными зависимостями: для эксплуатационных расходов $Э_{и,г,р} = C_{и,г,р} + \left(D'_{и,г,р} + D''_{и,г,р}\right)Q$ и для капиталовложений $К_{и,г,р} = A_{и,г,р} + B_{и,г,р}Q$.

Значения коэффициентов A, B, C и D' определяются на основе обобщения сметных и эксплуатационных материалов. Топливная составляющая в общих эксплуатационных расходах определяется выражением

$D'' = \frac{0{,}143}{\eta_{игр}} \beta_т h_т$, где $\eta_{игр}$ – КПД котельных установок; $\beta_т$ – стоимость условного топлива; $h_т$ – число часов использования максимума тепловой нагрузки.

В дальнейших построениях принимаются значения указанных показателей, характерных для средних условий (Москва).

В последующем рассматривается влияние изменений этих показателей, определяемых местными условиями, на решение основной задачи.

6. Удельные затраты (приведенные к 1 га) для системы *индивидуальных* котельных всего района определяются выражениями:

$$\frac{Э_и}{F} = \left(\frac{C_и n_{аб}}{Q} + D'_и + D''_и \right) q , \tag{8}$$

$$\frac{К_и}{F} = \left(\frac{A_и n_{аб}}{Q} + B_и \right) q . \tag{9}$$

После подстановки соответствующих значений из формулы (5) и табл. 1 имеем:

$$\frac{Э_и}{F} = \left(\frac{520}{n_э^{1,33}} + 67 \right) q \cdot 10^3 , \tag{8′}$$

$$\frac{К_и}{F} = \left(\frac{1200}{n_э^{1,33}} + 50 \right) q \cdot 10^3 . \tag{9′}$$

7. Удельные затраты для системы *групповых* и *районных* котельных определяются аналогично, исходя из того, что оптимальное число точек питания

$$\left(n_{г,р} \right)_{э,к} = \frac{F q^{0,33}}{R_{э,к}^{г,р} b^{0,66}} , \tag{10}$$

$$\frac{Э_{г,р}}{F} = \frac{C_{г,р}}{R_э^{г,р} b^{0,66}} q^{0,33} + \left(D'_{г,р} + D''_{г,р} \right) q , \tag{11}$$

$$\frac{К_{г,р}}{F} = \frac{A_{г,р}}{R_э^{г,р} b^{0,66}} q^{0,33} + B_{г,р} q . \tag{12}$$

Таблица 1

Тип котельных	Показатель							
	A, 10^3 руб.	B, 10^3 руб.	C, 10^3 руб./год	D' 10^3 руб./год мгкал	η	$\beta_т$, руб./т	$h_т$, часы	D'', 10^3 руб./год мгкал
Индивидуальные с чугунными котлами	30	50	13	20.0	0,55	80	2600	47,0
Групповые с чугунными котлами	30	50	13	20,0	0,55	80	2600	47,0
Районные с железными котлами	400	45	55	13,5	0,68	80	2600	43,5

После подстановок численных значений отдельных коэффициентов из формулы (6) и табл. 1 с учетом того, что перепад температур воды в групповых установках $\Delta t = 25°$ и в районных $\Delta t = 60°$, имеем:

а) для групповых котельных

$$\frac{Э_г}{F} = 1740q^{0,33} + 67\,000q\,, \qquad (11')$$

$$\frac{К_г}{F} = 79\,000q^{0,33} + 50\,000q; \qquad (12')$$

б) для районных котельных

$$\frac{Э_р}{F} = 2100q^{0,33} + 57\,000q\,, \qquad (11'')$$

$$\frac{К_р}{F} = 11\,000q^{0,33} + 45\,000q. \qquad (12'')$$

8. Аналитические зависимости для удельных затрат по *тепловым сетям*, необходимые для сравнительных оценок теплоснабжающих установок в целом, с учетом конфигураций и прочее, были даны нами ранее [2, формулы (12) и (13)].

В предыдущем исследовании [2] при решении задачи об оптимальной мощности установки постоянный член в указанных выражениях, зависящий от линейных размеров сети $\sum l$, не подлежал оценке, так как в последующем он исключался при дифференцировании. В данном же случае величина удельной протяженности сети $\frac{\sum l}{F}$ приобретает существенное значение.

Нетрудно предположить, что величина удельной протяженности сети в определенной степени связана со средним числом абонентов, приходящихся на 1 га территории района, а следовательно, и с теплоплотностью района. Отыскание функциональной зависимости $\frac{\sum l}{F} = f(q)$ возможно только эмпирическим методом. Путем анализа проектных материалов о застройке жилых районов и трассировке тепловых сетей искомой зависимости получить не удалось. Объясняется это тем, что теплоплотность зависит не только от плотности застройки, но и от этажности зданий в районе. Однако обнаружено существование приближенной линейной зависимости между удельной протяженностью сети и плотностью застройки района

$$\frac{\sum l}{F} \approx \alpha - \beta f\,. \qquad (13)$$

Значения коэффициентов α и β незначительно зависят от характера планировки зданий в районе и от мест прокладки транзитных тепловых магистралей (по основным проездам, с использованием подвалов отдель-

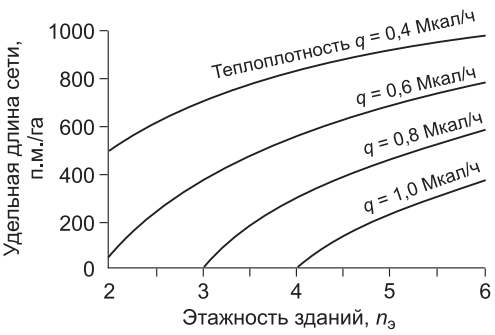


Рис. 4. Зависимость удельной длины сети от этажности и теплоплотности района.

ных зданий и пр.). Определение численных значений коэффициентов α и β требует более подробного исследования. Для целей настоящей работы можно принять значения $\alpha = = 1370$ и $\beta = 3700$; эти величины получены в результате обработки данных[4] о застройке и трассировке сетей в городских районах с этажностью зданий $n_э$ = от 2 до 5.

Используя зависимость (13) и формулу (4), получаем приближенное выражение

$$\frac{\sum l}{F} \approx 1370 - \frac{177\,000}{\Delta t_{зд} n_э^{0,73}} q \,. \qquad (14)$$

Иллюстрация этой зависимости применительно ко II климатическому поясу ($t_{расч} = -30°$) дана на рис. 4.

После некоторых преобразований предложенных ранее [2] исходных выражений для показателей по тепловым сетям и с учетом формулы (14) получаем следующие выражения для эксплуатационных расходов и капиталовложений, приходящихся на 1 га территории района:

$$\frac{Э_с}{F} = f_с a \left(\alpha - \beta \frac{q}{n_э^{0,73}} \right) + 1400 \omega \frac{Y'}{\Delta t^{0,48}} q^{0,64} \,,^5 \qquad (15)$$

$$\frac{К_с}{F} = a \left(\alpha - \beta \frac{q}{n_э^{0,73}} \right) + 1400 \omega \frac{U'}{\Delta t^{0,48}} q^{0,64} \,. \qquad (16)$$

Здесь, помимо упоминавшихся уже обозначений: a – постоянный член в уравнении удельной стоимости прокладки двухтрубного теплопровода в функции от его диаметра (для средних условий $a = 100$ руб./п.м.), $f_с$ – доля ежегодных отчислений от стоимости тепловой сети (для средних условий $f_с = 0{,}12$). Коэффициент ω характеризует разветвленность тепловых сетей и геометрические формы очертания территории района. Значения ω колеблются в пределах от 1,0 до 7,5. Во всех последующих примерных расчетах применяется максимальное значение $\omega = 7{,}5$. Последнее допущение оправдывается анализом удельных весов тепловых сетей в общей сумме расходов по установкам централизованного теплоснабжения.

[4] Проектные мастерские Моссовета. Теплоэлектропроект. Горстройпроект.

[5] Индекс “с” здесь и далее относится к показателям по тепловым сетям.

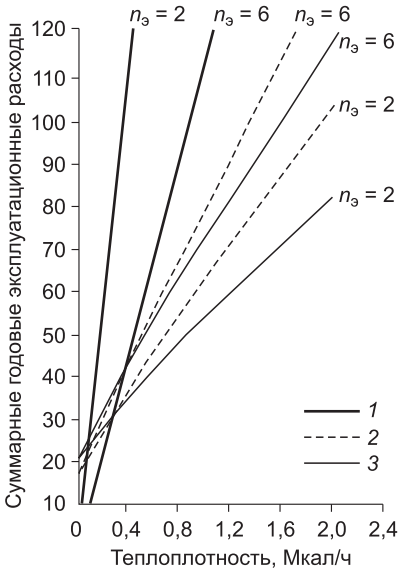


Рис. 5. 1 – индивидуальные котельные; *2* – районные котельные и теплосети при Δt = = 60 °С; *3* – групповые котельные и теплосети при Δt = 25 °С; $n_э$ – этажность зданий.

9. Разграничение областей применения различных источников теплоснабжения сводится к определению такого значения теплоплотности (условно называемого нами критической теплоплотностью $q_{кр}$), при котором суммарные затраты по установкам различного типа равны между собой. Вводим следующие обозначения: $q^{I}_{кр}$ и $q^{II}_{кр}$ – критические теплоплотности, разграничивающие области применения групповых и индивидуальных установок, а также районных и групповых установок, определяемые соответственно равенствами годовых эксплуатационных расходов $\sum Э_и = \sum Э_г$ и $\sum Э_р = \sum Э_г$; $q^{Iк}_{кр}$ и $q^{IIк}_{кр}$ – то же, определяемые соответственно равенствами капиталовложений: $\sum К_и = \sum К_г$ и $\sum К_р = \sum К_г$.

Пример разграничения индивидуальных, групповых и районных установок, исходя из равенства годовых эксплуатационных расходов, для районов со средней этажностью зданий $n_э = 2$ и $n_э = 6$ приводится на рис. 5.

Полученные ранее [2] выражения для технико-экономических показателей по котельным и тепловым сетям позволяют решать основную задачу в аналитической форме.

10. Критическое значение теплоплотности, разграничивающее области применения *индивидуальных групповых* установок, исходя из минимума годовых эксплуатационных расходов, может быть определено из уравнения

$$B^э = A^э q^{I}_{кр}, \qquad (17)$$

где (для принятых ранее средних условий):

$$B^э = 1700\left(q^{I}_{кр}\right)^{0,33} + 13\,000\left(q^{I}_{кр}\right)^{0,64} + 1500 \text{ и } A^э = \frac{520 \cdot 10^3}{n^{1,33}} + \frac{55 \cdot 10^3}{n_э^{0,73}}.$$

На рис. 6 приводится графическое решение уравнения (17) применительно к условиям II климатического пояса при средней этажности зданий района $n_э$ – от 2 до 6. Из сопоставления значений $q^{I}_{кр}$, полученных в результате решения уравнения (17), и значений минимальной теплоплотности q_{min}, соответствующих f = 0,14 (табл. 2), следует, что сооружение индивидуальных котельных в жилых районах с плотностью застройки от 14 до 35 % нецелесообразно.

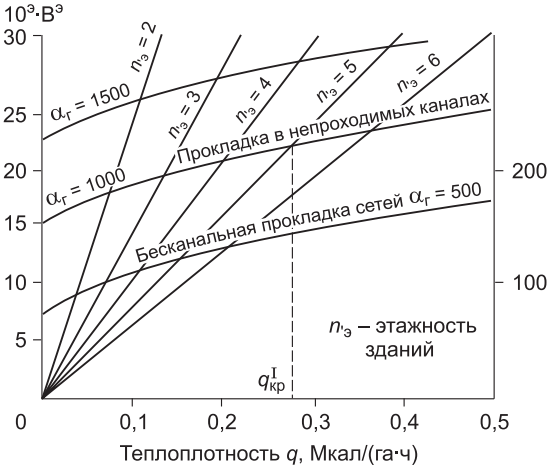


Рис. 6. График для разграничения областей применения индивидуальных и групповых котельных по эксплуатационным расходам (см. пересечение кривой $\alpha_г = 1000$ и пучка прямых).

Исключение может быть сделано для случаев, когда застройка территории района растягивается на весьма длительный срок. Если известен характер изменения застройки во времени $f = \omega(\tau)$ и срок, в течение которого район должен быть полностью застроен τ_0, то условие допустимости сооружения индивидуальных котельных представляется следующим выражением (для II климатического пояса):

$$q^{I}_{кр} \geq \frac{\int_0^{\tau_0} f d\tau}{\tau_0} n_э^{0,73}.$$

Предыдущие расчеты, результаты которых приведены в табл. 2, были проделаны с учетом того, что постоянный член в выражении (13) имеет частное значение $\alpha_г = 1000$ (для групповых котельных). В зависимости от характера планировки района и способов прокладки сетей величина α колеблется в пределах от 500 до 1500.

График на рис. 7 подтверждает вывод о преимуществе групповых установок перед индивидуальными и для указанных предельных значений $\alpha_г$.

Критическое значение теплоплотности $q^{Iк}_{кр}$, соответствующее равноценности индивидуальных и групповых установок по капиталовложениям, определяется из уравнения

$$B^к = A^к q^{Iк}_{кр}, \qquad (18)$$

где (для принятых ранее средних условий):

$$B^к = 79\,000\left(q^{Iк}_{кр}\right)^{0,33} + 56\,500\left(q^{Iк}_{кр}\right)^{0,64} + 100\,000;$$

$$A^к = \frac{1200 \cdot 10^3}{n_э^{1,33}} + \frac{370 \cdot 10^3}{n_э^{0,73}}.$$

Таблица 2

$n_э$	2	3	4	5	6
$q^I_{кр}$	0,088	0,13	0,2	0,275	0,35
q_{min}	0,2	0,32	0,4	0,45	0,5
$q^{Iк}_{кр}$	0,34	0,74	1,23	1,96	4,46

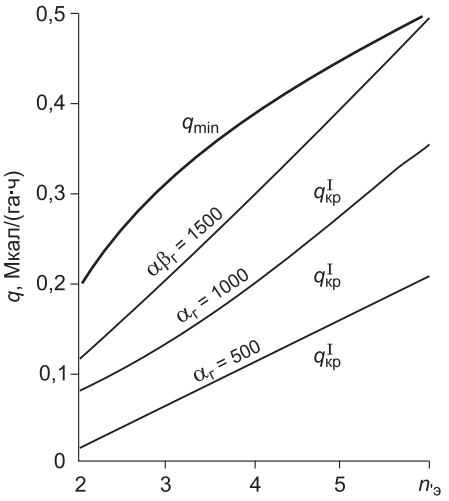


Рис. 7.

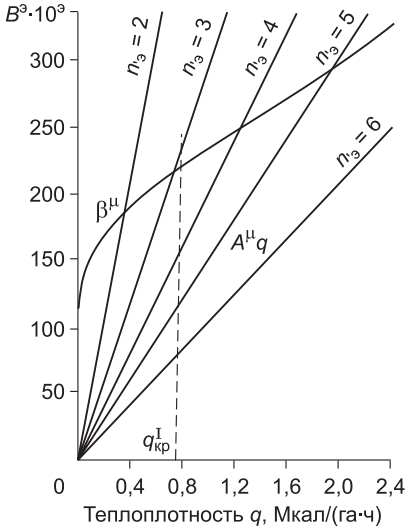


Рис. 8. График для разграничения областей применения индивидуальных и групповых котельных по капиталовложениям

На рис. 8 приводится графическое решение уравнения (18). Полученные значения приведены в последней графе табл. 2, из коей можно усмотреть, что $q^{\text{I}}_{\text{кр}} < q_{\min} < q^{\text{Iк}}_{\text{кр}}$.

Из предыдущего можно сделать следующие выводы: 1) во всех районах, где $q < q^{\text{Iк}}_{\text{кр}}$ и по эксплуатационным расходам, и по капиталовложениям целесообразно применение индивидуальных установок; вычисление значений теплоплотности по проектам планировки многих жилых районов показывает, что предыдущее неравенство встречается в очень редких случаях; 2) для районов с $q > q^{\text{Iк}}_{\text{кр}}$ применение групповых установок нецелесообразно.

При условии $q^{\text{I}}_{\text{кр}} < q < q^{\text{Iк}}_{\text{кр}}$ возникает необходимость анализа срока окупаемости дополнительных капиталовложений за счет экономии эксплуатационных расходов. Срок окупаемости может быть вычислен на основе следующего выражения:

$$\text{Т} = \frac{\sum \text{К}_{\text{г}} - \sum \text{К}_{\text{и}}}{\sum \text{Э}_{\text{и}} - \sum \text{Э}_{\text{г}}} = \frac{K - Lq}{Mq - N}, \qquad (19)$$

где

$$K = f_1(q), \quad L = f_2(n_э), \quad M = f_3(n_э), \quad N = f_4(q).$$

Значения вспомогательных функций K, L, M и N представлены в табл. 3 и 4.

Соответствующие значения сроков окупаемости приводятся в табл. 5, в которой данные свидетельствуют о том, что для теплоплотностей, нахо-

Таблица 3

q	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0
K	148,2	166,3	188,7	207,1	219,5	235,5	263,4	287,8
N	18,8	20,6	23,3	25,9	27,8	29,7	33,9	37,4

Таблица 4

$n_э$	2	3	4	5	6
L	502,3	294,6	203,5	152,4	102,5
M	241,0	145,0	102,5	78,3	63,0

Таблица 5

Теплоплотность q, мгкал/ч·га		0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0
Сроки окупаемости Т (в годах)	$n_э = 2$	18,5	2,4						
	$n_э = 3$		12,5	2,3	0,5				
	$n_э = 4$			6,1	2,4	1,04	0,41		
	$n_э = 5$			16,1	14,1	2,8	1,7	0,4	
	$n_э = 6$			78,0	13,3	6,1	4,0	1,8	0,9

дящихся в пределах от $q_{кр}^{I}$ до $q_{кр}^{Iк}$, сроки окупаемости дополнительных капиталовложений при сооружении групповых установок не выходят за пределы сроков службы сооружений.

Тот факт, что, например, при шестиэтажной застройке и теплоплотности 0,4 гкал/час·га срок окупаемости непомерно велик, не меняет предыдущего вывода, ибо в этом случае плотность застройки составляет $f = \dfrac{100 \cdot 0,4}{n_э 0,73} = 10,7$ %[6], что ниже наименьшей плотности застройки, допускаемой нормами (14 %). Таким образом, сооружение индивидуальных установок может оказаться целесообразным в тех редких случаях, когда пяти-шестиэтажные здания сооружаются в районах с низкой плотностью застройки (10–12 %).

11. Значения теплоплотности, разграничивающие области применения *групповых и районных установок*, могут быть найдены из уравнений, полученных суммированием выражений для технико-экономических показателей по тепловым сетям и котельным установкам. Для разграничения по условиям экономии эксплуатационных расходов

$$1400\omega U' \left(\frac{1}{\Delta t_г^{0,48}} - \frac{1}{\Delta t_р^{0,48}} \right) \left(q_{кр}^{П} \right)^{0,64} + \left(D_г - D_р \right) q_{кр}^{П} =$$

$$f_с a \left(\alpha_р - \alpha_г \right) + \frac{1}{b^{0,66}} \left(\frac{C_р}{R_э^р} - \frac{C_г}{R_э^г} \right) \left(q_{кр}^{П} \right)^{0,33}. \qquad (20)$$

[6] Вычислено по формуле 5.

Для разграничения по условиям экономии капиталовложений

$$1400\omega U'\left(\frac{1}{\Delta t_{\text{г}}^{0,48}}-\frac{1}{\Delta t_{\text{р}}^{0,48}}\right)\left(q_{\text{кр}}^{\text{IIк}}\right)^{0,64}+\left(B_{\text{г}}-B_{\text{р}}\right)q_{\text{кр}}^{\text{IIк}}=$$

$$a\left(\alpha_{\text{р}}-\alpha_{\text{г}}\right)+\frac{1}{b^{0,66}}\left(\frac{A_{\text{р}}}{R_{\text{к}}^{\text{р}}}-\frac{A_{\text{г}}}{R_{\text{к}}^{\text{г}}}\right)\left(q_{\text{кр}}^{\text{IIк}}\right)^{0,33}. \qquad (21)$$

После подстановки численных значений коэффициентов получаем исходные уравнения

$$10\,000q_{\text{кр}}^{\text{II}}+4600\left(q_{\text{кр}}^{\text{II}}\right)^{0,64}-400\left(q_{\text{кр}}^{\text{II}}\right)^{0,33}-5500=0\,, \qquad (20')$$

$$5000q_{\text{кр}}^{\text{IIк}}+21\,000\left(q_{\text{кр}}^{\text{IIк}}\right)^{0,64}-3000\left(q_{\text{кр}}^{\text{IIк}}\right)^{0,33}-3670=0\,. \qquad (21')$$

Графическое решение уравнений (20′) и (21′) дает следующие значения критических теплоплотностей: $q_{\text{кр}}^{\text{II}}$ = 0,4 мгкал/га·ч и $q_{\text{кр}}^{\text{II:}}$ = 0,5 мгкал/га·ч. Следует отметить, что в отличие от $q_{\text{кр}}^{\text{I}}$ и $q_{\text{кр}}^{\text{Iк}}$ величины $q_{\text{кр}}^{\text{II}}$ и $q_{\text{кр}}^{\text{IIк}}$ не зависят от этажности зданий в районе. Это объясняется тем, что теплопроизводительность отдельных индивидуальных котельных зависит только от кубатуры и, следовательно, этажности каждого здания, а теплопроизводительность отдельных групповых и районных установок определяется условиями оптимума.

Близкое совпадение значений $q_{\text{кр}}^{\text{II}}$ и $q_{\text{кр}}^{\text{IIк}}$ (0,4 и 0,5) делает практически излишним исследование сроков окупаемости дополнительных капиталовложений, тем более что ранее доказана удовлетворительность сроков окупаемости для значительно более широких пределов от $q_{\text{кр}}^{\text{I}}$ и $q_{\text{кр}}^{\text{Iк}}$. Как можно убедиться из графика на рис. 9, иллюстрирующего разграничение областей применения групповых и районных установок, по мере увеличения средней этажности зданий уменьшаются те значения плотности застройки, при которых районные установки сохраняют свою эффективность.

12. Предыдущим анализом установлено, что главными параметрами, определяющими границы областей эффективного применения различных источников теплоснабжения в районе, являются его теплоплотность и этажность зданий. В связи с этим представляется целесообразным предложить графический метод выбора источников теплоснабжения при помощи (q – n)-диаграммы, примерное построение которой дано на рис. 10.

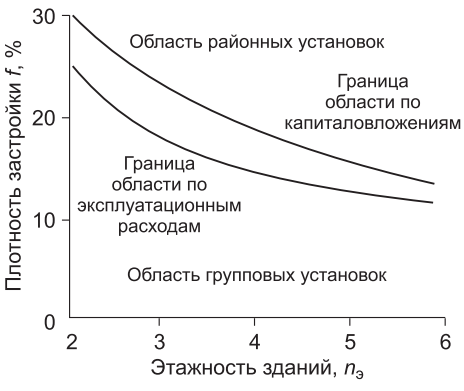


Рис. 9. Области эффективного применения районных и групповых установок.

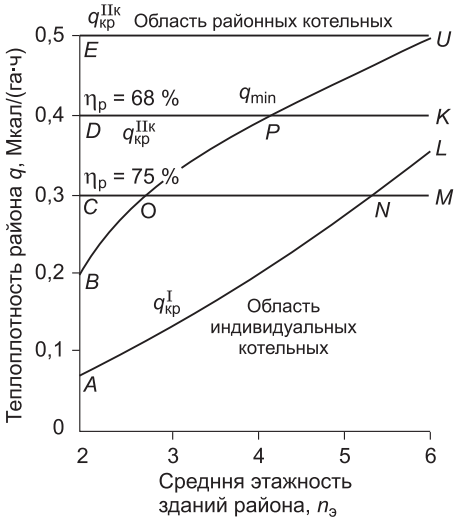


Рис. 10. (q – $n_э$)-диаграмма теплоснабжаемого района.

В общем случае области применения установок различного типа представляются на (q – $n_э$)-диаграмме так: а) область индивидуальных установок ограничивается кривой и осью абсцисс; б) область районных установок определяется значениями теплоплотности, лежащими выше прямой[7] или одной из параллельных ей прямых, в зависимости от КПД районной котельной $\eta_р$; в) область групповых котельных определяется площадью *ADKM* при $\eta_р = 68$ % и площадью *ACN* при $\eta_р = 75$ %. Таким образом, при сооружении районных котельных с относительно высоким КПД $\eta_р = 75$ % область индивидуальных установок сокращается на площадку *NLM*, причем в случае $n_э > 5{,}3$ устройство групповых установок вообще исключается.

В частном случае, когда плотность застройки имеет нижний предел, из рассмотрения автоматически исключаются области, лежащие ниже кривой *BU*, представляющей функцию $q_{min} = f(n_э)$ при $f = f_{min}$. При построении диаграммы на рис. 10 было принято $f_{min} = 14$ %.

13. Полученные значения критических теплоплотностей соответствуют ряду показателей, справедливых для некоторых средних условий. Наиболее важными факторами, оказывающими влияние на решение поставленной задачи, являются климатические и топливно-энергетические особенности района, а также значения возможных КПД котельных установок. Численные значения были ранее определены применительно ко II климатическому поясу, стоимости условного топлива франко-котельная $\beta_г = 80$ руб./т, КПД индивидуальных и групповых котельных $\eta_и$ и $\eta_г = 55$ % и районных котельных $\eta_р = 68$ %. Для оценки достоверности полученных результатов следует проследить изменение $q_{кр}$ при изменении средних условий в реальных пределах.

Характеристика трех климатических поясов, охватывающих важнейшие районы СССР, представлена в табл. 6.

Разнообразные особенности топливоснабжения районов (род топлива, транспортные условия и т. п.) в значительной степени могут быть охарактеризованы показателем стоимости, которая в предельных случаях может изменяться от 40 до 100 руб./т. Влияние к.п.д. районных котельных уста-

[7] При построении принято, что прямой *DK* соответствует $\eta_р = 68$ %, а параллельной ей прямой *CM* – $\eta_р = 75$ %. О влиянии численного значения КПД котельных на значение критической теплоплотности см. п. 13.

Таблица 6

Характеристика климатических поясов

Климатический пояс	Продолжительность отопительного периода в часах	Число часов использования максимума нагрузки	Расчетная температура наружного воздуха, °С
I	5500	3100	−35
II	5000	2600	−30
III	4200	2200	−20

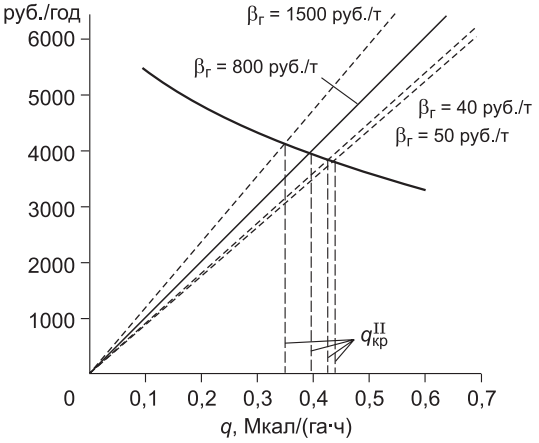


Рис. 11. Влияние климата на условия равноэкономичности групповых и районных установок.

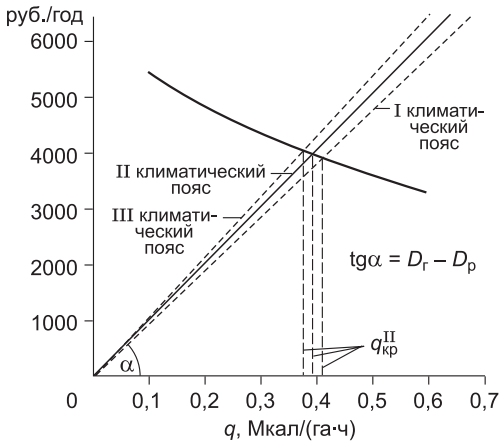


Рис. 12. Влияние стоимости топлива ($\beta_г$) на условия равноэкономичности групповых и районных установок.

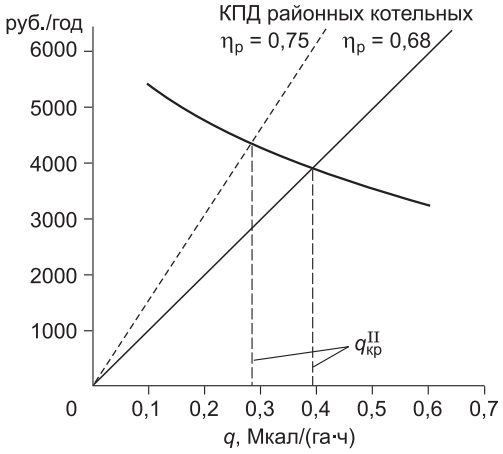


Рис. 13. Влияние КПД на условия равноэкономичности районных и групповых установок.

КПД групповых котельных принят $\eta_{г,к} = 0{,}55$.

новок целесообразно проследить при изменении его значения в практических пределах – от 68 до 75 %. Роль указанных выше величин на значения критической теплоплотности $q_{кр}^{II}$, разграничивающей области применения групповых и районных котельных[8], устанавливается графическим решением уравнения (20), при пересчитанной соответствующим образом разнице топливных составляющих (см. рис. 11, 12 и 13).

Незначительные колебания значений критической теплоплотности при изменении наиболее существенных районных факторов свидетельствуют о стабильности полученных ранее (пп. 10–12) значений $q_{кр}$ и общих выводов, которые были сделаны на этой основе.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Smith D.V.** Individual and District Heating Systems. Inst. of Fuel Bull. August 1946.
2. **Хасилев В.Я.** Анализ конфигурации несимметричных тепловых сетей и его применение к выбору мощности систем централизованного теплоснабжения // Изв. АН СССР. Отделение техн. наук. – 1945. – № 10–11. – С. 1105–1114.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОДНОТИПНЫХ ТЭЦ*

В.Я. Хасилев

(Представлено академиком А.В. Винтером 15.VII.1949)

В настоящем сообщении нами доказывается, что при определенных условиях возможно получение существенного энергетического эффекта при *параллельной работе однотипных* ТЭЦ; излагается также общий метод приближенной оценки энергетического эффекта при параллельной работе по теплу различных теплогенерирующих установок.

Эффективность параллельной работы ТЭЦ с однотипным турбинным оборудованием сравнительно с раздельной работой определяется дополнительной *выработкой* электроэнергии по теплофикационному режиму. При объединении k ТЭЦ в теплоснабжающую систему (пример графиков

[8] В силу принятого предположения о равенстве КПД индивидуальных и групповых котельных условия их равноэкономичности от климата и стоимости топлива не зависят.

* Энергетика // Докл. АН СССР. – 1949. – Т. LXVIII, №. 2. Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского АН СССР. Поступило 07.II.1949.

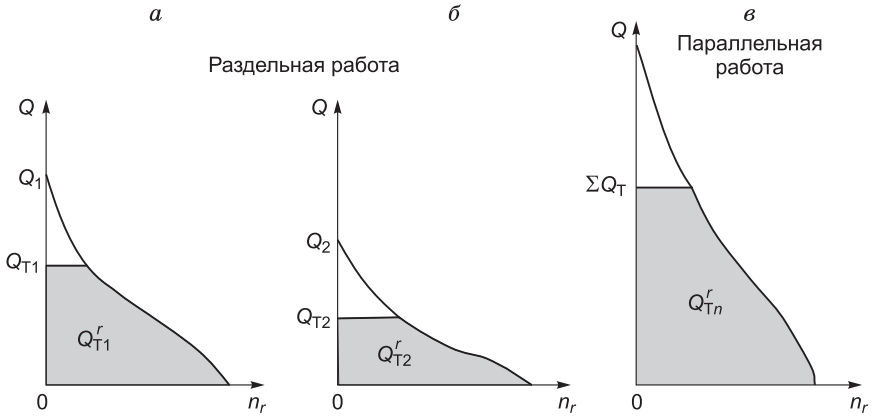


Рис. 1. Графики тепловых нагрузок двух однотипных ТЭЦ:
а – 1-я станция, $\alpha_1 = Q_{m1}/Q_1$; *б* – 2-я станция, $\alpha_2 = Q_{m2}/Q_2$; *в* – $\alpha_\Sigma = (Q_{m1} + Q_{m2})/(Q_1 + Q_2)$.

нагрузок для двух ТЭЦ изображен на рис. 1) максимальный отпуск тепла составит $\sum_1^k Q_i$ и, соответственно, максимальная производительность отборов турбин равна $\sum_1^k Q_{Ti}$. В общем случае при одинаковом периоде теплоснабжения $n_г$ и одинаковом относительном числе часов использования максимума тепловой нагрузки h_0 значения Q_i, Q_{Ti} и коэффициенты *теплофикации* $\alpha_i = Q_{Ti}/Q_i$ для каждой из ТЭЦ могут быть различны. В этих условиях годовая производительность отборов турбин при раздельной работе $Q^г_{Tр} = \sum_1^k Q^г_{Ti}$ и при параллельной работе в теплоснабжающей системе $Q^г_{Tn}$ имеет отличные значения, т. е.

$$Q^г_{Tр} \gtrless^1 Q^г_{Tп} = \sum_{i=1}^k Q^г_{Ti} \pm \Delta Q . \qquad (1)$$

Величина ΔQ представляет собой тепловой эффект от перераспределения тепловой нагрузки в годовом разрезе за счет повышенной при параллельной работе загрузки отборов турбин и соответственного снижения отпуска тепла из котлов.

Значению ΔQ приближенно пропорциональна дополнительная выработка электроэнергии по теплофикационному режиму ΔW_m и соответственная экономия топлива ΔB. Анализ значений теплового эффекта от перераспределения в зависимости от ряда факторов возможен с помощью достаточно точного выражения для расхода тепла по продолжительности, представляемого в относительных величинах в виде простой степенной функции [1]:

$$\alpha = 1 - n^{1/\beta}, \qquad (2)$$

где β – характеристика формы графика нагрузки, зависящая от структуры теплопотребления. Так, для графиков, характеризуемых преобладанием

[1] Знак “больше” или “меньше”. – *Прим. ред.*

отопительной нагрузки и имеющих вогнутый вид, $\beta > 1$. При значительном преобладании технологической и бытовой нагрузки, не зависящей от климатических условий, вероятен выпуклый вид графиков, $\beta < 1$. При абсолютно постоянной нагрузке в течение всего года $\beta = 0$. В последующем рассмотрении для анализа весьма удобен график смешанной нагрузки линейного вида, когда $\beta = 1$. Во многих случаях графики имеют стационарную точку $\left(\partial^2\alpha/\partial n^2 = 0\right)$. Однако для практических целей с достаточной точностью возможна их аппроксимация кривыми вида (2) (одной вогнутой или двумя – вогнутой и выпуклой), и они специально не рассматриваются. Для вычисления размера годовой тепловой нагрузки в относительных единицах ($\alpha_г$) интегрированием можно получить выражение

$$\alpha_г = \int_0^{\alpha} n dx \Big/ \int_0^1 n d\alpha = 1 - (1-\alpha)^{1+\beta}.$$

Разлагая значения $\alpha_г$ в ряд и ограничиваясь пятью первыми членами, можно получить формулу для числа часов использования тепловой мощности станции, размещаемой в базисной части графика:

$$h_Т = n_г h_0 \frac{\alpha_г}{\alpha} = \frac{n_г}{2}\left(2 - \beta\alpha + \gamma\alpha^2\right).$$

В данном случае: α – относительная тепловая мощность станции (или отборов турбин), размещенной в базисной части графика; $n_г$ – продолжительность всего периода теплоснабжения, ч; $\gamma = \beta(\beta - 1)/3$ – поправочный коэффициент. Аналогично для более общего случая размещения станции в любой промежуточной части графика нагрузки число часов использования ее мощности:

$$h_{Тi} = \frac{n_г}{2}\left[2 - \beta\left(\alpha_i + 2\alpha_{i-1}\right) + \gamma\left(\alpha_i^2 + 3\alpha_i\alpha_{i-1} + 3\alpha_{i-1}^2\right)\right],$$

где α_i – относительная мощность данной станции; α_{i-1} – относительная мощность суммы всех станций, размещенных в графике ниже данной. В частном случае для базисной станции, т. е. когда $\alpha_i = \alpha$ и $\alpha_{i-1} = 0$, $h_{Ti} = h_Т$. Используя приведенные зависимости, после ряда преобразований получаем выражения для определения теплового эффекта от перераспределения при параллельной работе (в Мкал):

$$\Delta Q = Q_{Тп}^г - Q_{Тр}^г = \frac{n_г}{2}\left[\beta\left(\sum_{i=1}^{k}\alpha_i Q_{Тi} - \alpha_\Sigma\sum_{i=1}^{k}Q_{Тi}\right) - \gamma\left(\sum_{i=1}^{k}\alpha_i^2 Q_{Тi} - \alpha_\Sigma^2\sum_{i=1}^{k}Q_{Тi}\right)\right]. \quad (3)$$

В выражении (3) $\alpha_\Sigma = \sum_1^k Q_{Тi} \Big/ \sum_1^k Q_i$ представляет собой коэффициент теплофикации всей теплоснабжающей системы, аналогично коэффициентам $\alpha_i = Q_{Тi}/Q_i$ отдельных ТЭЦ.

Довольно сложный характер зависимости теплового эффекта при параллельной работе от относительной и абсолютной величины производительности отборов турбин и ТЭЦ в целом, а также от характеристи-

ки формы графика тепловой нагрузки выясняется на двух частных, но характерных примерах объединения двух ТЭЦ.

I пример. Объединению подлежат две ТЭЦ с одинаковым отпуском тепла $Q_1 = Q_2 = 100$ ккал/ч. На 1-й станции $Q_{Ti} = 50$ ккал/ч и, следовательно, $a_1 = 0{,}5$. На второй ТЭЦ $a_2 = \text{var}$ (при $a_1 = 0$ – районная котельная). Как видно из рис. 2, в данном случае при всех условиях $\Delta Q = 0$, если $a_1 = a_2 = 0{,}5$.

Отрицательные значения ΔQ для графиков нагрузки с булышей вогнутостью ($\beta = 2{,}5$ и $3{,}0$) имеют место только при $a_2 > a_1$.

II пример. Объединению подлежат две ТЭЦ с различной теплопроизводительностью: $Q_1 = 100$ ккал/ч и $Q_2 = 200$ ккал/ч.

Производительность отборов на первой ТЭЦ $Q_{Ti} = 60$ ккал/ч и $a_1 = 0{,}6$.

Для второй ТЭЦ $a_2 = \text{var}$. Как видно из рис. 3, относительная величина теплового эффекта в данном случае намного больше, чем для предыдущего примера.

Пользуясь выражением (3), можно получить общий критерий положительной эффективности ($\Delta Q > 0$) параллельной работы ТЭЦ одинаковой экономичности в виде неравенства

$$\frac{\beta - 1}{3} < \frac{\alpha_\Sigma \sum_{i=1}^{k} Q_{Ti} - \sum_{i=1}^{k} \alpha_i Q_{Ti}}{\alpha_\Sigma^2 \sum_{i=1}^{k} Q_{Ti} - \sum_{i=1}^{k} \alpha_i^2 Q_{Ti}}. \qquad (4)$$

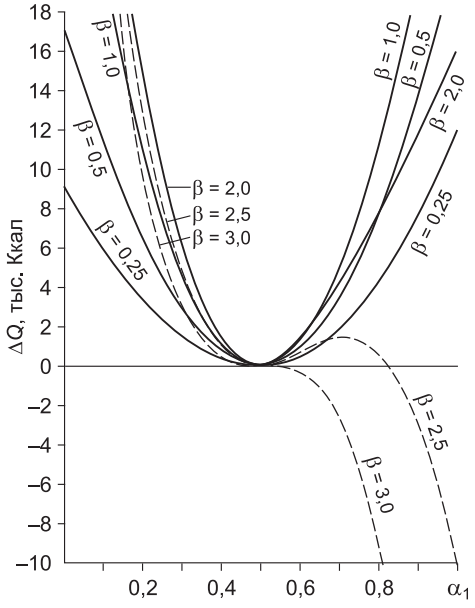


Рис. 2.

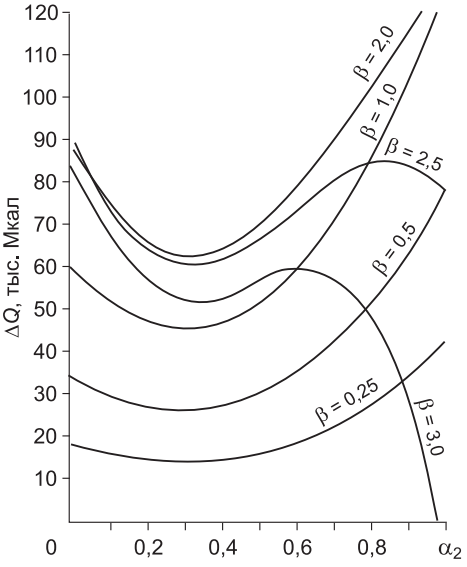


Рис. 3.

Критерий (4) позволяет сделать ряд общих выводов. При любом целом и положительном числе λ и любых значениях чисел Q_i и Q_{Ti}

$$\left(\sum Q_{Ti}\right)^{\lambda} \Big/ \left(\sum Q_i\right)^{\lambda-1} - \sum \frac{Q_{Ti}^{\lambda}}{Q_i^{\lambda-1}} \le 0 ,$$

откуда следует, что правая часть критерия (4) всегда положительна либо равна нулю. Таким образом, делаем выводы.

1. Для выпуклых графиков нагрузки ($0 < \beta < 1$), характеризующих смешанное теплопотребление промышленных комбинатов, левая часть (4) меньше нуля, и поэтому эффективность параллельной работы всегда имеет место.

2. Для вогнутых графиков с преобладанием отопительной нагрузки ($\beta > 1$) левая часть (4) больше нуля, и поэтому нельзя с уверенностью утверждать существование теплового эффекта при параллельной работе ($\Delta Q > 0$). В данном случае требуется проверка подстановкой соответствующих значений Q_{Ti}, Q_i и β в обе части неравенства (4). Отметим, однако, что положительный эффект будет тем больше, чем больше отличаются значения a_i для отдельных ТЭЦ.

3. Для любой формы графиков нагрузки эффект от параллельной работы равен нулю, если коэффициенты теплофикации и тепловые мощности всех станций равны между собой, т. е. если $a_i = \text{const}$ и $Q_i = \text{const}$ (см. рис. 2, 3).

Значение характеристики формы графика нагрузки, при которой тепловой эффект при параллельной работе будет наибольшим $\left(\partial(\Delta Q)/\partial\beta = 0\right)$, определяется из выражения

$$\beta_{\text{опт}} = 0,5 + 1,5\,\frac{\sum\limits_{i=1}^{k} \alpha_i Q_{Ti} - \alpha_{\Sigma} \sum\limits_{i=1}^{k} Q_{Ti}}{\sum\limits_{i=1}^{k} \alpha_i^2 Q_{Ti} - \alpha_{\Sigma}^2 \sum\limits_{i=1}^{k} Q_{Ti}} .$$

Предельное значение характеристики, при котором $\Delta Q = 0$, определится как $\beta_0 = 2\beta_{\text{опт}}$.

В заключение отметим, что во многих практических случаях объединением ТЭЦ одинаковой экономичности для параллельной работы может быть достигнут значительный энергетический эффект. Наиболее благоприятным в этом случае является объединение ТЭЦ различной тепловой мощности при сосредоточении наибольшей электрической мощности на ТЭЦ с наименьшей теплопроизводительностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Шифринсон Б.Л., Хасилев В.Я.** Сборник БНИТО теплоснабжения и вентиляции. – 1949. – С. 24.

ЗАДАЧИ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В СЛОЖНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ И ИХ РЕШЕНИЕ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ*

Г.Л. Полисар, В.Я. Хасилев

(Представлено академиком А.В. Винтером 8.VII.1950)

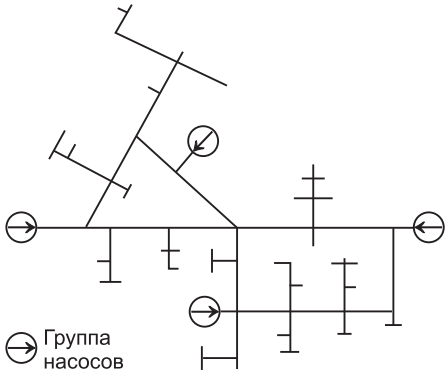
На новом этапе развития теплофикации и централизованного теплоснабжения возникают схемы, отличные от получившей наибольшее распространение схемы *радиальных* двухтрубных водяных теплосетей с центральным регулированием. Особое значение имеет создание теплоснабжающих систем с параллельной работой различных источников на общий график тепловой нагрузки. Доказанная ранее [1] энергетическая эффективность параллельной работы не только разнотипных источников тепла, но и однотипных ТЭЦ значительно расширяет область применения параллельной работы в теплоснабжающих системах и требует осуществления новых режимов и схем с переменным потокораспределением в магистральных сетях при центральном, промежуточном и местном регулировании.

В этих условиях для целей проектирования и эксплуатации большое значение приобретает анализ гидравлических режимов, основанный на расчете потокораспределения в сети с заданными сопротивлениями и напорами на станциях; для расчета сложных сетей имеет значение и обратная задача – подбор сопротивлений (диаметров) по заданному расходу теплоносителя.

В литературе [2–5] известен метод расчета потокораспределения в тепловых сетях (применяемый и в других областях трубопроводной техники), основанный на приеме суммирования сопротивлений S и условных проводимостей $1/\sqrt{S}$. Этот метод, так же как и метод "перемещения единицы объема" [6], применим лишь в простейших случаях. Пользуясь этим методом, можно определить изменение потокораспределения в радиальной сети с одним источником питания, при *полном* отключении одного или группы потребителей, выключении насосной подстанции, изменении напора сетевых насосов.

Однако этот же метод совершенно неприменим для анализа переменных гидравлических режимов: а) при *частичном* выключении потребителей и подстанций, что для практики имеет наибольшее значение; б) во всех случаях кольцевания сетей, устройства перемычек между отдельными магистралями и т. п.; в) во всех случаях неодинаковых расходов теплоносителя в подающей и обратной магистрали на одних и тех же участках сети (непосредственный водоразбор из сети, схема с попутным движением воды в магистралях, трехтрубная схема и пр.); г) во всех случаях параллельной работы нескольких источников питания на общую тепловую сеть.

* Энергетика // Докл. АН СССР. – 1950. – Т. LXXIV, № 2. Поступило 5.VII.1950.



Известный графический метод расчета параллельной работы насосов на общую сеть, основанный на суммировании (G–H)-характеристик, и его модификация применительно к параллельному включению насосов в сеть с участками заметно большой протяженности [7] также не могут быть использованы во всех случаях сложных тепловых сетей, где большое число потребителей питается несколькими источниками (см. рисунок).

Как известно, для тепловых сетей, как правило, имеет место независимость коэффициента трения от скорости теплоносителя, и, следовательно, потеря напора на отдельных участках в зависимости от расхода меняется по квадратичному закону ($H = SG^2$). Таким образом, для расчета переменного потокораспределения (для одного только режима) в сети, имеющей p участков и y узлов, включая узлы входа, необходимо решение системы, состоящей из ($p - y + 1$) уравнений второй степени, записываемых на основании II закона Кирхгофа, и ($y - 1$) уравнений первой степени согласно I закону Кирхгофа. Порядок уравнения, к которому может быть приведена такая система, весьма велик и составляет 2^{p-y+1}. Итак, для сети, состоящей, например, всего из 20 участков и 12 узлов, необходимо было бы составление и численное решение уравнения 512-й степени(!).

Очевидно, что во многих практических случаях и главным образом в исследовательской практике при анализе возможных гидравлических режимов в сетях, сооружаемых по новым схемам, расчет потокораспределения, основанный на методе последовательных приближений, теряет всякий смысл в силу своей громоздкости. Возникает насущная необходимость в нелинейном расчетном устройстве, позволяющем моделировать распределение потоков и напоров в тепловых сетях.

В общем случае, как известно, потери напора в трубопроводах связаны с расходом жидкости следующим соотношением:

$$H_i = S_i G_i^n, \tag{1}$$

где H_i – потеря напора на i-м участке, м; G_i – расход, т/ч; S_i – гидравлическое сопротивление i-го участка, (м·ч^n)/т^n; n – показатель нелинейности, для наружных тепловых сетей $n = 2$.

Осуществление электрического аналога нелинейных трубопроводных сетей возможно при наличии серии нелинейных электрических элементов с вольт-амперной характеристикой, подчиняющейся закону

$$u_i = k_i I_i^n, \tag{1′}$$

где u_i – приложенное напряжение на i-м участке, В; I_i – сила тока, А; k_i – коэффициент нелинейности, В/А^n.

Эти элементы могут быть осуществлены в виде термисторов или варисторов с соответствующим коэффициентом и показателем нелинейности, или же в виде автоматических устройств, поддерживающих заданную зависимость между током и напряжением.

Модель трубопроводной сети должна быть представлена электрической сетью той же конфигурации, каждый i-й участок которой обладает коэффициентом нелинейности k_i, соответственно пропорциональным гидравлическому сопротивлению S_i:

$$k_i = m_S S_i, \tag{2}$$

где m_S – масштаб гидравлических сопротивлений.

При выбранном масштабе для расходов $m_\alpha = \frac{G_i}{I_i}\ \frac{\text{т}}{\text{а}\cdot\text{ч}}$ и для напоров $m_H = \frac{H_i}{u_i}\ \frac{\text{м}}{\text{В}}$ масштаб гидравлических сопротивлений определяется из соотношения $m_S = m_H / m_\alpha^2$.

В литературе [8] описаны отдельные опыты применения метода электрической аналогии для инструментального расчета водопроводных сетей.

В ВОДГЭО были выполнены различные электромеханические элементы для искусственного создания нелинейных зависимостей между током и напряжением. Однако данные о создании моделей из нескольких таких элементов и решении при их помощи задач по расчету разветвленных сетей не приведены.

Известны также [9] попытки применения для указанных целей нитей накала электронных ламп, имеющих в небольшом диапазоне приложенных напряжений вольт-амперную характеристику типа (1′) с показателем нелинейности $n = 1{,}83$.

В Энергетическом институте Академии наук СССР (ЭНИН) разработано и осуществлено несколько вариантов электрических моделей тепловых сетей. В одной из моделей используются в качестве нелинейных элементов автоматические электромеханические операторы, в других – электронные схемы и нелинейные элементы типа термисторов. Одна из моделей типа ЭНИН, находящаяся в эксплуатации, состоит из 33 нелинейных участков и трех источников питания. При помощи коммутационного устройства может быть осуществлена любая конфигурация сети.

Разработано также и другое направление моделирования, отличающееся применением принципа обратной аналогии. В такой модели гидравлическим напорам соответствуют значения электрических токов, а расходы представлены значениями напряжений. Нелинейные элементы в этом случае должны иметь вольт-амперную характеристику вида

$$I = Au^n. \tag{3}$$

Конфигурация электрической схемы модели с такими элементами должна быть дуальной по отношению к конфигурации исходной трубопроводной сети.

На моделях, осуществленных в ЭНИН АН СССР, уже решен ряд задач по потокораспределению в тепловых сетях. При сопоставлении получен-

ных результатов с расчетными данными обнаружены погрешности, не превышающие ±2,5 %[1].

Этими результатами полностью подтверждается эффективность использования электрических нелинейных моделей для расчетной и диспетчерской практики. Их применение может дать значительный народно-хозяйственный эффект как в процессе проектирования и строительства сетей за счет ускорения расчетов и экономии капиталовложений, так и в процессе эксплуатации – путем улучшения диспетчерской службы, регулирования и обеспечения экономичных режимов работы сетей.

Авторы выражают благодарность проф. Э.А. Мееровичу и проф. Л.А. Мелентьеву за ряд ценных советов при выполнении настоящей работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Хасилев В.Я.** Энергетическая эффективность параллельной работы однотипных ТЭЦ // Докл. АН СССР. – 1949. – Т. 68, № 2.
2. **Шифринсон Б.Л.** Отопление и вентиляция. – 1935. – № 11.
3. **Копьев С.Ф.** Теплофикация. – 1939. – С. 106.
4. **Соколов Е.Я.** Тепловые сети. – 1949. – С. 142.
5. **Скрицкий Л.Г.** Контроль и автоматика систем теплоснабжения. – 1948. – С. 134.
6. **Каменев П.Н.** Расчет воздуховодов и водоструйных аппаратов по методу перемещения единицы объема. – 1934. – С. 69.
7. **Шифринсон Б.Л., Рабинович Е.З., Закс М.Л.** Электрические станции. – 1942. – № 11–12.
8. **Гениев Н.Н., Абрамов Н.Н.** Водоснабжение. – 1944. – С. 79.
9. **Camp T.R.** Proc. New England Water Works Association. – 1943.

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ГРАФИК СМЕШАННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЕЙ*

В.Я. Хасилев

(Представлено академиком А.В. Винтером 17.III.1951)

Энергетический эффект от параллельной работы ТЭЦ на общий график тепловой нагрузки достигается при последовательном (во времени) включении отборов турбин и котлов в систему теплоснабжения [1]. При этом

[1] В наладке моделей и решении задач принимали участие Л.И. Андриевская и Л.В. Локтева.

* Энергетика // Докл. АН СССР. – 1951. – Т. LXXVIII, № 2. Поступило 8.III.1951.

для достижения максимального эффекта схема должна обеспечить сохранение постоянства отпуска тепла из всех ранее включенных источников в течение периодов, когда происходит увеличение производительности любого последующего источника. Решение поставленной задачи применительно к двухтрубным водяным теплосетям возможно в двух направлениях: а) создании схем с центральным смешением, когда потоки теплоносителя от всех ТЭЦ смешиваются в одном или нескольких центральных пунктах[1], являющихся непосредственными источниками питания всех потребителей (схемы I рода); б) создании схем с перемещающимися точками водораздела в магистральных сетях, когда зоны действия отдельных ТЭЦ меняются в зависимости от изменения температуры наружного воздуха (схемы II рода).

В настоящем сообщении показывается, что соблюдение требований, обеспечивающих получение энергетического эффекта применительно к схемам II рода, возможно лишь с применением смешанного регулирования – температурного и количественного. Ниже предлагается температурный график смешанного регулирования и методика его расчета на примере параллельной работы двух ТЭЦ при независимом присоединении потребителей через водоводяные подогреватели.

Пусть по условиям получения максимальной экономии топлива требуется следующая последовательность включения отдельных источников: отборы ТЭЦ I–отборы ТЭЦ II–котлы ТЭЦ I–котлы ТЭЦ II (ОI–ОII–КI–КII). Таким образом, при параллельной работе на общий тепловой график ТЭЦ I является “базисной”, а ТЭЦ II – “пиковой“. При раздельной работе этих ТЭЦ ими обслуживались изолированные районы с максимальными нагрузками Q_{I} и Q_{II}. Обе ТЭЦ при раздельной работе характеризовались коэффициентами теплофикации: $\alpha_1 = Q_{T1}/Q_{\text{I}}$ и $\alpha_2 = Q_{T2}/Q_{\text{II}}$. На графике покрытия общей тепловой нагрузки (рис. 1) приведены обозначения производительностей отборов турбин и котлов отдельных ТЭЦ и показаны температуры воздуха t_{H}, при которых начинается включение отдельных источников.

Схема с независимым присоединением потребителей, наряду с качественным регулированием, позволяет с помощью изменения напоров на станциях и сопротивлений автоматизированных регулирующих органов у потребителей, перемещать точки водораздела и менять соотношение потоков в этих точках. Такой прием регулирования перераспределением потоков воды мы в дальнейшем называем “выталкиванием”. Соответственно включению отдельных источников устанавливаются следующие диапазоны регулирования (рис. 2):

1) “НО–А” – качественное регулирование на ТЭЦ I, обслуживающей, при постоянном расходе воды, районы ТЭЦ I и ТЭЦ II[2].

[1] Роль этих пунктов могут выполнять и отдельные ТЭЦ из числа параллельно работающих.

[2] Схема с независимым присоединением абонентов позволяет применить на этом диапазоне и количественное регулирование при постоянной температуре воды (см. штриховые линии на рис. 2), что, как известно, удовлетворяет, в частности, требованиям горячего водоснабжения.

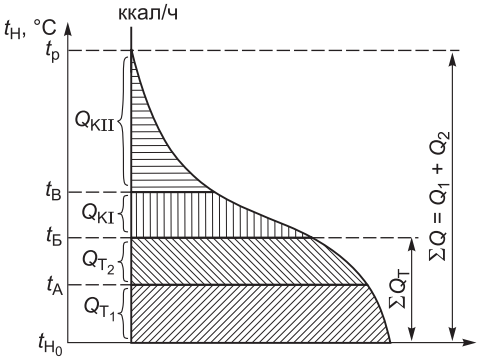


Рис. 1. Покрытие общего графика нагрузки при параллельной работе двух ТЭЦ.

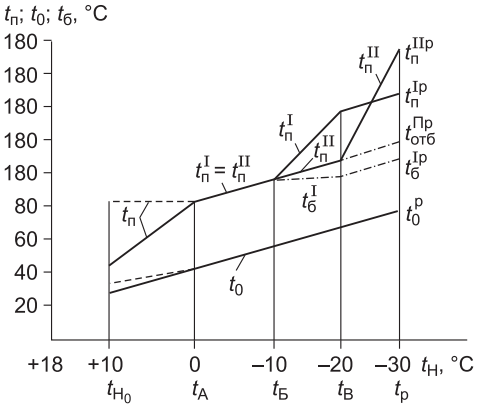


Рис. 2. Температурный график регулирования при параллельной работе двух ТЭЦ.

2) “А–Б” – количественное регулирование на ТЭЦ II выталкиванием. В течение этого периода на ТЭЦ I должен поддерживаться постоянный отпуск тепла из отборов (OI), и поэтому дополнительный рост нагрузки потребителей в районах ТЭЦ I и II может быть компенсирован отпуском тепла из OII только за счет перераспределения потоков в сети. При этом в сетях ТЭЦ I и II поддерживается постоянный перепад температур при постоянном расходе воды на ТЭЦ I и растущем – на ТЭЦ II.

3) “Б–В” – смешанное регулирование на ТЭЦ I выталкиванием и подогревом в пиковых подогревателях. В течение этого периода должен поддерживаться постоянный отпуск тепла из отборов турбин на ТЭЦ I и II (OI + OII = const), и поэтому дополнительный рост нагрузки у всех потребителей может быть компенсирован отпуском тепла из KI только за счет комбинации из перераспределения потоков в сети и подогрева в пиковых подогревателях ТЭЦ I. Соответственно этому в сетях района ТЭЦ II поддерживается постоянный перепад температур, а в сетях района ТЭЦ I температурный перепад возрастает в μ_I раз, где $\mu_1 = \dfrac{Q_{T1} + Q_{T2}}{\alpha_1 (Q_{T1} + Q_{T2} + Q_{K1})}$. Одновременно на ТЭЦ II расход воды остается постоянным при растущем расходе на ТЭЦ I.

4) “В–Р” – смешанное регулирование на ТЭЦ II (выталкиванием и подогревом) при постоянстве отпуска тепла от ТЭЦ I и отборов турбин на ТЭЦ II (OI + OII + KI = const). Аналогично предыдущему диапазону “Б–В”, рост нагрузки потребителей обоих районов компенсируется перераспределением потоков в сети и подогревом в пиковых подогревателях на ТЭЦ II. Соответственно этому постоянный перепад температур поддерживается в сетях района ТЭЦ I, а в сетях района “пиковой” ТЭЦ II перепад температур возрастает в μ_{II} раз, где $\mu_{II} = 1/\alpha_2$.

Построение температурного графика смешанного регулирования методически удобно производить, задаваясь в качестве исходной величины

максимальной температурой догрева обратной воды в основных подогревателях пиковой ТЭЦ $t_{\text{отб}}^{\text{пр}}$, определяемой верхним пределом давления пара в регулируемых отборах $p_{\text{отб}}$ соответственно действующему стандарту на КО-турбины $p_{\text{отб}} = 2{,}5$ ата и $t_{\text{отб}}^{\text{пр}} \cong 120°$.

На всех диапазонах регулирования температура воды в обратной магистрали определяется температурами воды из местных систем, превышая последние максимум на 10–15°. В последующем для простоты принимается, что график температур обратной воды прямолинеен; расчеты показывают, что влиянием изменения коэффициентов теплопередачи местных приборов и водоводяных подогревателей с достаточной степенью точности можно пренебречь[3].

Ниже приводятся расчетные формулы для построения графика температур в сетях при параллельной работе двух ТЭЦ со смешанным регулированием, исходя из полного использования отборов как на базисной, так и на пиковой ТЭЦ, т. е. при условии $t_{\text{б}}^{\text{Пр}} = t_{\text{отб}}^{\text{пр}}$. Обозначения относятся: I и II – к ТЭЦ I и ТЭЦ II; “п” и “о” – к подающей и обратной магистралям; “б” – к температуре воды на выходе из основных подогревателей ТЭЦ; “но” – к температуре наружного воздуха в начале отопительного периода; “р” – к расчетной температуре наружного воздуха; *А*, *Б* и *В* – к соответствующим промежуточным температурам наружного воздуха.

Расчетный температурный перепад в основных подогревателях пиковой ТЭЦ:

$$\Delta t_{\text{р}} = t_{\text{отб}}^{\text{пр}} - t_{\text{о}}^{\text{р}}. \tag{1}$$

Значения температур воды в подающих магистралях:

$$t_{\text{п}}^{A\text{I}} = t_{\text{п}}^{A\text{II}} = 18 + \left(t_{\text{о}}^{\text{р}} - 18\right)\frac{Q_{T1}}{\sum Q} + \Delta t_{\text{р}}; \tag{2}$$

$$t_{\text{п}}^{B\text{I}} = t_{\text{п}}^{B\text{II}} = 18 + \left(t_{\text{о}}^{\text{р}} - 18\right)\frac{Q_{T}}{\sum Q} + \Delta t_{\text{р}}; \tag{3}$$

$$t_{\text{п}}^{B\text{I}} = 18 + \left(t_{\text{о}}^{\text{р}} - 18\right)\frac{Q_{T} + Q_{K1}}{\sum Q} + \frac{\sum Q_{T}}{\alpha_1\left(\sum Q + Q_{K1}\right)}\Delta t_{\text{р}}; \tag{4}$$

$$t_{\text{п}}^{B\text{II}} = 18 + \left(t_{\text{о}}^{\text{р}} - 18\right)\frac{\sum Q_{T} + Q_{K1}}{\sum Q} + \Delta t_{\text{р}}; \tag{5}$$

$$t_{\text{п}}^{\text{рI}} = t_{\text{о}}^{\text{р}} + \frac{\sum Q_{T}}{\alpha_1\left(\sum Q_{T} + Q_{K1}\right)}\Delta t_{\text{р}}; \tag{6}$$

$$t_{\text{п}}^{\text{рII}} = t_{\text{о}}^{\text{р}} + \frac{\Delta t_{\text{р}}}{\alpha_2}. \tag{7}$$

[3] Расчеты выполнены Т.К. Леонтьевой.

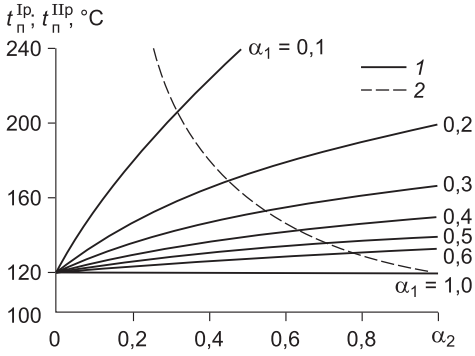


Рис. 3. Расчетные температуры (°С) в подающих магистралях на базисной и пиковой ТЭЦ одинаковой тепловой мощности в зависимости от коэффициентов теплофикации при $t_о^р = 80$, $t_{отб}^{пр} = 120$: 1 – $t_п^{рI}$, 2 – $t_п^{рII}$.

Значения расчетных температур воды на выходе из основных подогревателей базисной ТЭЦ:

$$t_б^{BI} = 18 + \left(t_о^р - 18\right)\frac{\sum Q_T + Q_{K1}}{\sum Q} + \frac{\sum Q_T}{\sum Q_T + Q_{K1}}\Delta t_р; \qquad (8)$$

$$t_б^{рI} = t_о^р + \frac{\sum Q_T}{\sum Q_T + Q_{KT}}\Delta t_р. \qquad (9)$$

Значения расчетных температур воды на параллельно работающих ТЭЦ одинаковой тепловой мощности в зависимости от их электрической мощности характеризуются соотношением коэффициентов теплофикации α_1 и α_2, поскольку в этом случае для базисной ТЭЦ

$$t_п^{рI} = t_о^р + \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{\left(1 + \alpha_2\right)\alpha_1}\Delta t_р. \qquad (6')$$

Характер изменения расчетных температур на базисной и пиковой ТЭЦ при $t_о^р = 80°$, $t_{отб}^{пр} = 120°$ приведен на рис. 3. Равенство максимальных расчетных температур воды на обеих ТЭЦ одинаковой тепловой мощности имеет место лишь при $\alpha_2 = \sqrt{\alpha_1}$, где α_1 соответствует пиковой и α_2 – базисной ТЭЦ.

Полученные соотношения предполагают полное использование производительности отборов во время минимальных расчетных температур наружного воздуха. При этом условии применение схем II рода для параллельной работы ТЭЦ и пиковой районной котельной ($\alpha_2 = 0$) исключается в силу необходимости сохранить соотношение (7).

Отметим, что недоиспользование отборов, при повышении температур воды сверхрасчетных, в условиях параллельной работы будет все же меньше, чем при раздельной работе в соответствующих условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Хасилев В.Я.** Энергетическая эффективность параллельной работы однотипных ТЭЦ // Докл. АН СССР. – 1949. – Т. 68, № 2.

ЗАГОРОДНЫЕ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ В ЭНЕРГОСНАБЖЕНИИ ГОРОДОВ*

В.И. Вейц, В.Я. Хасилев

Великие стройки коммунизма знаменуют новый этап в развитии всех отраслей энергетики СССР, в частности в развитии энергетики и электрификации городов.

Задачи реконструкции энергетики городов СССР в период перехода от социализма к коммунизму приобретают все бóльшее значение. Повышение уровня обслуживания энергетических нужд населения является одним из весьма существенных факторов дальнейшего улучшения материальных и культурных условий жизни населения. С реконструкцией энергетики городов непосредственно связано улучшение энергетического баланса в целом основных районов страны в направлении повышения коэффициента полезного действия энергетических установок и экономии топлива, замены дальнепривозного топлива местным, улучшения использования энергетического оборудования.

Ведущим направлением социалистической реконструкции и развития энергетики городов является сочетание электрификации, газификации и теплофикации. Это сочетание централизованных источников энергоснабжения городов радикально решает коренные вопросы как собственно энергетического хозяйства (минерализация топливного баланса, внедрение местного топлива, повышение коэффициента полезного действия, комплексное использование топливных ресурсов), так и улучшения уровня энергетического обслуживания населения.

Энергетика городов СССР прошла значительный путь в своем развитии. Душевое электропотребление на коммунально-бытовые нужды в городах СССР за годы советской власти выросло в среднем больше чем в семь раз и значительно превысило средний уровень в городах капиталистических стран. СССР занимает первое место в мире по уровню развития теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) и теплофикации городов; энергетика городов СССР в этом отношении особенно ярко демонстрирует свое превосходство в сравнении с энергетикой городов капиталистических стран. Значительное развитие, в особенности в послевоенные годы, получила газификация городов, главным образом на базе природного, а также коксового газов. Однако на современном этапе развитие энергетики городов выдвигает новые задачи в области теплофикации и газификации.

В дальнейшем развитии теплофикации в городах с трудными условиями топливоснабжения необходимо учитывать, вместе с задачей экономии топлива, вопросы увеличения завоза топлива, ухудшения санитарных условий в связи с размещением ТЭЦ в черте города и сжиганием местных

* Изв. АН СССР. – 1951. – № 11. – С. 1650–1668. Доложено в Энергетическом институте им. Г.М. Кржижановского АН СССР в марте 1950 г. и в мае 1951 г.

многозольных топлив иногда с относительно большим содержанием серы. На каждую 1000 кВт мощности отопительной ТЭЦ, работающей на бурых углях (типа подмосковных), необходимо ежегодно завозить в город 10 000–12 000 т угля, вывозить 2100–2700 т золы; 120–140 т золы оседает в городе.

Ограничивающим фактором в развитии городских ТЭЦ выступают также затруднения с выбором в черте города строительных площадок и с условиями водоснабжения. Все это определяет выбор мощности ТЭЦ в черте города по тепловому графику при относительно низком значении коэффициента[1] $\alpha_{ТЭЦ}$. В результате снижается, при неизменном коэффициенте охвата теплофикацией, экономия топлива, а удельные – на кВт мощности и на кВт·ч электроэнергии – капитальные затраты и эксплуатационные расходы резко повышаются[2].

Радикальное решение указанного противоречия в современном развитии теплофикации ряда городов может быть обеспечено путем вынесения ТЭЦ за черту города, за его зеленый пояс, с выбором строительной площадки, удобной также по условиям топливо- и водоснабжения[3].

Новая энергетическая схема теплофикации, основанная на создании загородных ТЭЦ, резко улучшает санитарные условия городов, освобождая их от загрязнения воздуха серой и золой. Она позволяет нагрузить ТЭЦ по оптимальным с точки зрения КПД показателям $\alpha_{ТЭЦ}$. В ряде случаев представляется возможным выбирать мощность ТЭЦ не только по тепловому, но и по электрическому графикам, учитывая величину и структуру электроэнергетической системы, в которую включается ТЭЦ, т. е. перейти к более высоким мощностям ТЭЦ и агрегатов.

В этом же направлении – повышения экономичности загородных ТЭЦ по сравнению с городскими – часто действует и уменьшение затрат на вывозку золы, на доставку и хранение топлива, на водоснабжение.

Осуществление схемы теплофикации, основанной на загородных ТЭЦ, естественно, означает переход на дальнее теплоснабжение, осуществляемое в радиусе нескольких десятков километров вместо действующего радиуса передачи тепла горячей водой, измеряемого несколькими километрами. Это определяет дополнительные затраты на сооружение и эксплуатацию дальних теплопроводов. Схема теплофикации, основанная на загородных ТЭЦ, требует рассмотрения, во-первых, принципиальных технических вопросов проектирования, строительства и эксплуатации дальних теплопроводов (система и параметры тепловых сетей, тепловой и гидравлический режимы и т. д.), во-вторых, условий, при которых загородная ТЭЦ становится равноэкономичной или более экономичной, чем заменяемая ею городская ТЭЦ.

---

[1] $\alpha_{ТЭЦ} = Q_Т/Q_{ТЭЦ}$, где $Q_Т$ – максимально-часовой расход тепла из отборов турбины; $Q_{ТЭЦ}$ – суммарный максимально-часовой отпуск тепла от ТЭЦ.

[2] При переходе от $\alpha_{ТЭЦ} = 0{,}75–0{,}85$ к $\alpha_{ТЭЦ} = 0{,}45–0{,}50$ для городов, размещенных во II климатическом поясе, экономия топлива за счет теплофикации сокращается на 20–25 %.

[3] Главным образом в связи с уменьшением электрической мощности ТЭЦ.

Схема теплофикации с загородной ТЭЦ по-новому ставит коренные вопросы выбора мощности и типа оборудования ТЭЦ, а также режимов ее эксплуатации. Осуществление этой схемы требует разрешения актуальной проблемы параллельной работы различных источников теплоснабжения (городских и загородных ТЭЦ, т. е. создания теплоснабжающей системы по аналогии с электроснабжающей. В этих условиях параллельная работа по теплу выступает как один из важнейших факторов дальнейшего повышения надежности и экономичности теплоснабжения.

Выше было отмечено, что советская энергетика достигла значительных успехов и в части газификации городов, главным образом на базе дальних газопроводов, с использованием природного, а также коксового газов. Однако неразработанность экономичных методов *получения высококалорийного газа на базе местных топлив* является фактором, серьезно ограничивающим дальнейшую широкую газификацию городов в ряде районов.

Существующие методы газификации местных топлив с целью получения высококалорийного газа, основанные на парокислородном дутье, в том числе с применением высокого давления, или на среднетемпературной термической переработке, на полукоксовании с внешним или внутренним обогревом частиц, по экономическим условиям не могут служить базой для широкой газификации городов[4].

К числу важных достижений относятся теоретически и экспериментально разработанные советскими исследователями новые схемы полукоксования местных топлив с твердым и газовым теплоносителями, с получением высококалорийного газа и смол. Горячий полукокс сжигается в топках (сопряженных с полукоксовыми установками) паровых котлов электростанций. Эта схема энергохимического использования топлива на электростанциях по методу ЭНИН призвана открыть новые широкие перспективы дальнейшей газификации городов и промышленных центров[5].

Выполненные исследования по загородным ТЭЦ с дальним теплоснабжением и с параллельной работой по теплу, по энергохимическому использованию топлива на электростанциях позволяют выдвинуть комбинированную схему электро-, тепло- и газоснабжения городов и промышленных центров, основанную на создании загородных ТЭЦ, осуществляющих новый метод полукоксования местных топлив. При этих условиях загородная ТЭЦ сможет выступить как энергетический центр, призванный снабжать город электроэнергией, горячей водой и газом.

В настоящей статье освещены лишь результаты исследования общих основ загородной ТЭЦ. Вопросы комплексного использования топлива на загородных ТЭЦ для электро-, тепло- и газоснабжения городов и промышленных центров требуют особого рассмотрения.

[4] Это положение является спорным.

[5] Идея энергохимического использования топлива на электростанциях была развита в работах Г.М. Кржижановского, опубликованных еще в 20-х годах (Г.М. Кржижановский. Собр. соч. Т. 1. Электроэнергетика, 1933).

1. Зависимость топливно-энергетических показателей городов от численности населения

Изучение условий применения комбинированной схемы требует прежде всего приведения показателей к одинаковым величинам производства электроэнергии, газа и тепла и соответствующих мощностей для сравниваемых комбинированной и раздельной энергетических схем.

Показатели мощности ТЭЦ, потребления газа и тепла (в горячей воде), завоза в город топлива в зависимости от численности населения приведены в табл. 1.

В основу расчетов положены следующие нормативные данные: жилищная площадь – 6 м^2 на человека; расчетная температура наружного воздуха – 30 °С; горячее водоснабжение занимает 15% в общем максимуме тепловой нагрузки. Удельный вес промышленного низкотемпературного потребления (горячая вода) в суммарном (промышленном и коммунально-бытовом) теплопотреблении города – около 30 %. Удельный расход газа ($Q_т$ = 4000 кал на 1 м^3) – 260 м^3 на 1 чел. в год; из этого количества тепла две трети падает на пищеприготовление и одна треть на горячее водоснабжение. ТЭЦ – двухагрегатные: агрегаты с единичной мощностью до 12 000 кВт на среднем давлении; 25 000 кВт и выше – на высоком давлении. Коэффициент охвата теплофикацией 0,4 и газификацией – 0,7.

При определении завоза топлива приняты среднегодовые удельные расходы топлива на основе энергетических характеристик турбин и при $\alpha_{ТЭЦ}$ = 0,5; годовое число часов использования установленной электрической мощности ТЭЦ – 5500 ч. В таблице приведены также данные по вывозке золы и засорению города золой. Показатели по золе определены по средним качественным показателям подмосковных углей. Коэффициент обеспыливания принят – 0,95. Цифры в таблице округлены и дают лишь порядок величин.

Таблица 1

Население, тыс. чел.	Мощность ТЭЦ, 1000 кВт	Годовая потребность		Завоз топлива, тыс. т	Вывоз золы, т	Засорение золой, т
		газа, млн м^3	тепла, тыс. Мкал			
100	8	17	132	101	21 500	1190
150	12	27	257	154	32 700	1800
275	24	50	380	300	63 000	3500
400	50	75	578	485	103 000	5700

2. Дальнее теплоснабжение и параллельная работа ТЭЦ по теплу

Энергетическая схема, основанная на загородной ТЭЦ, включает в качестве дополнительного звена дальние теплопроводы.

Вопросы дальнего теплоснабжения и создания теплоснабжающих систем с параллельной работой по теплу были впервые поставлены и нашей стране в тридцатых годах, в частности, в связи с разработкой генерального плана теплофикации Москвы [3, 4]. Передача тепла на большие расстояния при современном состоянии техники теплоснабжения перегретой во-

дой осуществима. В работе Академии коммунального хозяйства (1934 г.) по технике дальнего транспорта тепла были рассмотрены гидравлические и тепловые режимы дальнего двухтрубного теплопровода. Ограничения в дальности передачи тепла ставятся главным образом технико-экономическими факторами.

Выполнявшиеся в тридцатых годах исследования вопросов дальности передачи тепла были посвящены обоснованию "экономического" $R_{эк}$ и "предельного" $R_{п}$ радиусов теплофикации. Эти работы ставили своей целью отыскание оптимальной мощности ТЭЦ, размещенной в районе с большей или меньшей теплоплотностью. Увеличение протяженности тепловых сетей рассматривалось совместно с соответственным увеличением тепловой мощности ТЭЦ. Экономическое решение вопроса учитывало, что с ростом радиуса теплофикации происходит уменьшение удельных капиталовложений и эксплуатационных расходов по электростанциям и увеличение расходов по тепловым сетям. Отсюда и определялось значение "экономического" радиуса $R_{эк}$ передачи тепла, соответствующего минимуму суммарных годовых эксплуатационных расходов; одновременно $R_{эк}$ соответствовал оптимальной мощности ТЭЦ в районе с данной теплоплотностью и конфигурацией. "Предельный радиус" теплофикации $R_{пр}$ определялся из равенства годовых расходов по транспорту тепла и экономии на топливе за счет теплофикации. В обоих случаях для $R_{эк}$ и $R_{пр}$ предполагалась трассировка тепловых сетей внутри жилого района с размещением ТЭЦ в центре района или на его периферии.

Расхождения в численных значениях оптимального радиуса теплофикации [1–4] объяснялись главным образом различными оценками изменения удельных технико-экономических показателей по ТЭЦ как функции мощности станции и устанавливаемых агрегатов.

В.Б. Пакшвер [5] выдвинул сверхдальнюю передачу тепла на 150–200 км при помощи однотрубного теплопровода. В исследованиях ЭНИН 1949–1950 гг. (В.И. Вейц и В.Я. Хасилев, Л.А. Мелентьев и И.А. Аграчев) разработана комплексная энергетическая схема, основанная на загородных ТЭЦ, и исследованы отдельные вопросы энергетической эффективности, схем и режимов параллельной работы ТЭЦ по теплу.

Отличие новой постановки вопроса об экономике дальней передачи тепла в связи с загородными ТЭЦ заключается в том, что влияние дальности передачи и производительности системы теплоснабжения оценивается независимо от теплоплотности района, поскольку по транзитному теплопроводу удельные расходы снижаются, а не растут с увеличением мощности загородной ТЭЦ.

Важное значение имеет выбор схемы и параметров дальнего теплопровода. Сопоставление двухтрубной и однотрубной схем показывает, что при расстояниях, не превышающих 25–30 км, даже при наличии непосредственного водоразбора из городских сетей для бытовых нужд и при благоприятном расположении загородной ТЭЦ относительно источника водоснабжения во многих случаях целесообразно сохранение обычной двухтрубной схемы водяных теплопроводов. Применение непосредственного водоразбора оправдывается в основном качеством исходной воды и требу-

ет, также как и при открытой однотрубной схеме, двух-, трехступенчатого подогрева в конденсаторах, нерегулируемых и регулируемых отборах турбин [6]. На данном этапе исследования целесообразно исходить из характеристик схемы и параметров, менее благоприятствующих выдвигаемой энергетической схеме с загородными ТЭЦ. Поэтому в качестве отправной была принята двухтрубная схема магистрального теплопровода. Независимо от принятой схемы горячего водоснабжения (открытой или закрытой) обратная магистраль рассчитывалась, также как подающая – на полный расход.

Расчетная температура воды в подающей магистрали теплопровода принята равной 150 °С. Для городских сетей с элеваторным присоединением потребителей при характерных для городских ТЭЦ коэффициентах теплофикации $\alpha_{ТЭЦ} = 0,5$ температура 150 °С подтверждалась неоднократными технико-экономическими расчетами и исследованиями. Для дальних теплопроводов длиной порядка 15–20 км и выше и при таких же коэффициентах теплофикации загородных ТЭЦ наивыгоднейшая температура в транзитной линии повышается до 170–180 °С. Однако, учитывая принятую в настоящей работе предпосылку о более высоких значениях коэффициентов теплофикации на загородных ТЭЦ порядка 0,7–0,8, для дальнего теплопровода сохраняем расчетную температуру воды 150 °С. Эту температуру не предполагается снижать в месте присоединения к городским сетям путем подмешивания или теплообмена.

При выборе сечений транзитных магистралей большой протяженности решающее значение имеет: а) обеспечение допустимых давлений в трубах и у абонентов и б) рациональное размещение насосных подстанций. При этом, как правило, приходится идти на пониженные значения удельных потерь напора сравнительно с наивыгоднейшими, определяе-мыми технико-экономическим анализом (учитывая при этом показатели как эксплуатационных, так и единовременных затрат).

При построении расчетных графиков пьезометрических линий, определяющих сечения труб, принято, что: а) оптимальные удельные потери напора в городских распределительных сетях в зависимости от мощности ТЭЦ находятся в пределах от 6 до 8 мм вод. ст./пм и протяженность городской магистрали условно – 5 км; б) предельное давление в теплопроводе соответственно ГОСТу на применяющиеся трубы не должно превышать 20 атм, а давление у потребителей – 4,5 атм.

На рис. 1 приводятся данные об удельных потерях напора применительно к четырем вариантам протяженности и для значений мощности ТЭЦ 12 000 и 100 000 кВт.

Система перекачки воды, как видно из пьезометрических графиков, при длине теплопроводов более 5 км требует устройства насосно-перекачивающих подстанций помимо основной группы сетевых насосов на ТЭЦ. Однако при протяженностях до 30 км можно обойтись одной подстанцией, размещенной у границы города в конце теплопровода, в месте его примыкания к городским распределительным сетям.

Такое решение представляется оправданным не столько экономическими соображениями (удельный вес подстанций в общих затратах не-

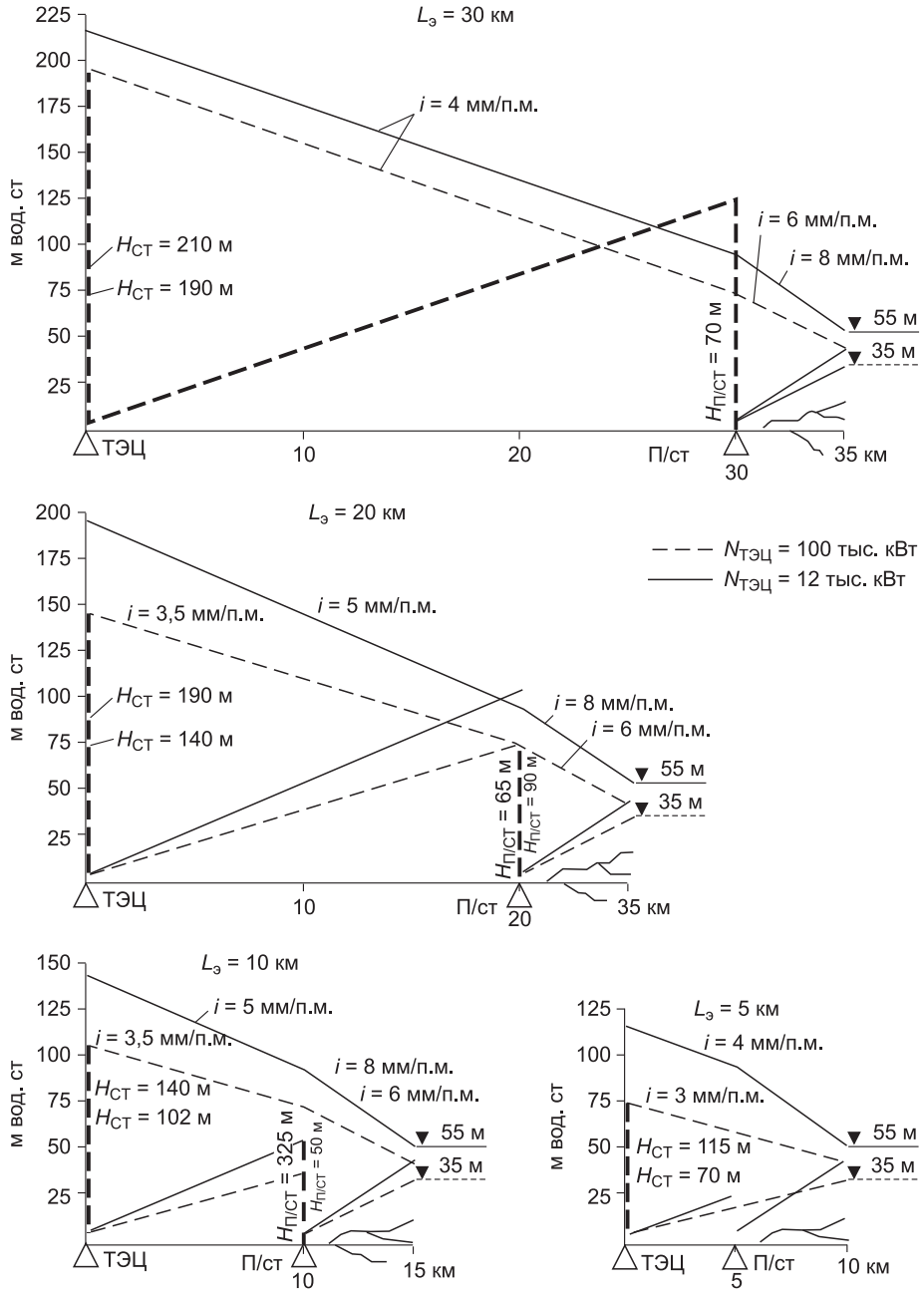


Рис. 1. Графики пьезометрических линий в дальних теплопроводах различной протяженности при расчетной температуре воды в подающей магистрали 150 °С.

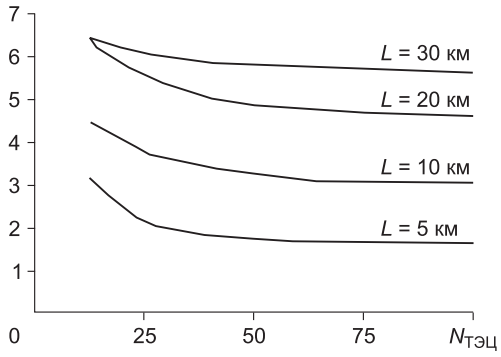


Рис. 2. Расход топлива на перекачку в процентах от топлива, расходуемого на отпуск тепла.

велик), сколько соображениями об удобствах управления при эксплуатации.

При оценке эффективности дальнего теплоснабжения важен размер годовых затрат энергии на перекачку и тепловых потерь магистральным теплопроводом. Относительная величина расхода электроэнергии на перекачку воды при мощностях загородных ТЭЦ более 25 000 кВт зависит главным образом от дальности передачи тепла. Результаты расчетов показывают, что расходы топлива, затрачиваемого на электроэнергию для сетевых насосов, составляют 1,5–6,5 % от общего расхода топлива на выработку тепла (рис. 2). Удельные тепловые потери в большей мере зависят от мощности загородных ТЭЦ; они резко снижаются с ростом мощности ТЭЦ.

Падение температуры воды в дальних теплопроводах длиной 30 км и выше невелико. Так, для изоляции, имеющей в конструкции вполне реальный коэффициент теплопроводности порядка 0,08–0,09 ккал/м·°С·ч, примерные значения удельного падения температуры $\Delta t/l$ (в °С на 1 км) показаны в табл. 2.

Размер тепловых потерь должен оцениваться по качеству применяемой изоляционной конструкции после ее длительной работы. Комплексное решение о типе и конструкции прокладки теплопроводов (включая вопросы тепловой изоляции и гидрозащиты), а также о компенсации тепловых удлинений труб большого диаметра является главной технической задачей при практическом осуществлении дальнего теплоснабжения. В расчетах по определению тепловых потерь и падения температуры предполагалось применение освоенного уже в настоящее время армопенобетона и бесканальной прокладки. Использование пеностекла для изоляционных конструкций может повысить надежность и экономичность дальних теплопроводов.

Эффективность загородных ТЭЦ резко повышается в условиях их параллельной работы с городскими источниками тепла (городские ТЭЦ, районные котельные и др.), на общие тепловые сети и по общему тепловому графику.

Параллельная работа загородных и городских ТЭЦ на общий график тепловой нагрузки позволяет маневрировать в последовательности их загрузки. В том случае, когда загородная ТЭЦ принимает на себя базисную часть графика нагрузки, удельные расходы и себестоимость транспорта тепла на большие расстояния существенно снижаются.

Таблица 2

Удельное падение температуры, °С	Мощность ТЭЦ, тыс. кВт			
	12	24	50	100
$\Delta t/l$	0,4	0,25	0,15	0,1

Осуществление параллельной работы ТЭЦ по теплу в условиях дальнего теплоснабжения при включении загородной ТЭЦ в систему городских распределительных сетей при помощи протяженного теплопровода обеспечивается наиболее просто. Важной в этом отношении является “транзитность” дальнего теплопровода без существенных ответвлений по пути, что позволяет обеспечить регулирование в пункте присоединения его к городским распределительным сетям.

Объединение различных источников тепла для параллельной работы на общие тепловые сети создает для теплоснабжения ряд важных преимуществ [7]: повышение надежности теплоснабжения, сокращение котельного резерва, укрупнение мощности котлов, нагрузочный эффект, перераспределение нагрузки между разнотипными ТЭЦ и др.

В ранее выполненной работе [8] показано, что можно получить экономию топлива не только при объединении теплогенерирующих установок различной экономичности, но и при параллельной работе ТЭЦ, оборудованных агрегатами одинаковой экономичности. При параллельной работе таких ТЭЦ представляется возможным повысить в годовом разрезе загрузку отборов турбин на величину так называемого “эффекта от перераспределения” ΔQ и соответственно снизить отпуск тепла непосредственно из котлов. Этот эффект исчезает при одинаковых коэффициентах $\alpha_{\text{ТЭЦ}}$ объединяемых станций и становится тем больше, чем больше они отличаются друг от друга.

Вычисление величины ΔQ возможно планиметрированием графиков тепловой нагрузки, однако исследование удобно при помощи ранее полученного приближенного выражения [8].

На рис. 3 для одного из городов II климатического пояса с отопительной нагрузкой показано относительное увеличение загрузки отборов турбин при параллельной работе загородной ТЭЦ и городских источников тепла сравнительно с их раздельной работой. При различии в коэффициенте теплофикации на городской и загородной ТЭЦ, например 0,45 и 0,8, дополнительная загрузка отборов составит всего 6 %. Однако если в числе городских источников имеются районные котельные,

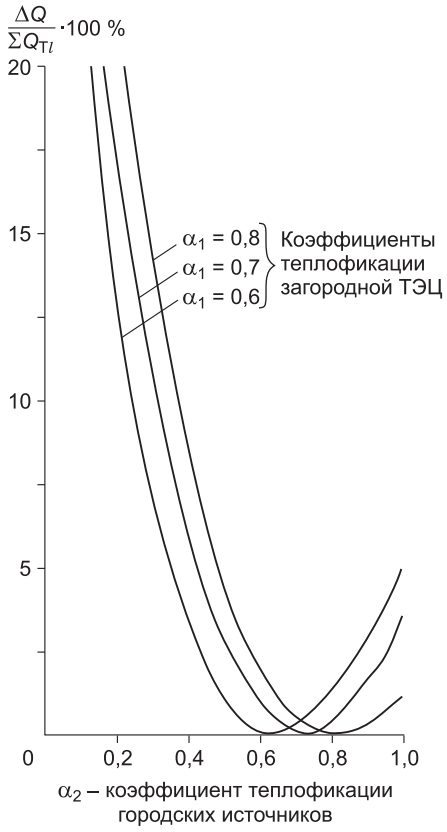


Рис. 3. Относительное (в процентах) увеличение загрузки отборов турбин при параллельной работе загородной ТЭЦ и городских источников.

снижающие коэффициенты теплофикации в городе в целом, например до 0,3, увеличение загрузки отборов составит уже 14 %.

Следует подчеркнуть, что относительное увеличение теплофикационной выработки электроэнергии и, следовательно, экономии топлива возрастет в бульших размерах, чем увеличение загрузки отборов турбин. Существенное влияние на это оказывает сокращение потерь, вызываемых переменным режимом отпуска тепла от отборов турбин.

В условиях параллельной работы: а) на базисной ТЭЦ увеличивается общая продолжительность работы отборов с максимальной расчетной производительностью; в связи с этим сокращаются потери, вызываемые переменным режимом работы части высокого давления из-за ухудшения внутреннего относительного КПД и изменения температуры питательной воды при уменьшении расхода пара на турбину; б) на пиковой ТЭЦ сокращается общая продолжительность отпуска тепла из регулируемых отборов и, следовательно, сокращаются энергетические потери, вызываемые дросселированием потока пара, поступающего в часть низкого давления при помощи регулятора в камере отбора, который открыт полностью лишь при работе турбины по конденсационному режиму[6].

Потери по п. "а" наиболее удобно оцениваются при помощи предложенной Л.А. Мелентьевым методики через так называемую "тепловую составляющую холостого хода" – $x_{\text{Т}}$ [7]. Потери от дросселирования по п. "б" можно оценить отношением $x_{\text{Д}} = \dfrac{\Delta Q_{\text{Д}}}{Q_{\text{Т}}}$, где $\Delta Q_{\text{Д}}$ – разница в расходах тепла на холостой ход турбины – КО при включенном и выключенном регуляторе отбора [9].

Приведенный коэффициент холостого хода $x_{\text{П}} = x_{\text{Т}} + x_{\text{Д}}$. Так, например, для турбины АТ-25 $x_{\text{Т}} = 0{,}1$, $x_{\text{Д}} = 0{,}045$ и $x_{\text{п}} = 0{,}145$.

Как показывает анализ, экономия топлива от сокращения отмеченных потерь в условиях параллельной работы ТЭЦ с однотипными турбоагрегатами может быть определена при помощи "приведенного эффекта от перераспределения" – $\Delta Q'$; последний превышает "эффект от перераспределения тепла" – ΔQ на величину, эквивалентную экономии топлива от сокращения суммарных потерь, связанных с переменным режимом загрузки отборов турбин в условиях параллельной работы. Величина приведенного эффекта после выводов, которые мы здесь не приводим, представляется в виде следующего выражения:

$$\Delta Q' = \frac{\Delta Q}{1 - x_{\text{п}}} + \frac{x_{\text{п}}}{1 - \text{x}_{\text{п}}} \sum_{2}^{x} Q_{Ti} \Delta n_i \ , \qquad (1)$$

где Δn_i – продолжительность работы турбин ТЭЦ (начиная от 2-й до $к$-й) с выключенными отборами.

На рис. 4 на одном из примеров параллельной работы городской и загородной ТЭЦ иллюстрируются указанные влияния переменного режима.

[6] Последнее существенно для схем станций, где пар из регулируемых отборов используется только для нужд теплоснабжения.

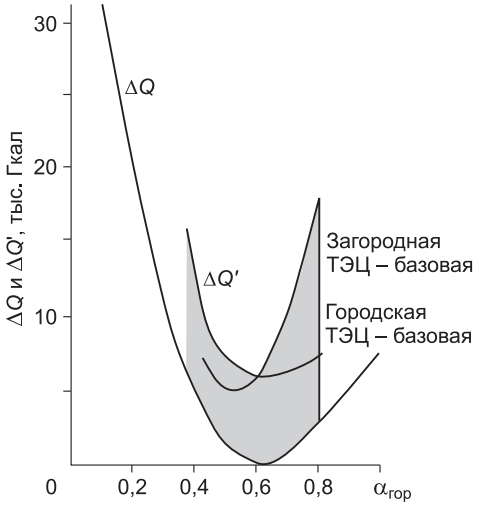


Рис. 4. Влияние переменного режима на эффективность параллельной работы.

Очевидно, что второе слагаемое в формуле (1) эквивалентно экономии, которая может быть получена даже тогда, когда $\alpha_{ТЭЦ}$ объединяемых источников одинаковы.

С точки зрения наибольшего использования производительности отборов турбин (максимального ΔQ) безразлична последовательность включения отдельных ТЭЦ, однако, как это следует из формулы (1), величина "приведенного эффекта от перераспределения" (и вместе с ним дополнительной выработки по теплофикационному режиму) зависит от порядка включения ТЭЦ или отдельных турбин в работу. На рис. 4 это иллюстрируется вариантами размещения загородной и городской ТЭЦ в базисной части графика нагрузки.

Экономия топлива от параллельной работы (сравнительно с раздельной работой ТЭЦ) за счет приведенного эффекта от перераспределения на однотипных ТЭЦ может быть определена по формуле

$$\Delta B_т = \Delta Q' y \Delta b \cdot 10^{-3} \text{ т.у.т./год}, \qquad (2)$$

где y – удельная выработка электроэнергии на ТЭЦ по теплофикационному режиму при расчетной производительности отборов в кВт·ч/Гкал; Δb – разница удельных расходов топлива в системе замещенных станций и по теплофикационному режиму в кг у.т./кВт·ч; $\Delta Q'$ – приведенный эффект от перераспределения в Гкал.

Анализ энергетической эффективности параллельной работы ТЭЦ с разнотипным оборудованием показывает, что последовательность включения отдельных ТЭЦ требует специального расчета. Отнюдь не обязательно, например, чтобы ТЭЦ высокого давления размещалась в базисной, а ТЭЦ среднего давления в полупиковой или пиковой частях графика нагрузки и т. п. Этот вопрос будет подробно рассмотрен отдельно.

Анализ параллельной работы ТЭЦ *на общий график тепловой нагрузки* позволяет сформулировать следующие выводы, которые должны быть положены в основу *выбора режимов регулирования и схем тепловых сетей.*

1. Энергетический эффект от параллельной работы по теплу достигается последовательным, по мере роста нагрузки, включением ТЭЦ в систему теплоснабжения. Таким образом, базисная ТЭЦ в начале периода теплоснабжения должна охватить весь район системы, а затем постепенно уменьшать зону своего действия.

2. Включение источников тепла должно происходить в таком порядке, чтобы вначале последовательно включались отборы турбинных групп всех ТЭЦ – от первой до последней[7], и затем уже, может быть в иной последовательности, включались котельные ТЭЦ через пиковые подогреватели.

3. Повышение отпуска тепла в каждой новой ступени должно осуществляться таким образом, *чтобы во всех предыдущих ступенях поддерживался постоянный отпуск тепла.* Если по условиям температурного графика водяных теплосетей и пределов регулирования давлений отборов этот принцип не удастся выдержать в полной мере, то получающееся при этом сокращение производительности отборов пиковой ТЭЦ не должно быть больше, чем соответствующее сокращение производительности отборов при раздельной работе ТЭЦ[8].

4. Порядок включения ТЭЦ в теплоснабжающую систему определяется в зависимости от электрической мощности ТЭЦ, ее параметров – начальных и в отборах – и КПД котельных установок, а также от значения расчетной температуры ТЭЦ[9]. Таким образом, если при параллельной работе тепловых электростанций в энергосистеме порядок их включения определяется исключительно экономичностью станции – базисную часть графика электрической нагрузки занимают станции с наименьшими удельными расходами, то при параллельной работе ТЭЦ по теплу этот критерий не является единственным. Вполне вероятно, что в базисной части графика тепловой нагрузки будут размещаться менее экономичные ТЭЦ. В каждом отдельном случае требуется специальное рассмотрение.

5. При различных КПД котельных установок на отдельных ТЭЦ их значения определяют не только порядок включения котлов, но и отборов турбин.

6. Схема блокировки ТЭЦ тепловыми сетями должна одновременно обеспечивать возможность секционирования в аварийных и прочих условиях и возможность параллельной работы на общий график тепловой нагрузки в условиях нормального режима.

Следует подчеркнуть, что совместное удовлетворение всех требований практически не всегда представляется возможным и целесообразным. Однако лишь анализ, исходящий из таких общих предпосылок, позволяет установить действительно ограничивающие условия. При этом если невозможно осуществить “идеальную” параллельную работу на общий график нагрузки, то все же следует приблизиться к ней в наибольшей мере.

Как указывалось выше, все виды энергетического эффекта от параллельной работы ТЭЦ по теплу достигаются при последовательном (по времени) включении отборов турбин в систему теплоснабжения. При этом для достижения *максимального эффекта* схема должна обеспечить *постоян-*

[7] В предположении, что в пределах каждой ТЭЦ отборы турбин включаются также последовательно.

[8] В предположении, что расчетная температура воды в подающих магистралях одинакова как при раздельной, так и при параллельной работе.

[9] В предположении одинаковых условий топливо- и водоснабжения.

ство отпуска тепла из всех ранее включенных источников в течение периодов, когда происходит увеличение производительности любого последующего источника. Достижение указанной цели применительно к двухтрубным водяным теплосетям возможно в двух направлениях: а) созданием схем I рода с центральным смешением[10], когда потоки теплоносителя от всех ТЭЦ смешиваются в одном или нескольких центральных пунктах, являющихся непосредственными источниками питания всех потребителей; б) созданием схем II рода с перемещающимися точками водораздела в магистральных сетях, когда зоны действия отдельных ТЭЦ меняются в зависимости от изменения наружной температуры.

На рис. 5 приведены принципиальные схемы параллельной работы ТЭЦ на общие теплосети.

Схемы II рода: а) с независимым присоединением абонентов или распределительных сетей через водоводяные подогреватели; при этой схеме в местных системах поддерживается постоянная циркуляция, а перераспределение нагрузки между ТЭЦ достигается перераспределением потоков воды в магистральных сетях; подробный анализ этой схемы был дан ранее [10]; б) с элеваторным присоединением и установкой у абонентов автоматических регуляторов постоянства расхода (напора); в) с насосными подстанциями подмешивания, поддерживающими постоянную циркуляцию у абонентов или в распределительных сетях при переменных расходах в магистралях.

Из схем II рода наибольшими возможностями, с точки зрения удовлетворения условиям параллельной работы на общий график, тепловой нагрузки обладает схема *а*.

Схемы I рода требуют прокладки фидеров между отдельными ТЭЦ и пунктами центрального смешения. Роль этих пунктов, естественно, могут выполнять и отдельные ТЭЦ в зависимости от трассировки теплопроводов. Последнее наиболее вероятно в условиях дальнего теплоснабжения, непосредственное присоединение потребителей к фидерам схем I рода, как правило, не должно производиться. Схемы I рода характеризуются главным образом тем, что они допускают осуществление параллельной работы ТЭЦ по теплу при стабильном гидравлическом режиме в сети в течение всего отопительного периода. Регулирование обеспечивается изменением температур потоков воды, поступающих от различных ТЭЦ к пунктам смешения. В зависимости от ситуационного взаиморасположения тепловых районов и источников схемы I рода осуществляются по различным вариантам, примеры которых приведены на рис. 6. Сравнительный анализ и технико-экономическое сопоставление рассмотренных схем будут изложены в отдельной статье.

[10] Схемы I рода с центральным смешением выдвинуты в работе ЭНИН в 1949 г.

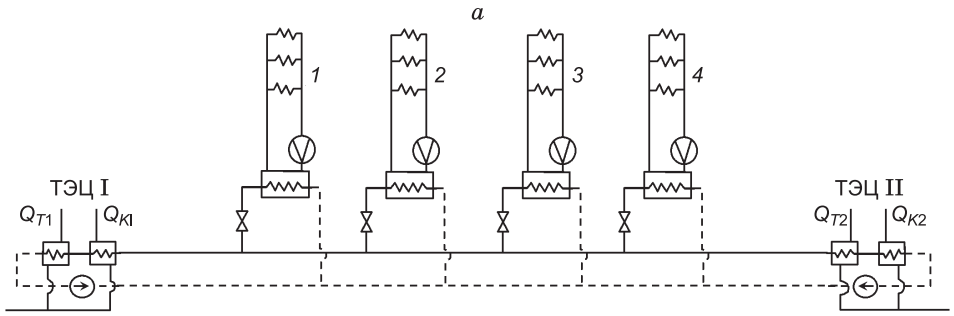


Схема с независимым присоединением абонентов или распределительных сетей (схема II)

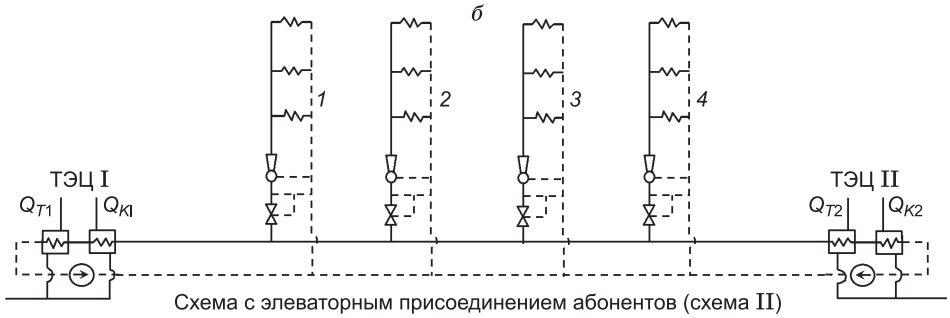


Схема с элеваторным присоединением абонентов (схема II)

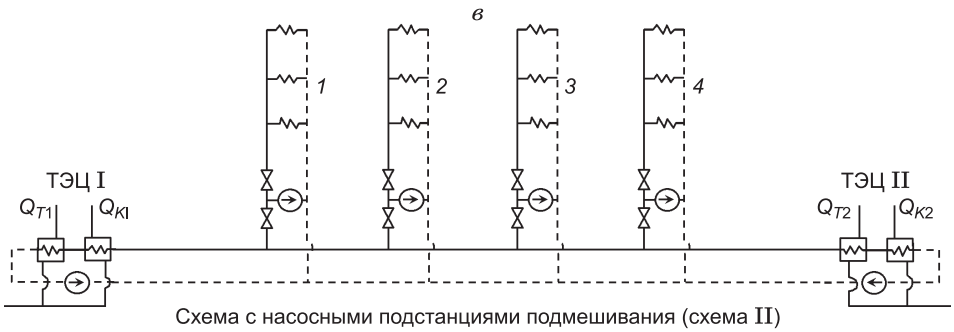
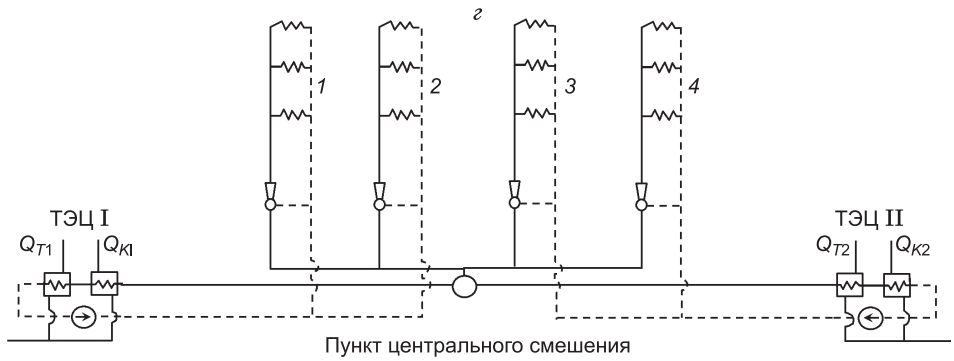


Схема с насосными подстанциями подмешивания (схема II)



Пункт центрального смешения

Схема с центральным смешением (схема I)

Рис. 5. Принципиальные схемы I и II рода для параллельной работы.

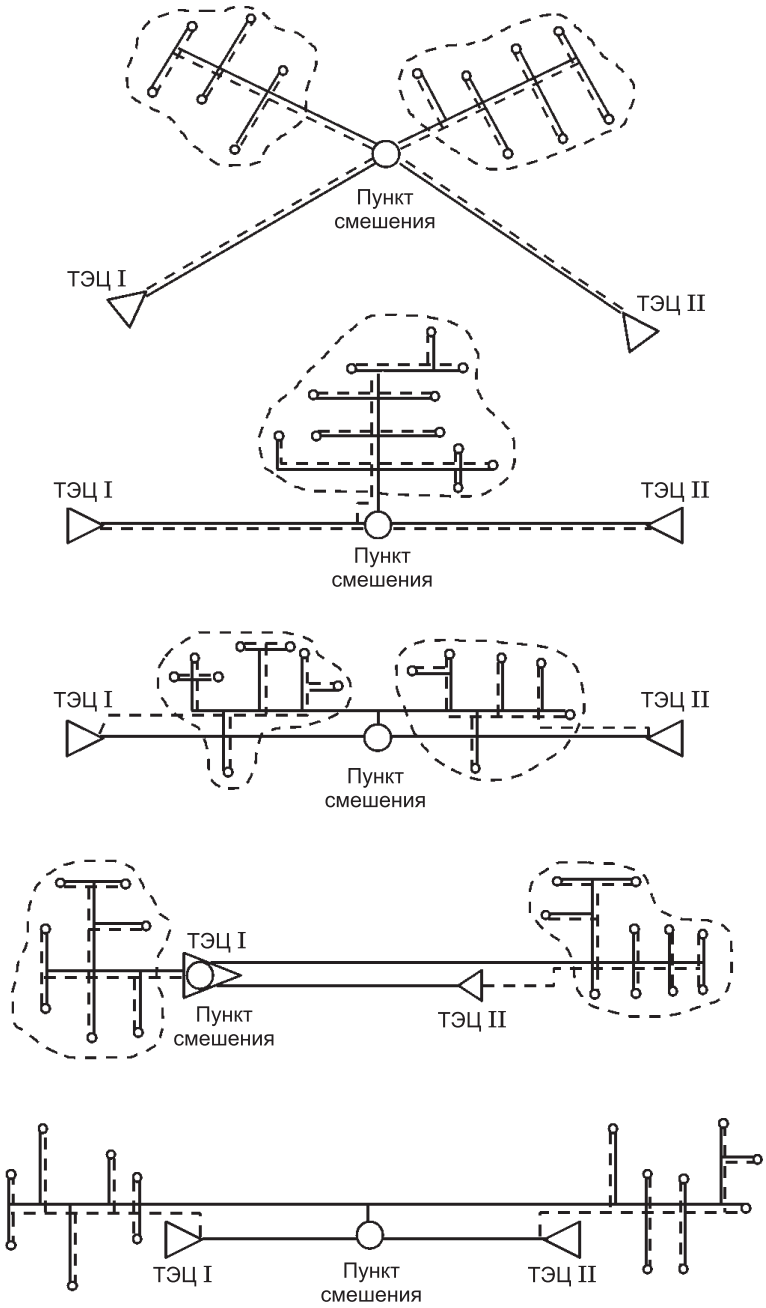


Рис. 6. Варианты схем I рода с центральным смешением.

3. Технико-экономические основы загородных ТЭЦ

Определяющим фактором строительства загородной ТЭЦ является решение задачи улучшения санитарных условий в связи с необходимостью сжигания в ряде городов сернистого и многозольного топлива.

Энергетическая схема электротеплоснабжения, основанная на загородной ТЭЦ, требует дополнительных капитальных и эксплуатационных затрат на магистральный теплопровод и на генерирующую мощность для обеспечения собственных нужд дальнего транспорта тепла.

Вместе с тем загородная ТЭЦ дает при определенных условиях ряд экономических преимуществ по сравнению с энергетической схемой, основанной на городской ТЭЦ.

Строительство загородной ТЭЦ позволяет перейти к более мощным агрегатам (и станции), поскольку отпадают указанные выше ограничения, накладываемые на развитие мощности ТЭЦ в черте города.

Определение наивыгоднейшей мощности загородной ТЭЦ опирается как на характеристики тепловых нагрузок и их покрытия различными типами турбин и котлов[11], так и на показатели структуры электроэнергетической системы, в которую включается загородная ТЭЦ. Очень важное, в ряде случаев решающее значение имеет фактор районного энергетического баланса. Теоретические основы решения этой задачи являются предметом специальной работы. В первом приближении можно с достаточным основанием принять удвоение электрической мощности загородной ТЭЦ и единичных агрегатов по сравнению с ТЭЦ, размещенной в городе[12].

В действительности, как показывают предварительные данные исследования этого вопроса, следует ожидать в отдельных районах возможность перехода к относительно более высоким соотношениям в мощностях загородных и заменяемых городских ТЭЦ, если учесть возможность расширения охвата объектов теплофикацией при загородной ТЭЦ за счет повышения расчетной величины $\alpha_{ТЭЦ}$.

На загородных ТЭЦ показатель $\alpha_{ТЭЦ}$ достигает своего оптимального по условиям экономии топлива значения. В направлении экономии топлива действует и переход к более мощным агрегатам. Все это обеспечивает экономию капитальных и эксплуатационных затрат на топливо.

На загородных ТЭЦ при определенных условиях сокращаются по сравнению с городскими ТЭЦ затраты на топливоснабжение, водоснабжение, вывоз золы, на золо- и сероулавливание.

Наконец, в связи с увеличением электрической мощности загородная ТЭЦ сокращает затраты на высоковольтную сеть от конденсационных электростанций, размещенных у топливных баз на расстояниях, значительно превышающих удаленность загородных ТЭЦ от центра электропотребления.

---

[11] Существенную роль играют стандарт котлов и выбор их числа.

[12] За исключением загородной ТЭЦ мощностью 12 000 кВт, замещающей городскую ТЭЦ мощностью 8000 кВт, что принято по условиям стандарта теплофикационных турбин. Число и производительность котлов на каждой станции обоснованы балансом пара на производство электроэнергии и тепла с учетом потребности в местном резерве паровой мощности. Расчеты выполнены для условия изолированной работы загородной ТЭЦ по теплу.

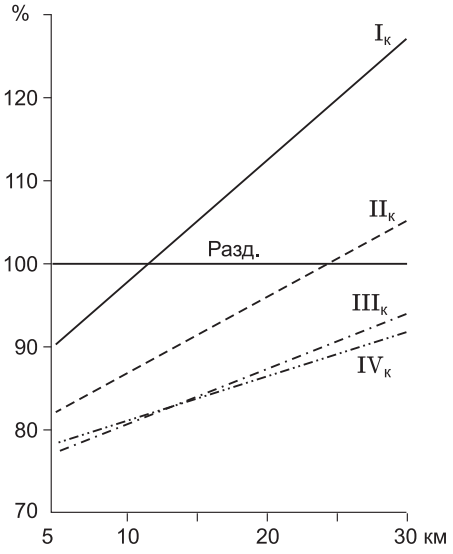


Рис. 7. Относительные изменения удельных капиталовложений на электроэнергию и тепло в зависимости от дальности теплоснабжения для загородных ТЭЦ различной мощности.

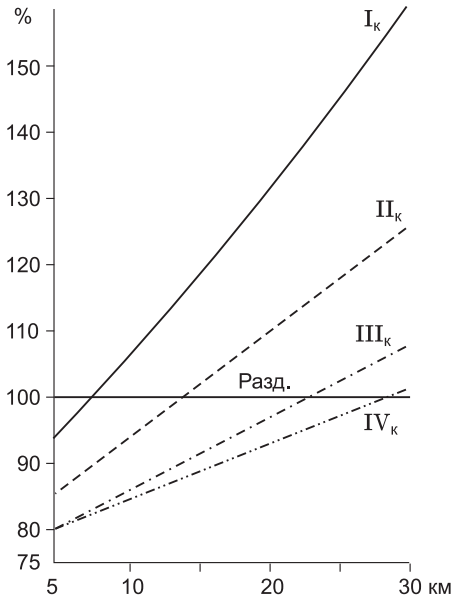


Рис. 8. Влияние разделения отпуска тепла на 2 нитки на относительные изменения удельных капиталовложений в загородную ТЭЦ по сравнению с городской ТЭЦ.

Здесь и на рис. 8: $I_к$ – загородная ТЭЦ в 12 000 кВт; $II_к$ – то же, в 24 000 кВт; $III_к$ – то же, в 50 000 кВт; $IV_к$ – то же, в 100 000 кВт. Раздельные энергетическе схемы с городской ТЭЦ. Удельные капиталовложения в энергетические схемы с городской ТЭЦ, сравниваемые с капиталовложениями при загородных ТЭЦ, приняты за 100 %.

На рис. 7 даны характеристики относительных изменений удельных капиталовложений на электроэнергию и тепло на загородных и городских ТЭЦ в зависимости от дальности теплоснабжения (длина магистральной тепловой сети от точки размещения ТЭЦ до примыкания к распределительной сети) и от мощности ТЭЦ.

Показатели капиталовложений для энергетической схемы с загородной ТЭЦ включают стоимость ТЭЦ и магистральной тепловой сети[13] с учетом затрат на электрогенерирующую мощность для компенсации расходов электроэнергии на перекачку воды, а также капитальные затраты на добычу топлива.

[13] Расчеты затрат на магистральный теплопровод на рис. 7 даны для одной двухтрубной нитки. Влияние варианта с двумя двухтрубными нитками (при изолированной работе ТЭЦ) показано на рис. 8. Повышение температуры воды и обеспечение параллельной работы по теплу загородной ТЭЦ с городскими теплогенерирующими источниками должны снизить капитальные затраты.

Соответствующие показатели для энергетической схемы с городской ТЭЦ учитывают строительство ТЭЦ и дополнительной электрической мощности, размещаемой на крупной электростанции[14]; при этом учитываются электропередачи до города, а также соответствующие капитальные затраты на добычу топлива[15].

Кривые на рис. 7, 8 даны для условий использования подмосковных углей. Графики показывают определяющее влияние мощности ТЭЦ на относительные показатели удельных капиталовложений сравниваемых энергетических схем.

Для загородных ТЭЦ с мощностью от 50 000 кВт приведенные удельные капиталовложения на 1 кВт мощности на 7–16 % ниже, чем для энергетической схемы с городской ТЭЦ, даже при удалении загородной ТЭЦ на 30 км.

При мощности загородной ТЭЦ 25 000 кВт оба варианта становятся равно-экономичными по капиталовложениям при протяженности магистрального теплопровода не выше примерно 22 км, а при мощности загородной ТЭЦ 12 000 кВт – не вьше 10 км. Размещение загородной ТЭЦ на большие расстояния (на рис. 7 – зоны правее критических точек для кривых $I_к$ и $II_к$) требует все возрастающих дополнительных капиталовложений по сравнению с городскими ТЭЦ.

Структура капиталовложений для сравниваемых энергетических схем электротеплоснабжения приведена на рис. 9. В удешевлении энергетической схемы загородной ТЭЦ на первое место выступает фактор концентрации.

Какие же последствия вызывает новая энергетическая схема с загородными ТЭЦ в области расходов топлива?

Изменения показателей годового расхода топлива на выработанную электроэнергию и отпущенное тепло показаны на рис. 10. Эти показатели отнесены на 1 кВт мощности загородной ТЭЦ и даны в зависимости от дальности теплопередачи для разных мощностей ТЭЦ.

Новая энергетическая схема с загородной ТЭЦ дает экономию топлива лишь при переходе к мощностям свыше 50 000 кВт.

Факторами, определяющими изменения удельных расходов топлива, являются следующие.

1. При переходе к загородным ТЭЦ повышается показатель $\alpha_{ТЭЦ}$: на городских ТЭЦ он равен 0,5, а на загородных – около 0,8; это увеличивает выработку теплофикационной электроэнергии.

2. Переход к загородным ТЭЦ сопровождается ростом их электрической мощности. Этот фактор действует, следовательно, в противоположном

[14] Дополнительная электрическая мощность равна разнице между электрическими мощностями загородной и заменяемой городской станции; при определении экономических показателей принята районная электростанция в 100–200 тыс. кВт.

[15] Капитальные затраты на железнодорожный транспорт топлива до загородной ТЭЦ и до городской ТЭЦ занимают незначительный удельный вес в суммарных капитальных затратах и примерно одинаковы. Поэтому при сравнительном анализе их можно не учитывать.

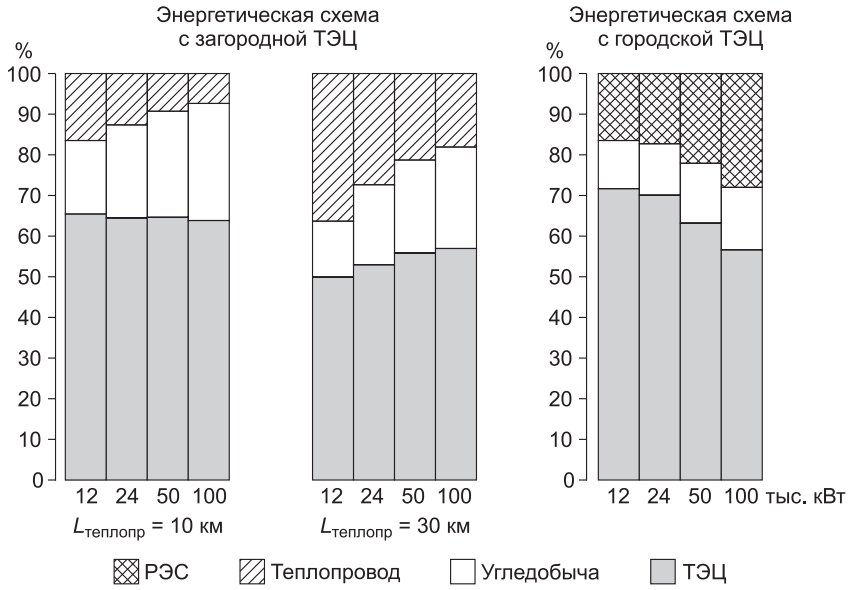


Рис. 9. Сравнительная структура приведенных удельных капиталовложений в энергетических схемах с загородной и городской ТЭЦ.

направлении: при неизменном годовом числе часов использования установленной электрической мощности (5600 ч) величина $\chi_{ТЭЦ}$[16] заметно снижается для загородных ТЭЦ по сравнению с городскими ТЭЦ. Заметное снижение $\chi^{год}_{ТЭЦ}$ (на 15–25 %) определяет рост среднегодового удельного расхода топлива на выработку электроэнергии, так как удельные расходы топлива на кВт·ч электроэнергии, выработанной по конденсационному режиму, составляют (в кг у.т)[17] 0,525–0,43.

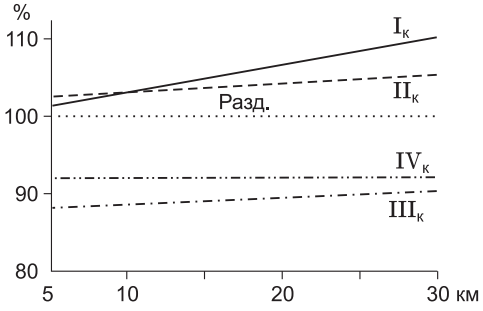


Рис. 10. Относительные изменения показателей расходов топлива на электроэнергию и тепло.

$I_к$, $II_к$, $III_к$, $IV_к$ – показатели расхода топлива в энергетической схеме с загородной ТЭЦ в 12, 24, 50 и 100 тыс. кВт. Показатели расхода топлива в энергетической схеме с городской ТЭЦ приняты за 100 %.

[16] $\chi_{ТЭЦ} = \frac{W_т}{W}$, где $W_т$ – выработка теплофикационной электроэнергии; W – суммарная выработка электроэнергии (теплофикационной и конденсационной).

[17] Расчет сделан на основе энергетических характеристик соответствующих типов турбин. Первая цифра для ТЭЦ на среднем давлении, вторая – на высоком давлении. Для городской ТЭЦ соответственно – 0,535 и 0,450 кг/кВт·ч. Несколько более высокие удельные расходы для городских ТЭЦ определяются главным образом условиями водоснабжения.

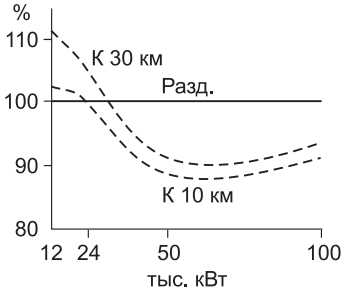


Рис. 11. Относительные изменения показателей расхода топлива на электроэнергию и тепло в зависимости от мощности ТЭЦ. k_{30} и k_{10} – энергетические схемы с загородной ТЭЦ при дальности теплоснабжения в 30 и 10 км. Показатели расхода топлива в энергетической схеме с городской ТЭЦ приняты за 100 %.

3. На величину среднегодового расхода топлива в схеме городской ТЭЦ оказывает также влияние доля электроэнергии, выработанной на районной электростанции (РЭС), замещающая дополнительную выработку электроэнергии на загородной ТЭЦ в связи с повышением электрической мощности последней (РЭС работает с высокомощными агрегатами, имеющими высокие начальные параметры). Это обстоятельство повышает среднегодовой удельный расход топлива в схеме с городской ТЭЦ и тем самым увеличивает относительную эффективность схемы загородной ТЭЦ.

4. Расход топлива на нужды дальнего транспорта тепла (расход электроэнергии на перекачивающие подстанции, плюс потери тепла) повышает суммарный расход топлива в схеме с загородной ТЭЦ по сравнению с городской.

Перечисленные факторы, действующие в противоположных направлениях, определяют результирующие показатели расхода топлива на электроэнергию и тепло в сравниваемых энергетических схемах.

Указанные на рис. 11 зависимости справедливы для принятых расчетных показателей структуры, параметров и режимов сравниваемых энергетических схем с загородными и с городскими ТЭЦ.

Осуществление параллельной работы загородных ТЭЦ с городскими источниками теплоснабжения резко повышает экономичность загородных ТЭЦ по расходу топлива, так как в последнем случае загородные ТЭЦ будут работать в базисе теплового графика, а городские – в пиковой и полупиковой частях графиков нагрузки.

Можно сделать заключение о том, что энергетическая схема с загородной ТЭЦ при определенных условиях может обеспечить даже экономию топлива по сравнению с энергетической схемой с городской ТЭЦ.

Одновременно загородная ТЭЦ сокращает завоз топлива в город. Годовой завоз топлива в город (подмосковных углей, торфа) сокращается свыше, чем на 500 000 т для ТЭЦ 100 000 кВт.

Необходимо, наконец, определить влияние новой энергетической схемы с загородной ТЭЦ на синтезирующие показатели себестоимости электроэнергии и тепла. Расчеты и анализ проведены применительно к работе ТЭЦ на подмосковном угле и на торфе. Как и по другим характеристикам, сравниваемые энергетические схемы приведены в сопоставимый вид. Сводные показатели издержек производства электроэнергии и тепла, отнесенные к 1 кВт электрической мощности, в зависимости от дальности передачи тепла для ТЭЦ различной мощности показаны на рис. 12.

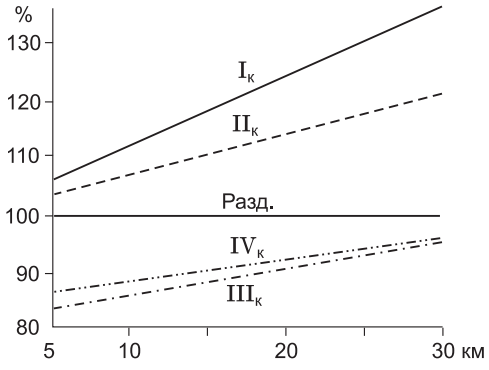


Рис. 12. Относительные изменения показателей эксплуатационных расходов на электроэнергию и тепло в энергетических схемах с загородной и городской ТЭЦ (подмосковный уголь). Условные обозн. см. на рис. 7.

Анализ приведенных кривых позволяет установить следующее: фактор мощности загородной ТЭЦ, как это следовало из рассмотрения характеристик удельных капиталовложений и расходов топлива, играет доминирующую роль в экономике новой схемы и в части показателей себестоимости электроэнергии и тепла.

Эксплуатационные расходы по дальнему транспорту тепла, отнесенные на 1 Гкал тепла и на 1 кВт мощности, удорожающие энергетическую схему с загородной ТЭЦ, растут с увеличением протяженности сети и резко падают с увеличением мощности загородной ТЭЦ; это показывают данные табл. 3.

На сравнительную экономичность энергетических схем с загородкой и с городской ТЭЦ в части эксплуатационных расходов существенное влияние оказывают показатели удельного расхода топлива.

Выше были рассмотрены факторы, которые определяют изменение этого показателя для энергетических схем с различными мощностями ТЭЦ и с их различными режимами по выработке электроэнергии и тепла при разной дальности теплоснабжения. Эти же факторы определяют изменения и в топливной слагающей себестоимости электроэнергии и тепла.

Изменение топливной слагающей является главной причиной “скачка” в снижении суммарных эксплуатационных расходов на загородных ТЭЦ мощностью в 50 000 кВт (перевод на высокое давление, увеличение $\chi_{ТЭЦ}$ и др.).

Существенную роль в повышении экономичности загородных ТЭЦ в связи с повышением их мощности играет снижение расходов на зара-

Таблица 3

Мощность загородной ТЭЦ, тыс. кВт	Дальность теплоснабжения, км					
	10		20		30	
	ТЭЦ 12 000 кВт = = 100 %	Протяженность теплопровода в 10 км = = 100 %	ТЭЦ 12 000 кВт = = 100 %	Протяженность теплопровода в 10 км = = 100 %	ТЭЦ 12 000 кВт = = 100 %	Протяженность теплопровода в 10 км = 100 %
12	100	100	100	189	100	280
24	71,4	100	67,6	179	67,4	264
50	50,3	100	47,1	177	44,5	248
100	42,2	100	40,5	181	39,0	258

ботную плату в связи с сокращением числа занятого персонала на 1000 кВт мощности ТЭЦ.

Однако при переходе к крупным загородным ТЭЦ влияние этого фактора нивелируется повышением роли высокомощных РЭС в энергетических схемах с городским ТЭЦ для компенсации дополнительной электрической мощности загородных ТЭЦ.

ВЫВОДЫ

Строительство загородных ТЭЦ мощностью 50 000–100 000 кВт и выше при дальности теплоснабжения порядка до 20–30 км дает при определенных условиях экономические преимущества по сравнению с маломощными ТЭЦ в городе. Определяющее значение имеет улучшение санитарных условий в городах, где приходится сжигать многозольное и сернистое топливо. Экономичность загородных ТЭЦ значительно повышается при мощности 150 000–200 000 кВт.

Необходимо продолжить исследование вопросов выбора мощности, типа оборудования я режимов эксплуатации загородных ТЭЦ в условиях параллельной работы по теплу с городскими источниками тепла, а также в условиях получения на них газа, вопросов схемы и параметров магистральных теплопроводов и систем параллельной работы по теплу с широким применением нелинейных электрических моделей теплоснабжающей системы. В этих исследованиях учету подлежат энергетические особенности отдельных типов городов и структура электроэнергетических систем. Необходимо форсировать проектно-изыскательские работы в этом направлении по ряду городов СССР.

Получение газа на загородных ТЭЦ по методу ЭНИН позволяет обеспечить электро-, тепло- и газоснабжение городов при значительно меньших эксплуатационных расходах и капиталовложениях по сравнению с расходами на эксплуатацию и капиталовложениями, необходимыми при существующей раздельной энергетической схеме.

Наши энергосистемы впервые в мире превращаются в полные энергетические системы с комбинированным производством электроэнергии тепла и газа при тесной связи между графиками производства и потребления различных видов энергии. Сооружение великих строек коммунизма и предстоящая передача больших количеств электроэнергии крупнейших гидроэлектростанций в мощные энергосистемы с комбинированным производством электроэнергии, тепла и газа по-новому ставят вопросы структуры и режима таких систем. Эти новые вопросы работы энергосистем сложной структуры должны уже теперь явиться предметом углубленных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Якимов Л.К.** Предельный радиус действия теплофикации // Тепло и сила. – 1931. – № 9.
2. **Дмитриев В.В.** Основные вопросы теплофикации городов. М.: Госстройиздат. – 1933.
3. **Якуб Б.М.** Генеральный план теплофикации Москвы // Изв. ВТИ. – 1934. – № 8.

4. **Берман Л.Д., Почуев А.Ф.** Тепловые сети в генеральном плане теплофикации Москвы // Изв. ВТИ. –1934. – № 10.
5. **Пакшвер В.Б.** Дальнее теплоснабжение городов // За экономию топлива. – 1949. – № 11.
6. **Пакшвер В.Б.** Нагрев воды на станциях дальнего теплоснабжения // За экономию топлива. – 1951. – № 3.
7. **Мелентьев Л.А.** Теплофикация. ч. I. М.: Изд-во АН СССР. – 1944. – 248 с.
8. **Хасилев В.Я.** Энергетическая эффективность параллельной работы однотипных ТЭЦ // Докл. АН СССР. –1949. – Т. 68, № 2.
9. **Типовые** энергетические характеристики турбоагрегатов. М.: Госэнергоиздат, 1946.
10. **Хасилев В.Я., Леонтьева Т.К.** Параллельная работа ТЭЦ в условиях независимого присоединения отопительных систем // За экономию топлива. – 1951. – № 11.

ОБОБЩЕННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ТЕПЛОВЫХ И ДРУГИХ СЕТЕЙ*

В.Я. Хасилев

Устанавливается обобщенная зависимость между годовыми расходами и расчетным параметром, выбираемым при технико-экономических расчетах трубопроводных и электрических сетей. Делается вывод о возможности упрощения расчетов тепловых сетей.

Выбор оптимальной удельной потери напора и соответственно экономической скорости или наивыгоднейшего диаметра труб является одной из основных задач технико-экономического расчета тепловых и других трубопроводных сетей[1]. Известные расчетные формулы для определения значений удельной потери напора на отдельных участках сетей рекомендуются исходя из того, что оптимальный параметр соответствует минимуму годовых эксплуатационных расходов [1]. Вместе с тем по ряду технических и экономических причин при проектировании приходится отклоняться от параметров, соответствующих этому минимуму. Например, при проектировании тепловых сетей с переменным расходом воды возникает необходимость уменьшить расчетную удельную потерю напора (увеличить

* Теплоэнергетика. – 1957. – № 1. – С. 28–32.

[1] Эта задача аналогична выбору оптимального падения напряжения, экономической плотности тока и наивыгоднейшего сечения проводов электрических сетей и линий электропередач.

диаметры) на магистралях для того, чтобы повысить "жесткость" (гидравлическую устойчивость) сети. Учет возможности расширения сети для охвата новых потребителей требует увеличения пропускной способности магистралей и соответственного уменьшения расчетной потери напора.

Для электрических сетей аналогичное уменьшение расчетного падения напряжения вызывается ограничением нагрева проводников. В противоположном направлении действует учет экономического фактора тяжести одновременных затрат. При этом с целью экономии капиталовложений в сеть расчетная удельная потеря напора (падение напряжения) должна быть больше значений, соответствующих минимуму годовых расходов [2, 3]. В этом же направлении действует в ряде случаев учет статического напора в подающей линии водяного теплопровода.

В настоящей статье предлагаются зависимости, позволяющие весьма просто оценить относительное изменение переменной части суммарных технико-экономических показателей по сети при отклонении расчетного параметра от оптимальных значений, соответствующих минимуму годовых эксплуатационных расходов. Расчетные формулы рекомендуются в общем виде, независимо от технических особенностей конкретной сети и множества технико-экономических показателей.

Годовые эксплуатационные расходы по сети в зависимости от расчетного параметра могут быть представлены следующим общим выражением:

$$S = Ap^{\alpha} + Bp^{-\beta} + C\left[\frac{\text{руб.}}{\text{год}}\right]. \qquad (1)$$

В этом выражении первый член соответствует расходам энергии на перекачку теплоносителя или на нагрев проводов. Второй член определяет ту часть годовых расходов, которые точно или приблизительно можно считать пропорциональными капитальным затратам (амортизация, ремонты, тепловые потери). Третий член выражает постоянную часть годовых расходов, не зависящую от расчетного параметра (годовые отчисления от постоянной составляющей капитальных затрат, расходы на обслуживание сетей, постоянная часть стоимости тепловых потерь и расходов энергии), а зависящую только от ее суммарной протяженности.

В качестве расчетного параметра p в зависимости от постановки задачи принимается та или иная искомая величина, для трубопроводных сетей, в том числе теплосетей, – удельная потеря напора, диаметры, скорости. Для электрических сетей – падение напряжения, сечение проводов, плотность тока и т. д. Выбор того или иного расчетного параметра p влияет на численные значения коэффициентов A, B, C, α, β, используемых во многих работах различных авторов.

Постоянные коэффициенты A, B и C зависят от совокупности большого числа технических и экономических показателей, характерных для данной сети, условий ее сооружения и эксплуатации. Так, коэффициент A для тепловых сетей зависит от стоимости электроэнергии, метода регулирования, числа часов работы, технико-экономических показателей насосных установок, расчетного температурного перепада, длины главной магистрали, типа местных сопротивлений; для электрических сетей – от

материала, используемого для проводов, стоимости энергии, протяженности и пр.

Коэффициент B зависит от показателей двух видов. К первому относится ряд стоимостных показателей, выраженных через экономические коэффициенты, зависящие главным образом от способов и условий прокладки, а также используемых строительно-монтажных материалов. Ко второму – показатели, которые зависят от технических характеристик данного объекта, определяющих конфигурацию сети[2], ее суммарную протяженность, тип местных сопротивлений и ряд других моментов.

Постоянные показатели α и β зависят главным образом от вида сети (тепловые сети, электрические сети и пр.) и характера расчетного параметра (удельная потеря напора, диаметр труб, сечение провода и т. д.). В таблице даны значения коэффициентов α и β для тепловых и электрических сетей. Для тепловых сетей они являются общими для всех трубопроводных сетей, работающих в области квадратичной зависимости напора от расхода. Дробные их значения определяются выражением для зависимос-

Расчетный параметр		ε	Тепловые сети и другие трубопроводы, работающие в квадратичной области			Электрические сети		
Название	Обозначение		α	β	σ	α	β	σ
Удельная потеря напора	i	$\frac{i}{i_0}$	$+1$	$+0,19$	$=0,16\varepsilon+\frac{0,84}{\varepsilon^{0,19}}-1$			
Падение напряжения	Δu	$\frac{\Delta u}{\Delta u_0}$				$+1$	$+1$	$=0,5\varepsilon+\frac{0,5}{\varepsilon}-1$
Диаметр трубы	d	$\frac{d}{d_0}$	$-5,25$	-1	$=0,84\varepsilon+\frac{0,16}{\varepsilon^{5,25}}-1$			
Сечение проводов	q	$\frac{q}{q_0}$				-1	-1	$=0,5\varepsilon+\frac{0,5}{\varepsilon}-1$
Скорость потока	c	$\frac{c}{c_0}$	$+2$	$+2$	$=0,5\varepsilon^2+\frac{0,5}{\varepsilon^2}-1$			
Плотность потока	n	$\frac{n}{n_0}$				$+1$	$+1$	$=0,5\varepsilon+\frac{0,5}{\varepsilon}-1$

Примечание. Принята прямолинейная зависимость удельной стоимости сети от диаметра, характерная для существующих способов прокладки. В случае прямолинейной зависимости $k = a + bd^x$ [руб./м], при $x \gtrless 1$, необходимо значения β умножить на x.

[2] Оценке конфигурации разветвленных сетей уделяется особое внимание. В ряде работ с этой целью используется так называемая материальная характеристика Σdl. В [1] применена характеристика сети Ф, существенно упрощающая анализ. Указанные характеристики включаются в выражения для коэффициента B.

ти потери давления от расхода и диаметра. Значения α и β соответствуют формуле Б.Л. Шифринсона для коэффициента трения, в которой показатель степени равен 0,25.

Аналитическое выражение для оптимального расчетного параметра p_0, соответствующего минимуму годовых расходов, получается, как обычно, дифференцированием выражения (1), приравниванием производной нулю и решением относительно p. В результате

$$\rho_0 = \left(\frac{B \cdot \beta}{A\alpha} \right)^{\frac{1}{\alpha+\beta}}. \qquad (2)$$

Выражение (2) представляет собой формулу Шухова–Кельвина в наиболее общем виде. В зависимости от значения α и β, а также A и B, из него могут быть получены различные формулы ряда авторов. В частности, для тепловых сетей при $\alpha = 1$ и $\beta = 0{,}19$ показатель степени составит 0,84, что соответствует известным формулам для оптимальной потери напора.

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ГОДОВЫХ РАСХОДОВ

Из графика рис. 1 и выражения (2) очевидна роль совокупности многих технических и экономических показателей, выражаемых коэффициентами A и B; изменение их величины меняет не только величину p_0, но и кривизну линии суммарных годовых расходов S. Однако, как показано ниже, кривые относительного изменения переменной части годовых расходов имеют универсальный характер.

Рассмотрим относительное изменение переменной части годовых расходов

$$\sigma = \frac{S - S_0}{S_0 - C} = \frac{\Delta S}{S_0 - C} \qquad (3)$$

как функцию относительного изменения расчетного параметра

$$\varepsilon = \frac{p}{p_0}, \qquad (4)$$

где S_0 и p_0 – минимальные годовые расходы и соответствующий им оптимальный параметр; S – годовые расходы при любом значении параметра p[3] $\gtrless p_0$.

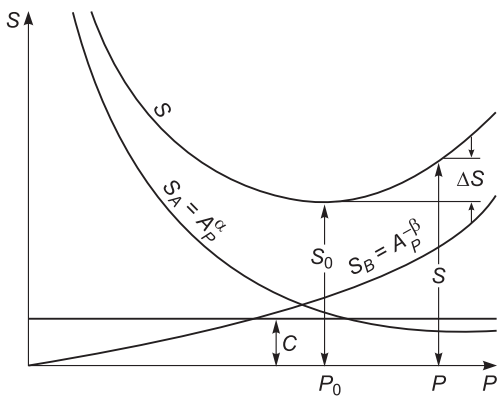


Рис. 1. Изменение годовых расходов по сети в зависимости от расчетного параметра.

[3] Знак “больше” или “меньше”. – *Примечание ред.*

Зависимость $\sigma = f(\varepsilon)$ определяется из выражений (1), (3) и (4):

$$\sigma = \frac{Ap_0^{\alpha+\beta}\left(\varepsilon^{\alpha}-1\right)+B\left(\varepsilon^{-\beta}\right)-1}{Ap_0^{\alpha+\beta}+B}.$$

После замены p_0 его значением из формулы (2) и соответствующих преобразований коэффициенты A и B исключаются:

$$\sigma = \left(\frac{\beta}{\alpha+\beta}\right)\varepsilon^{\alpha}+\left(\frac{\alpha}{\alpha+\beta}\right)\varepsilon^{-\beta}-1. \qquad (5)$$

Формула (5) получена в работе автора в 1947 г. (отчет ЭНИН) и применена в [4] при выборе ступеней напряжения мощных линий электропередачи. Эта формула, в которой отсутствуют коэффициенты A и B, показывает, что при двучленной степенной зависимости для переменной части годовых расходов (или любых других экономических показателей) их относительное отклонение от минимальных значений для данного вида сооружения есть вполне определенная величина.

По общей формуле (5) можно получить ряд зависимостей для σ, приводимых в таблице.

Для электрических сетей выражения σ имеют одинаковый вид при любом параметре, избранном для расчета. Аналогичный вид имеют приближенные выражения для линий электропередачи, при расчете которых производится выбор высшего напряжения по величине передаваемой мощности на цепь в конце линии. Для нелинейных сетей, к которым относятся все трубопроводные сети (в том числе тепловые) с квадратичной зависимостью напора от расхода, выражения для σ различны и зависят от расчетного параметра.

Универсальные кривые $\sigma = f(\varepsilon)$ для тепловых и электрических сетей приведены на рис. 2.

Отметим, что вполне определенная величина кривизны вблизи минимума позволяет судить о влиянии отклонений от оптимального параметра на величину годовых расходов. Если для электрических сетей любой расчетный параметр взять, например, в 2 раза большим или меньшим значения, соответствующего минимуму, то переменная часть годовых расходов возрастет ровно на 25 %.

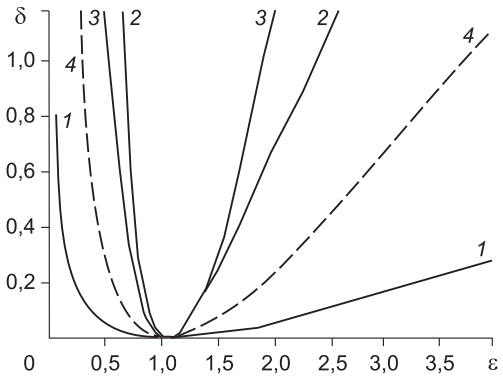


Рис. 2. Универсальные кривые изменений переменной части годовых расходов по тепловым и электрическим сетям.

1–3 – расчет тепловых сетей: *1* – по удельной потере напора, *2* – по диаметрам, *3* – по скорости потока; *4* – расчет электрических сетей и линий электропередачи по любому параметру.

Для тепловых же сетей удвоение удельной потери напора против оптимального значения увеличит годовые расходы на 4,6 %, а уменьшение в 2 раза – всего на 3,8 %.

Таким образом, технико-экономический расчет удельной потери напора для тепловых сетей оказывается значительно менее важным, чем аналогичный расчет для электрических сетей.

Для других нелинейных трубопроводных сетей, работающих в промежуточной области, т. е. с показателем степени в зависимости между напором и расходом $n < 2$ (газопроводы, холодные водопроводы, нефтепроводы и др.) кривые должны расположиться в промежутке между кривыми *4* и *1*, ближе к кривой *1*.

Следует указать также на несимметричность рассматриваемых кривых для тепловых и других трубопроводных сетей. Преувеличение расчетной потери напора приводит к большим перерасходам, чем соответственное преуменьшение. Для диаметров – вывод противоположный; если средний диаметр сети уменьшить, например, на 20 %, то годовые расходы возрастут максимум на 18,8 %, а если увеличить на 20 %, то годовые расходы увеличатся только на 6,9 %. Этим подтверждается вывод, сделанный в специальной работе Б.Л. Шифринсона о том, что при округлении диаметров труб до стандартных целесообразно всегда принимать бульшие значения.

Для электрических линейных сетей аналогичные результаты всегда симметричны.

Приведенные зависимости и значения относительного изменения годовых расходов касались лишь их переменной части, зависящей от отклонений расчетного параметра. Очевидно, что по отношению к суммарным расходам, включая и постоянную их часть C, относительные изменения ΔS будут меньше значений, соответствующих универсальным кривым на рис. 2. Используя эти кривые, можно точно узнать, на сколько процентов увеличится переменная часть годовых расходов по сети, если по ряду технических соображений необходимо отклоняться, например, от оптимальной удельной потери напора. Рассматривая кривую *1* на рис. 2, отличающуюся большой пологостью, можно заключить, что увеличение годовых расходов при довольно широком диапазоне изменений потери напора весьма невелико. Если учесть, что точность технико-экономического расчета, особенно с учетом перспективного уменьшения стоимостных показателей, вполне допускает погрешность порядка 5–10 %, то можно сделать вывод, что в некоторых случаях, например, для квартальных и поселковых сетей, необходимость в технико-экономическом расчете удельной потери напора вообще отпадает.

Изменение расчетного срока, соизмеряющего капиталовложения и годовые расходы по сетям. Выбор расчетного значения параметра сети только по минимуму годовых расходов не удовлетворяет требованиям народнохозяйственной эффективности. Необходим учет изменений капиталовложений. Согласно этому требованию, расчетное значение параметра соответствует повышенным годовым расходам, но зато одновременно приводит к экономии единовременных капиталовложений.

Следовательно, значение потери напора, скорости, падения напряжения, плотности тока и т. д. должно находиться в области $\varepsilon > 1$, а значения диаметров трубопроводной сети, сечения проводов и т. д. – в области $\varepsilon < 1$. Соизмерение капиталовложений и годовых расходов при сравнении двух вариантов сооружения производятся обычно при помощи срока окупаемости. В данном случае при расчете сетей имеется бесчисленное множество вариантов и поэтому срок τ, соизмеряющий капиталовложения K и годовые расходы S, должен выражаться [2] как

$$\tau = -\frac{dK}{dS} \text{ [лет].}$$

Величина τ указывает срок, в течение которого будет достигнут минимум суммы расходов по сети – единовременных и ежегодных.

Так как второй член выражения (1) для годовых расходов пропорционален капиталовложениям, то при коэффициенте пропорциональности f значение расчетного параметра определяется решением уравнения

$$\frac{d}{dp}\left[S\tau + \frac{B}{f}p^{-\beta}\right] = 0.$$

В результате в формулу Шухова–Кельвина нужно ввести поправку, которая определяется величиной τ и приобретает следующий общий вид:

$$p_\tau = \left[\frac{B\beta}{A\alpha}\left(1 + \frac{1}{f\tau}\right)\right]^{\frac{1}{\alpha+\beta}}. \qquad (6)$$

Решение, однако, остается неопределенным, так как срок τ по соображениям о народно-хозяйственной эффективности заранее не может быть установлен, а лишь может быть принят условно в широких пределах. Поэтому важно знать характер изменения этого срока по мере отклонения расчетного параметра p_τ от p_0, т. е. от величины ε. Анализ упрощается благодаря тому, что зависимость $\tau = f(\varepsilon)$, так же как и для σ, является универсальной. Действительно, при сопоставлении выражений (6) и (2) экономические коэффициенты A и B исключаются и при $\varepsilon = \frac{p_\tau}{p_0}$

$$\tau = \frac{1}{f\left(\varepsilon^{\alpha+\beta} - 1\right)}. \qquad (7)$$

Приведем пример использования зависимости (7) для случая водяных тепловых сетей, работающих в квадратичной области. Относительное уменьшение диаметров с введением некоторого расчетного срока τ определится из (7) при $a = -5{,}25$ и $\beta = -1$ (см. таблицу):

$$\varepsilon = \frac{d}{d_0} = \left(\frac{f\tau}{1 + f\tau}\right)^{0{,}16}. \qquad (8)$$

Здесь коэффициент пропорциональности $f = f_c + f_T$, где f_c – переменная часть годовых расходов по сети в долях от капиталовложений, а f_T – отношение стоимости тепловых потерь к переменной (зависящей от диа-

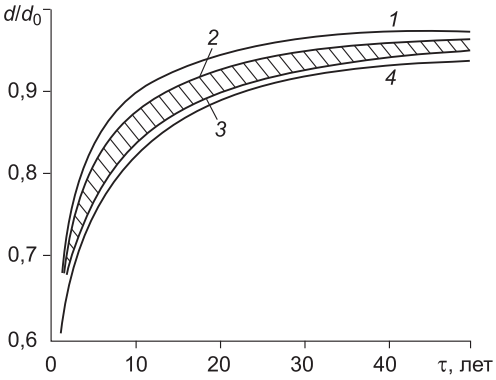


Рис. 3. Относительное изменение диаметров водяных и паровых тепловых сетей в зависимости от расчетного срока:

1 – $f_T = 8$, $f = 11{,}5$ %, *2* – $f_T = 5$, $f = 8{,}5$ %, *3* – $f_T = 2$, $f = 5{,}5$ %, *4* – $f_T = 1$, $f = 4{,}5$ %.

метров) части капиталовложений. Величина f_c в настоящее время проектными организациями оценивается в 0,035. Величина f_T определяется главным образом стоимостью топлива и удельной стоимостью прокладки.

Как показывают расчеты, при самом широком изменении стоимости топлива и для наиболее употребляемых способов прокладок, а также некоторых других показателей, величина f_T меняется в пределах от 0,01 до 0,05 и чаще всего от 0,02 до 0,04. Для ряда значений f построен график (рис. 3). Уменьшение диаметров труб, городских распределительных теплосетей на одну ступень (по существующей стандартной шкале) чаще всего соответствует их сокращению не менее чем на 20 %. Такое сокращение соответствует в среднем расчетному сроку τ не более чем 5 лет. Сокращение диаметров на две ступени приведет к еще более коротким срокам.

Таким образом, если для расчета тепловых сетей в целях сокращения капиталовложений применять методику, основанную на учете расчетного срока τ, то в течение длительного срока службы сетей, значительно превышающего 5 лет, будет иметь место перерасход эксплуатационных расходов по сравнению с вариантом расчета сети на минимум годовых эксплуатационных расходов.

Эти соображения, а также необходимость предусматривать перспективное расширение и стремиться к повышению их гидравлической жесткости (устойчивости) указывают на целесообразность сохранения общепринятой методики расчета по минимуму годовых эксплуатационных расходов.

ВЫВОДЫ

Относительное изменение технико-экономических показателей для сетей различного рода может быть представлено универсальными зависимостями (5) и (7), которые определяются лишь показателями нелинейности сети (см. таблицу). Используя формулу (5), можно судить о характере зависимости годовых расходов или других показателей от расчетного параметра. Для тепловых сетей и других трубопроводов, работающих в квадратичной или близкой к ней области, изменение годовых расходов при большом диапазоне потерь давления весьма невелико и может быть точно установлено.

При проектировании тепловых сетей нет необходимости пользоваться громоздкими формулами технико-экономического расчета и выполнять

весьма трудоемкие вспомогательные расчеты. Включать в эти формулы величину расчетного срока, соизмеряющего годовые и капитальные затраты, также не следует, так как этот срок остается проектировщику неизвестным. Теория технико-экономического расчета тепловых сетей и укрупненные показатели, накопленные в ведущих проектных организациях (Теплоэлектропроект, Гипрокоммунэнерго и др.), позволяют подготовить для нового издания книги "Руководящие указания по проектированию тепловых сетей" дифференцированные нормативы удельных потерь напора с указанием возможных пределов их изменения. Предлагаемые здесь зависимости могут быть использованы при разработке нормативов.

Формула (5) справедлива для многих других технико-экономических задач выбора расчетного параметра, встречающихся в энергетике и других областях техники. При этом необходимо, чтобы исходная зависимость показателей от параметра выражалась точно или приближенно в виде степенного двучлена.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Шифринсон Б.Л.** Основной расчет тепловых сетей. – М.: Госэнергоиздат, 1940.
2. **Мелентьев Л.А.** Теплофикация. Ч. II. – М.: Изд-во АН СССР, 1948.
3. **Закс М.Л.** Расчетная потеря давления в водяных тепловых сетях // Теплоэнергетика. – 1956. – № 2.
4. **Басов М.А.** // Изв. АН СССР. Отделение техн. наук. – 1951. – № 9.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ИНДИВИДУАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В ТЕПЛОФИЦИРОВАННЫХ ЗДАНИЯХ*

Хасилев В.Я.

1. ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Одним из важных способов повышения качества теплоснабжения является автоматизация отопительных систем путем установки индивидуальных терморегуляторов на отопительных приборах во всех или в большей части помещений.

Ряд работ, ведущихся в этом направлении в Ленинграде, Москве, Риге и Минске, имеет своей целью создание простой и надежной автоматики, доступной для широкого применения. В настоящее время приступили к

* Сборник научных работ МИНХ им. Г.В. Плеханова. 1959. Вып. 15, ч. 2.

опытной и эксплуатационной проверке ряда предложенных систем. Во всех случаях автоматические клапаны прерывистого или плавного регулирования с помощью термореле или непосредственно получают импульс при изменении температуры воздуха в помещении. Двухпозиционные клапаны прерывистого регулирования приводятся в действие при достижении нижнего и верхнего пределов температуры воздуха в помещении. Механический терморегулятор прямого действия, предложенный проф. Л.К. Якимовым, обеспечивает плавное прикрытие отверстия шайбы перед нагревательным прибором, что особенно важно. Пределы колебания температуры в помещении устанавливаются по желанию жильцов – самими жильцами или обслуживающим персоналом. Такая система регулирования должна не только повысит качество обслуживания потребителей тепла, но и привести к заметной экономии топлива.

Особое значение индивидуальное регулирование будет иметь в условиях теплофикации. Очевидно, что по мере развития централизованных способов теплоснабжения – от индивидуального отопления к домовым отопительным системам и от них к установкам районного теплоснабжения и теплофикации – наряду с большими преимуществами такого развития теряются возможности приспосабливания к индивидуальным и часто весьма разнообразным требованиям потребителей. Любой способ центрального регулирования, от менее совершенного “качественного” до более совершенного “количественно-качественного”, не может полностью решить вопрос. Закономерен переход к совместному – центральному и местному – регулированию. При этом система “местных пропусков” с помощью автоматики прерывистого действия, устанавливаемой на вводе в здание перед элеватором и получающей импульс по температуре в одном-трех контрольных помещениях, также полностью не решает задачи. Установка термореле в помещениях, находящихся в наихудших условиях, приводит к значительным перетопам в большинстве помещений. Большой опыт эксплуатации отопительных систем, присоединенных к теплофикационным сетям, показывает, что одной только первоначальной регулировкой системы и количественно-качественным регулированием, приспособленным к изменениям коэффициента теплопередачи приборов, нельзя добиться поддержания одинаковых температур во всех помещениях согласно установленным нормам. Расхождения в температурах бывают весьма значительными.

Как известно, нарушения теплового режима отдельных помещений, выражаемые перетопом одних и недотопом других, вызываются в основном следующими причинами:

а) отклонением действительных теплопотерь через ограждающие конструкции от теплопотерь, установленных трансмиссионным расчетом и в связи с этим избытком или недостатком поверхности нагрева отопительных приборов;

б) внутренними тепловыделениями в непредусмотренном размере;

в) изменениями условий обветривания и солнечной радиации для отдельных сторон здания.

Индивидуальная автоматика, устанавливаемая в каждом или в большинстве помещений здания, позволяет выравнивать все нарушения теплового режима временного и постоянного характера и этим самым повысить качество централизованного теплоснабжения. Вместе с тем автоматика позволит полезно использовать все внутренние и внешние непредвиденные теплоизбытки и этим самым достигнуть заметной экономии топлива. В этом ее принципиальное преимущество перед ручным регулированием с помощью кранов, устанавливаемых перед приборами.

Индивидуальное регулирование отопительных приборов вносит известную новизну в гидравлические режимы всей теплофикационной установки. Применяемые до сего времени способы регулирования – центральное, количественное и местное прерывистое – основаны на изменении напоров и сопротивлений во внешней сети до элеваторного узла. В отличие от этих способов внешнего регулирования индивидуальная автоматика приводит к системе внутреннего регулирования после элеватора. При этом прерывистое или плавное изменение расхода воды в отдельных приборах равнозначно изменению сопротивления местной отопительной системы в целом.

Одной из основных особенностей элеваторного узла, обеспечивших ему столь широкое применение в теплофикации, является постоянство коэффициента смешения при любых возмущениях во внешней сети. Чем выше напор перед элеватором неавтоматизированного ввода, тем больше расход в местной системе. Однако почти в том же соответствии меняется величина инжектируемого потока, и поэтому температура в подающей линии местной системы практически остается неизменной.

При внутреннем регулировании за элеваторным узлом, связанным с применением индивидуальной автоматики, или при ручном регулировании нагревательных приборов, с изменением сопротивления местной системы, меняется коэффициент смешения, что вызывает изменение в температурном режиме.

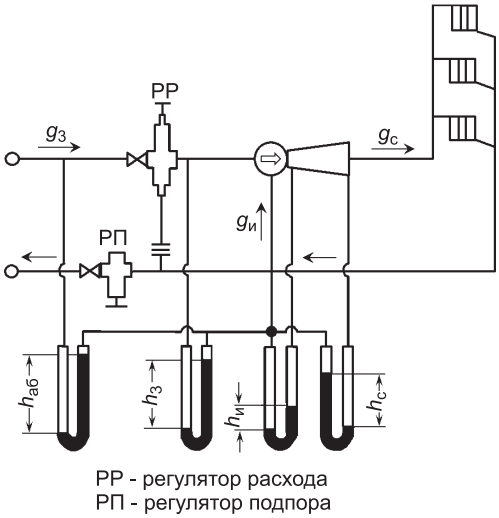
В ряде работ советских авторов (Е.А. Белинкий, В.К. Дюскин, И.С. Ланин, В.М. Орлов, Б.М. Хлыбов и др.) вопросы гидравлического режима внутри зданий исследовались в связи с разрегулирующим влиянием гравитационного напора и другими обстоятельствами, возникающими при пропорциональном внешнем регулировании, количественном и количественно-качественном.

Содержание настоящей статьи посвящено анализу основных особенностей гидравлического режима при внутреннем регулировании и установлению связи между циркуляцией в местных системах и во внешней сети.

2. ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

В дальнейших построениях используется ряд основных зависимостей для водоструйных элеваторов, применяемых на теплофикационных вводах. Примерная схема элеваторного узла приведена на рис. 1. В общем случае помимо постоянного сопротивления перед элеватором включено ав-

Рис. 1. Схема элеваторного узла.



РР - регулятор расхода
РП - регулятор подпора

томатически регулируемое сопротивление в виде регулятора расхода (РР). Автоматически регулируемое сопротивление РП поддерживает необходимый статический напор в местной системе. Оно может быть условно отнесено к наружной сети и далее в выражения для элеваторного узла не включается.

Введем следующие основные обозначения, используемые в дальнейшем:

$G_э$ – расход и относительный расход воды из теплосети, через сопло элеватора;
$g_э = G_э / G_э^р$

$G_с$ – расход и относительный расход воды в местной отопительной системе;
$g_с = G_с / G_с^р$

$G_и$ – расход и относительный расход инжектируемого потока, подмешиваемого в элеваторе к воде из теплосети;
$g_и = G_и / G_и^р$

$u_р = G_и^р / G_э^р$ – расчетное и переменное значение коэффициента смешения элеватора;
$u = g_и / g_э \cdot u_р$

$h_{аб}$ – располагаемый перепад давлений перед абонентом;

$h_{др}$ – потеря давления в регулируемых и постоянных сопротивлениях перед элеватором;

$h_и$ – потеря давления инжектируемого потока при входе в камеру смешения;

$h_с$ – потеря давления в местной отопительной системе;

$\omega_э = h_э / h_э^р$;
$\omega_и = h_и / h_и^р$; – соответственные относительные значения потерь давления.
$\omega_с = h_с / h_с^р$

Индекс “р” при всех обозначениях соответствует расчетному режиму, при котором: $g_э = g_и = g_с = \omega_э = \omega_и = \omega_с = 1$.

3. ЖЕСТКОСТЬ СЕТИ В УЗЛОВОЙ ТОЧКЕ

Переменный гидравлический режим в тепловой сети с элеваторным присоединением автоматизированных отопительных систем и в особенности со многими источниками питания, насосными подстанциями и прочее

в расчетном отношении является сложным. Колебания располагаемых напоров (давлений) в различных узловых точках сети вызываются различными возмущениями, которые условно можно разделить на две группы: I – центральные изменения напоров на отдельных или параллельно работающих ТЭЦ и других источниках циркуляции; II – местные возмущения, вызываемые тем или иным изменением сопротивления в местных системах потребителей или групп потребителей по условиям местного регулирования, непосредственного водоразбора и т. п.

Расчет по определению результата заданной совокупности возмущений и вызываемых ими нарушений потокораспределения в общем случае не может быть произведен методом наложения (суперпозиции) в силу нелинейности трубопроводной сети. Исключения представляют некоторые элементарные случаи.

Анализ гидравлического режима при индивидуальном регулировании не является элементарным. Как и в других сложных случаях, здесь возможно применение нелинейных электрических моделей. Однако необходимость в этом отпадает, если поставленная задача ограничивается изучением возможных пределов изменения располагаемых напоров в различных узловых точках сети и соответственных изменений потокораспределения в сети и у потребителей.

Одни и те же возмущения в различных сетях приводят к различным по величине нарушениям потокораспределения. В литературе это свойство сети получило широко распространенное название “гидравлической устойчивости” и вошло в учебники. Заметим, что этот термин является неудачным. Понятие устойчивости и неустойчивости в механике, электродинамике, теории регулирования и пр. относится к явлениям и процессам, в которых возможен переход от установившегося к неустановившемуся состоянию. Нарушения же потокораспределения связаны с переходом от одного установившегося состояния к другому, и фактор времени здесь ни при чем. Полагаем целесообразным, по аналогии с термином, применяемым при изучении энергетических систем[1], для оценки указанного свойства применять термин “жесткость сети”, которая характеризует реакцию потокораспределения в сети на любое местное или центральное возмущение.

Жесткость сети в целом и в узловых точках обычно оценивается соотношениями между давлениями на станции ($H_{\text{макс}}$) и у абонентов ($h_{\text{аб}}$):

$$Ж_{\text{аб}} = \sqrt{\frac{h_{\text{аб}}}{H_{\max}}}.$$

Причем жесткость сети в целом оценивается по давлению у наиболее удаленного абонента ($h^{\text{у}}_{\text{аб}}$):

$$Ж = \sqrt{\frac{h^{\text{у}}_{\text{аб}}}{H_{\max}}}.$$

[1] И.М. Маркович. Энергетические системы и их режимы. М.: Госэнергоиздат, 1952.

Так как в соответствии с обозначениями $h_{аб} = h_{др} + h_э^р$, то $ж_{аб} = \sqrt{ж_{др}^2 + ж_э^2}$, где $ж_{др} = \sqrt{\frac{h_{др}}{H_{max}}}$ – жесткость регулируемых и постоянных сопротивлений, устанавливаемых перед элеватором; $ж_э = \sqrt{\frac{h_э^р}{H_{max}}}$ – жесткость элеваторного узла.

При одной станции, где поддерживается максимальный постоянный напор, а количественное регулирование является исключительно местным, составляющая $ж_э$ – постоянная, а $ж_{др}$ – переменная. В этом случае величина $ж_{др}$ зависит от местоположения абонента. Для абонентов вблизи станции, наименее подверженных изменениям напора в связи с местными возмущениями,

$$ж_{др} = \sqrt{1 - \frac{h_э^р}{H}} \text{ и } ж_{аб} \approx 1.$$

Для концевых точек сети: $ж_{др} = 0$ и $ж_{аб} = ж_э$. В целом $ж_{аб}$ меняются от $ж_э$ до 1.

При переменных напорах на параллельно работающих станциях по общему тепловому графику $ж_{аб}$ меняется не только в плане сети, но и во времени. Для последующих выводов существенны пределы изменения жесткости. Для этих краевых условий, устанавливаемых простыми соображениями, определяются нарушения расчетной циркуляции в сети.

4. УРАВНЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РЕЖИМА

Уравнения гидравлического режима должны дать основу для расчетов меняющегося потокораспределения при любых возмущениях, вызываемых регулированием теплоснабжающей системы: внешним (на станциях и в теплосети до элеваторов) и внутренним (в местных системах после элеваторов).

Заметим, что в целях выяснения главного, из рассмотрения исключается вопрос о вертикальной поэтажной разрегулировке, который в данном случае не играет роли. Это хорошо изученное явление проявляется и усиливается с изменением давления воды перед зданием. Последнее исключается при автоматическом регулировании на вводах, а также, как показано далее, совершенно несущественно при индивидуальном регулировании отопительных приборов. Поэтому в настоящем параграфе здание рассматривается как одно помещение с одним элеваторным узлом и одним прибором (рис. 2).

Рассматривая совместную работу сети и потребителей, можно представить мысленно, что сетевые насосы на одном или нескольких источниках циркуляции сосредоточены в месте присоединения отопительной системы к сети в виде одного эквивалентного насоса, и заменить сопротивление всей наружной сети некоторым эквивалентным сопротивлением $S_{экв}$, размещенным между эквивалентным насосом и элеваторным узлом.

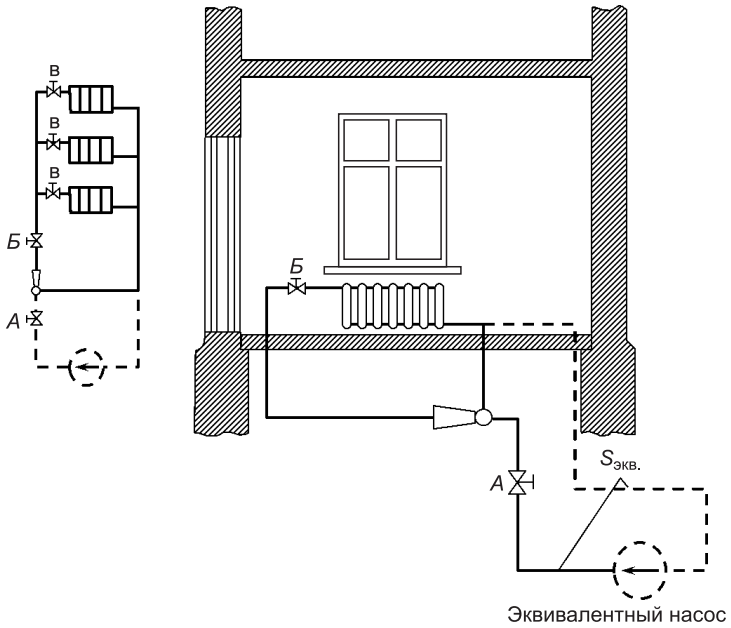


Рис. 2. Схема теплофикационного ввода.

В соответствии с предыдущими обозначениями можно написать, что относительное изменение разности давления перед зданием:

$$\omega_э = \frac{H - S_{экв} G_р^2 g_э^2}{H^р - S_{экв} G_р^2},$$

где H – давление, создаваемое эквивалентным насосом.

Полагая, что напор насосов при внутреннем регулировании остается неизменным, учитывая, что $S_{экв} G_р^2 = H^р - h_э^р$, и заменяя $H^р / h_э^р = 1 / ж_{аб}^2$, получим первое уравнение гидравлического режима, связывающее относительные изменения давлений и расходов с жесткостью в узловой точке сети:

$$\omega_э = \frac{1 - \left(1 - ж_{аб}^2\right) g_э^2}{ж_{аб}^2}. \qquad \text{(I)}$$

Остальные уравнения, необходимые для решения любой из поставленных задач, должны быть следующими:

$$g_с = \frac{1+u}{1+u_р} g_э, \qquad \text{(II)}$$

$$g_э = \frac{\sqrt{\omega_э h_э^р + \omega_и h_и^р}}{\sqrt{h_э^р + h_и^р}}, \qquad \text{(III)}$$

$$\frac{\omega_с}{\omega_э} = \frac{h_э^р}{h_с^р} f(u), \qquad \text{(IV)}$$

$$\omega_с = \omega(\omega_э, \omega_и, u). \qquad \text{(V)}$$

Уравнение (II) получено из материального баланса элеваторного узла.

Уравнение (III) – следствие квадратичного закона падения давления в сопле элеватора и на входе в камеру смешения.

Уравнение (IV) является выражением характеристик переменного режима работы элеватора.

Уравнение (V) выражает на основе закона импульсов связь между изменениями потерь давления в местной системе, в сопле элеватора и на входе в камеру смешения, а также коэффициентом смешения.

Уравнения (IV) и (V), приведенные здесь в неявной форме, нелинейны. Поэтому после раскрытия функций f и φ в разделе "Вспомогательные данные" (п. 5) общее решение системы (I) – (V) производится графическим методом.

В том случае, когда конструкция элеватора (например, "Госсантехстроя") не дает возможности осуществлять смешение первого рода, величина $\omega_и$ отсутствует и уравнения (IV) и (V) заменяются одним выражением для характеристики элеватора второго рода.

Величины расчетных падений давления $h_э^р$, $h_и^р$ и $h_с^р$ рассматриваются здесь как постоянные. Их значения приводятся в п. 5 для различных расчетных коэффициентов смешения.

Уравнение (I) включается в систему при условии внутреннего регулирования – изменения сопротивлений в пределах отопительных систем зданий. При внешнем регулировании, например при одном источнике и центральном количественном регулировании, обеспечивающем пропорциональность изменения напоров в сети, уравнение (I) заменяется заданными значениями $\omega_э$. В случае же совместной работы нескольких источников циркуляции на общую сеть определение $\omega_э$ на группы потребителей, объединяемых радиальными участками, желательно производить с помощью электрических нелинейных моделей.

В приведенной системе, состоящей из пяти уравнений, между собой связаны шесть переменных гидравлического режима: $g_с$; $g_э$; u; $\omega_э$; $\omega_с$ и $\omega_и$. В зависимости от поставленной задачи и условий регулирования одно из переменных принимается заданным, либо вводится дополнительное условие, а остальные определяются решением системы (I). Например, для режима центрального пропорционального регулирования задано $\omega_э$ и u – постоянными; при автоматизации постоянства расхода на вводах $g_э$ – постоянное. В условиях поставленной здесь задачи для анализа гидравлических режимов, при внутреннем индивидуальном регулировании отопительных систем, принимается заданным ряд значений $g_с$ (см. п. 7).

5. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПО ВОДОСТРУЙНЫМ ЭЛЕВАТОРАМ

Для последующих расчетов необходимы численные значения расчетных параметров водоструйного элеватора, соответствующих характерным значениям расчетного коэффициента смешения. Необходимо также использование характеристик переменного режима работы элеваторов.

В результате ряда работ советских авторов (Л.Д. Берман, П.И. Каменев, А.П. Сафонов, Е.Я. Соколов и др.) создан наиболее совершенный тип

водоструйного элеватора (первого рода) с цилиндрической камерой смешения, в котором направления инжектируемого и инжектирующего потоков параллельны (минимум потерь на удар). Зависимость между удельными энергиями смешивающихся потоков и смешанного потока определена[2] исходя из закона импульсов в предварительном предположении, что процесс в камере смешения изобарический. В этом случае

$$h_э = \left[\frac{1+u}{\varphi_1\varphi_2\varphi_3}\sqrt{h_с + h_и} - \frac{\varphi_4}{\varphi_1}u\sqrt{h_и}\right]^2 - h_и, \qquad (1)$$

где коэффициенты скорости: φ_1 – сопла; φ_2 – камеры смешения; φ_3 – диффузора; φ_4 – входного участка в камеру смешения.

Каждому расчетному значению коэффициента смешения соответствует оптимальное соотношение между $h_э$ и $h_и$, определяемое условием максимума $h_с$ – удельной энергии смешанного потока, циркулирующего в местной отопительной системе. Решение задачи на максимум функции дает зависимость между расчетными потерями давления смешивающихся потоков и потерей в местной системе

$$\left.\begin{aligned} h_э^р &= \frac{1}{C}h_с^р \\ h_и^р &= Bh_э^р \end{aligned}\right\}, \qquad (2)$$

где постоянные зависят от расчетного коэффициента смешения и коэффициентов скорости

$$\left.\begin{aligned} B &= \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{1}{A-2}} - \frac{1}{2} \\ A &= \frac{1}{u_р^2}\left[\frac{\left(1+u_р\right)^2}{\varphi_1\varphi_2^2\varphi_3^2\varphi_4} - \frac{\varphi_1^2\varphi_4^2u_р^2}{\varphi_1\varphi_4}\right] - 2 \\ C &= \left(\frac{\varphi_1\varphi_2\varphi_3}{1+u_р}\right)^2\left[\sqrt{1+B} + \frac{\varphi_4}{\varphi_1}u_р\sqrt{B}\right]^2 - B \end{aligned}\right\}. \qquad (3)$$

Значения расчетных потерь давления в элеваторах определены нами по выражениям (2) и (3) для различных расчетных температур в подающей магистрали, а также для одного эксплуатационного режима, при котором значение коэффициента смешения $u_р = 3{,}2$, применяемого в зданиях с преувеличенной поверхностью нагревательных приборов.

В расчетах использованы следующие характерные значения коэффициентов, полученные при испытаниях элеваторов конструкции ВТИ – Мостеплосеть:

$$\varphi_1 = 0{,}95;\ \varphi_2 = 0{,}975;\ \varphi_3 = 0{,}9;\ \varphi_4 = 0{,}925.$$

[2] Е.Я. Соколов. Тепловые сети. ГЭИ. 1948.

Таблица 1

Расчетные температуры в подающей линии: $t_{\text{п}}^{\text{р}}$, °С	120	130	140	150	160	–
Расчетный коэффициент смешения: $u_{\text{р}} = \frac{t_{\text{п}}^{\text{р}} - t_{\text{с}}^{\text{р}}}{t_{\text{с}}^{\text{р}} - t_{\text{о}}^{\text{р}}}$	1,0	1,4	1,8	2,2	2,6	3,2
$h_{\text{с}}^{\text{р}}$, кг/м^2	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Расчетные коэффициенты						
A	13,42	13,83	15,05	16,1	17,9	20,10
B	0,081	0,076	0,071	0,069	0,06	0,053
C	0,281	0,166	0,129	0,105	0,0865	0,067
$h_{\text{э}}^{\text{р}}$, кг/м^2	4530	6060	7750	9500	11500	14900
$h_{\text{и}}^{\text{р}}$, кг/м^2	367	450	550	657	690	690
Условный КПД элеваторного узла: $\gamma_{\text{р}} = \frac{h_{\text{с}}^{\text{р}} - u_{\text{р}}}{h_{\text{э}}^{\text{р}} - h_{\text{с}}^{\text{р}}} \cdot 100\ \%$	28,4	27,6	26,7	25,9	24,8	23,0

Расчетные температуры в отопительной системе приняты следующими: температура смеси после элеватора $t_{\text{с}}^{\text{р}} = 95$ °С и температура в обратной линии $t_{\text{о}}^{\text{р}} = 70$ °С.

Результаты сведены в нижеследующую таблицу и соответствуют обычной расчетной потере давления к местной отопительной системе $h_{\text{с}}^{\text{р}} = 1000$ кг/м^2. В случае, когда потеря давления в местной системе отклоняется от этой величины, величины $h_{\text{э}}^{\text{р}}$ и $h_{\text{и}}^{\text{р}}$, приведенные в табл. 1, следует помножить на отношение $h_{\text{с}}^{\text{р}}/1000$.

Данные, приведенные выше, соответствуют лишь расчетному режиму. При переменном режиме любое изменение циркуляции в местной отопительной системе вызывает изменение давления, создаваемого элеватором, и одновременно коэффициента смешения. Переменный режим работы элеватора анализируется с помощью его характеристики, выражаемой обычно зависимостью вида

$$\frac{h_{\text{с}}}{h_{\text{э}}} = f(u).$$

Расшифровка характеристики (2) дана теоретической формулой проф. Е.Я. Соколова[3], хорошо согласующейся с опытными данными ВТИ по водоструйным элеваторам. Аналогичная формула была получена д.т.н.

[3] Соколов Е.Я. Расчет и построение характеристик пароструйных компрессоров и водоструйных насосов с цилиндрической камерой смешения // Изв. ВТИ. 1948. № 9.

Л.Д. Берманом[4] в предположении одинаковости коэффициентов скорости инжектирующего потока в сопле и инжектируемого потока на входе в камеру смешения. Постоянные коэффициенты, входящие в формулы для характеристики, зависят от соотношений геометрических размеров (сечений) сопла и камеры смешения, а также от совокупности коэффициентов скорости.

Общая формула характеристики представляется следующим образом:

$$\frac{h_c}{h_э} = \frac{a + bu^2 - c(1+u)^2}{1 - du^2}, \qquad (2')$$

где a, $в$, c и d определяются указанными выше значениями коэффициентов скорости φ, а также расчетными значениями падения давления $h_э^р$, $h_и^р$ и $h_c^р$ (см. табл. 1), так как последние для каждого расчетного коэффициента скорости определяют соотношение основных сечений элеватора. При этом должно быть также учтено, что в оптимальных условиях процесс смешения в цилиндрической камере не является изобарическим. Общий подъем давления в элеваторе ($h_э + h_{и)}$ распределяется между диффузором и камерой смешения. Как показано Е.Я. Соколовым, такое распределение зависит от коэффициента скорости в диффузоре. При $\varphi_з = 0{,}9$ на долю камеры смешения приходится 32 % от общего подъема давления в элеваторе. В результате получены следующие значения коэффициентов a, b, c и d для различных расчетных коэффициентов смешения (табл. 2).

Для указанных выше данных аналитическое выражение характеристики элеватора может быть упрощено и представлено в виде степенной функции

$$\frac{h_c}{h_э} = \alpha - \beta u^{\gamma}. \qquad (2'')$$

Постоянные коэффициенты α и β определены логарифмической анаморфозой для трех характерных расчетных значений коэффициента смешения и приводятся в табл. 3. Там же даны значения $\alpha = a - c$.

Выражение (2″) и соответствующие коэффициенты из табл. 3 обеспечат достаточную точность расчетов при уменьшении коэффициента смешения не ниже 20–30 %.

Характер изменения коэффициентов α отражает снижение КПД элеваторного узла по мере перехода к повышенным расчетным коэффициентам

Таблица 2

$u_р$	1,0	1,4	2,2	3,2
a	0,364	0,277	0,1735	0,108
b	0,0219	0,0144	0,0062	0,0026
c	0,0721	0,0259	0,0105	0,0040
d	0,0755	0,0355	0,0134	0,0043

Таблица 3

$u_р$	1,4	2,2	3,2
α	0,251	0,163	0,108
β	0,056	0,0224	0,0086
γ	1,15	1,27	1,27

[4] Берман Л.Д. К расчету струйных аппаратов // Вестн. инженеров и техников. 1938. № 2; 1939. № 1.

смешения. Однако крутизну характеристики, влияющую на жесткость системы, отражает величина коэффициента β, снижающаяся с ростом $u_р$. Отсюда известный вывод – увеличение расчетного коэффициента смешения повышает жесткость системы.

6. ВНУТРЕННЕЕ ИНДИВИДУАЛЬНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

Во всех случаях индивидуального регулирования отопительных приборов – вручную или с помощью автоматики – происходит уменьшение общего расхода циркулирующей воды в местной системе против расчетного. Сокращение циркуляции особенно велико в двухтрубных системах и практически ничтожно в вертикальных однотрубных системах с замыкающими участками в силу высокой жесткости таких систем[5]. Для анализа целесообразно многочисленные пункты регулирования заменить одним сопротивлением, устанавливаемым непосредственно за элеватором, как это показано на рис. 2, где задвижка *Б* заменяет клапаны *в*. Введение такого эквивалентного регулируемого сопротивления возможно потому, что из рассмотрения исключается поэтажная вертикальная разрегулировка (см. п. 4).

Первоначально рассмотрим внутреннее регулирование в условиях автоматизированного ввода, т. е. при $h_э = h_э^р$ или $ω_э = 1$. По известным значениям $h_э^р$ для данных расчетных коэффициентов смешения (см. табл. 1) и используя характеристики элеваторного узла (2′), получаем зависимость:

$$\varphi_с = \frac{h_э^р}{h_с^р} f_1(u) = C\frac{1+bu^2-c(1+u)^2}{1-du^2}, \qquad (3)$$

что соответствует уравнению (IV). Таким образом, каждому значению u соответствует определенная величина $h_с$. Используя же зависимость (1), графическое изображение которой для $ω_э = 1$ в двух случаях ($u_р = 1{,}4$ и 2,2) дано на рис. 3, получаем расчетным путем $ω_и = f_2(u)$ и согласно уравнению (III):

$$g_э = \sqrt{\frac{h_э^р}{h_э^р + h_и^р} + \frac{h_и^р}{h_э^р + h_и^р} f_2(u)}\,. \qquad (4)$$

Используя (4) и на основе уравнения (II), получаем

$$g_с = \frac{1+u}{1+u_р} g_э = f_3(u)\,. \qquad (5)$$

По значениям расчетных давлений, приведенным в табл. 1, и зависимостям (3), (4) и (5) построен график (рис. 4), для двух характерных расчетных температур в подающей магистрали сети 150 °С ($u_р = 2{,}2$) и 130 °С ($u_р = 1{,}4$). Кривая $u_о$ соответствует относительному изменению коэффициента смешения в зависимости от сокращения расхода воды в мест-

[5] Белинкий Е.А. Расчет и эксплуатационный режим однотрубных систем водяного отопления. М.: Изд-во МКХ РСФСР, 1952.

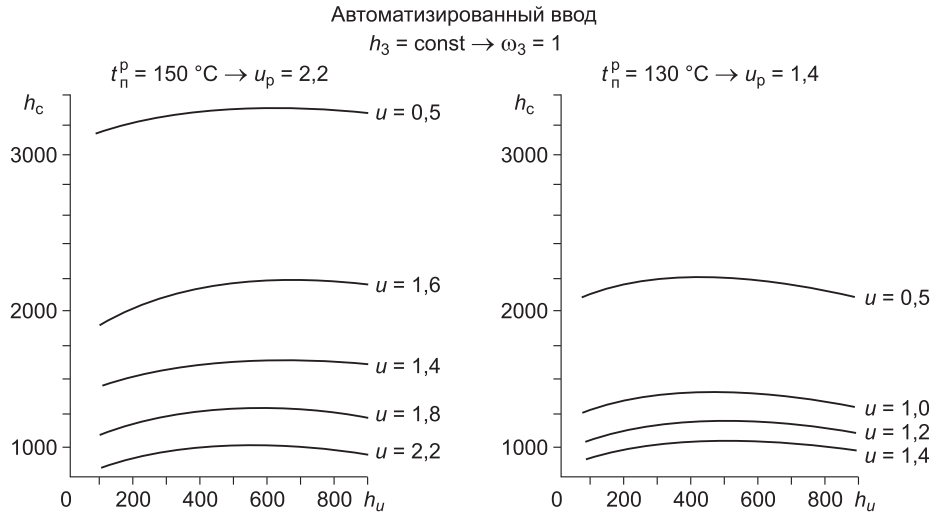


Рис. 3. Зависимость потерь напора смеси в местной системе и инжектируемого потока в камере смешения элеватора.

ной системе. В этой же зависимости показан относительный рост перепада давления ω_c, создаваемого элеватором. Несмотря на автоматизацию постоянства давления на вводе, расход воды из сети несколько сокращается (максимум на 3–4 %) из-за изменения потери давления инжектируемого потока.

На графиках, представленных на рис. 5, показано изменение абсолютных величин коэффициента смешения от их максимального значения до момента, соответствующего срыву подмешивания, в зависимости от сокра-

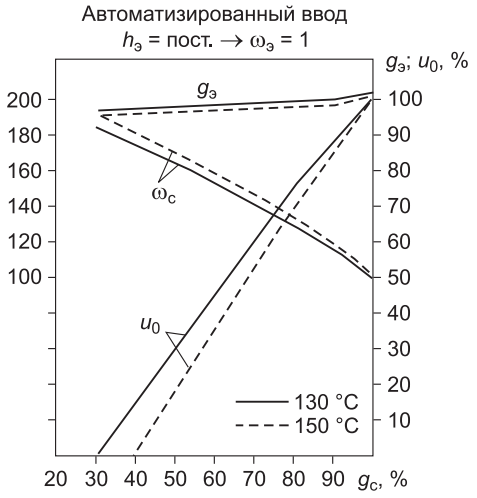


Рис. 4. Характеристика местного регулирования отопительной системы теплофицированного здания.

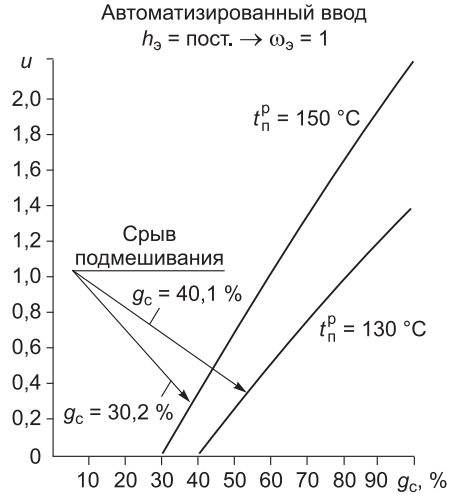


Рис. 5. Изменение коэффициента смешения элеватора при сокращении расхода воды в отопительной системе.

щения расхода воды в местной системе. Величина "критического" расхода, при котором наступает срыв подмешивания, определяется по уравнениям (II) и (III) при $u = 0$ и $\omega_и = 0$:

$$g_c^{кр} = \frac{1}{1+u_р}\sqrt{\frac{h_э^р}{h_э^р + h_и^р}}\,. \qquad (6)$$

Из формулы (6) и по данным табл. 1 получаем, что срыв подмешивания наступает: при $g_c^{кр} = 30$ % для систем с $u_р = 2{,}2$ и при $g_c^{кр} = 40$ % для систем с $u_р = 1{,}4$. Итак, в случае автоматизированного ввода рост сопротивления местной системы, пока не наступил срыв подмешивания (прикрытие эквивалентной задвижки *Б*), практически не снижает расхода воды из теплосети, а лишь уменьшает циркуляцию в контуре "местная отопительная система–перемычка–элеватор". Дальнейший рост сопротивления местной системы, после срыва подмешивания, приводит к опрокидыванию циркуляции по перемычке. При этом уменьшение расхода воды из теплосети делается несколько более резким и зависит от соотношения расчетных сопротивлений перемычки $(S_и^р)$ и местной системы $(S_c^р)$. Указанное соотношение составляет

$$\frac{S_и^р}{S_c^р} = \frac{B}{C}\left(\frac{1+u_р}{u_р}\right)^2. \qquad (7)$$

По данным табл. 1 можно получить следующие характерные соотношения сопротивлений перемычки и местной системы:

$u_р$	1,4	2,2	3,2
$\frac{S_и^р}{S_c^р}$	1,35	1,39	1,365

Когда перед элеватором нет автоматически регулируемого сопротивления, обеспечивающего постоянство давления "после себя", т. е. при $\omega_э \neq 1$, элеваторный узел и местная система связаны не только статически, но и в гидродинамическом отношении с наружными теплосетями. В этих условиях внутреннее регулирование местной системы и внешнее регулирование (например, центрально-многостороннее при параллельной работе ТЭЦ) должны рассматриваться совместно. Точное решение задачи, в связи с нелинейностью исходных уравнений, исключается. Поэтому в настоящей работе использована методика, основанная, по существу, на линеаризации процессов. Поставленная здесь задача сводится к определению относительного увеличения перепада давлений перед зданиями и потери давления инжектируемого потока, вызванные сокращениями расхода воды в местной системе при индивидуальном регулировании.

Выводы должны быть получены для крайних значений жесткости $ж_{аб}$ в узлах присоединения вводов к наружной теплосети. Последнее существенно для того, чтобы оценить: а) влияние внешнего регулирования и б) влияние месторасположения абонентов в плане сети.

Если в силу внешнего регулирования меняется потокораспределение в наружной сети, например в соответствии с режимом параллельной работы

ТЭЦ, то одновременно меняются давления и жесткость в узле присоединения абонента (п. 3). Допустим, что перепад давлений перед данным зданием сильно меняется, например, в ... 100 раз! Таким образом, жесткость в данной точке сети меняется в 10 раз. Допустим далее, что у отдельных потребителей в зависимости от их расположения, удаленности от ТЭЦ и прочее перепады давлений также сильно отличаются – в 100 раз. Таким образом, жесткости $ж_{аб}$ в различных точках сети также отличаются между собой в 10 раз. В целом изменения жесткости $ж_{аб}$ намечаются в пределах от 0,1 до 1,0. Нижний предел соответствует потребителям с сильно меняющимися напорами в течение года и в наименее жестких точках сети. Верхний предел соответствует потребителям, расположенным вблизи ТЭЦ, у которых напоры по условиям регулирования системы остаются постоянными.

Из основных уравнений (I) и (III) следует, что

$$g_э^2 = \frac{1 - \varpi_с ж_{аб}^2}{1 - ж_{аб}^2} = \frac{h_э^р \varpi_э + h_и^р \varpi_и}{h_э^р + h_и^р},$$

откуда:

$$\varpi_э = \frac{h_э^р + h_и^р - \left(1 - ж_{аб}^2\right) h_и^р \varpi_и}{ж_{аб}^2 \left(h_э^р + h_и^р\right) + \left(1 - ж_{аб}^2\right) h_э^р}. \qquad (8)$$

Для верхнего предела жесткости, т. е. для абсолютно жесткой сети в данной точке, $ж_{аб} = 1$ и, как можно убедиться подстановкой в (8), $\omega_э = 1$ в любом случае.

Для нижнего предела жесткости, например при $ж_{аб} = 0{,}1$ получаем из (8), с использованием расчетных значений $h_э^р$ и $h_и^р$ из табл. 1, выражения для относительного перепада давлений перед зданиями.

Полученные выражения (табл. 4) представляют линейную зависимость изменений давлений в узловой точке присоединения к наружной сети от изменений давления инжектируемого потока. Указанные зависимости для двух расчетных случаев $u_р = 2{,}2$ и 1,4 на диапазоне изменения жесткостей от 1 до 0,1 показаны заштрихованными площадками на рис. 6 и 7.

Решение поставленной здесь задачи требует совместного решения уравнений (см. табл. 4) с уравнением, получаемым из зависимостей для элеваторного узла, вида

$$\omega_э = f(\omega_и, u). \qquad (9)$$

Для получения уравнения (9) в явном виде используется зависимость (1) с принятыми в п. 5 значениями коэффициентов скорости. В результате

$$\varpi_с = \frac{0{,}77}{h_с^р (1+u)^2}\left[0{,}95\sqrt{\varpi_э h_э^р + \varpi_и h_и^р} + 0{,}925u\sqrt{\varpi_и h_и^р}\right] - C\varpi_и. \qquad (10)$$

Таблица 4

$t_п^р$	130 °С	150 °С	–
$U_р$	1,4	2,2	3,2
$\omega_э$	$\omega_э = 1{,}075 - 0{,}076\omega_и$	$\omega_э = 1{,}07 - 0{,}0685\omega_и$	$\omega_э = 1{,}042 - 0{,}0458\omega_и$

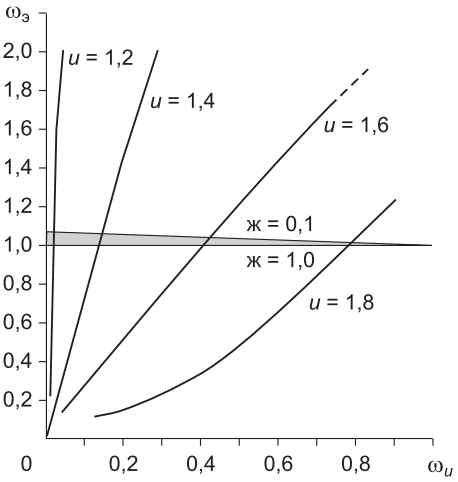


Рис. 6. График изменения давлений в наружных теплосетях при внутреннем регулировании отопительных систем – $t_{\text{п}}^{\text{р}} = 150$ °С.

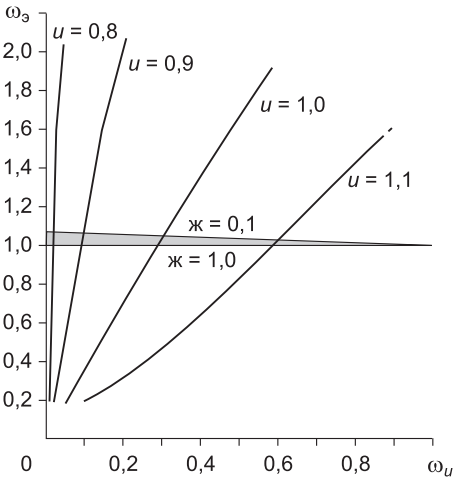


Рис. 7. График изменения давлений в наружных теплосетях при внутреннем регулировании отопительных систем – $t_{\text{п}}^{\text{р}} = 130$ °С.

Совместное решение уравнений (3) и (10) для произвольных значений u позволяет получить зависимость (9). В силу нелинейности исходных уравнений решение производится графическим методом. Его результаты изображены серией кривых на рис. 6 и 7.

Пересечением кривых (9) и прямых, соответствующих зависимостям (см. табл. 4), устанавливаются значения $\omega_э$ и ω_u в зависимости от коэффициента смешения u. Ничтожная ширина заштрихованных площадок показывает, что при внутреннем индивидуальном регулировании в теплофицированных зданиях с неавтоматизированными вводами давления перед зданиями почти не меняются[6]. Таким образом, коэффициенты смешения при сокращении расхода воды в местных системах могут быть определены из условий автоматизированного ввода, соответственно графику рис. 4. Наиболее резкое сокращение расхода воды в местной системе в связи с индивидуальным регулированием, вплоть до срыва подмешивания, не приведет к увеличению давления перед зданием более чем на 4 –7,5 %. Это очевидно из выражений (см. табл. 4) при $\omega_и = 0$. Соответственные увеличения расхода воды из теплосети будут еще меньше примерно в корень квадратный раз.

В результате очевиден вывод, что внутреннее индивидуальное регулирование практически не оказывает влияния на режим работы наружных теплосетей не только при автоматизированных, но и при неавтоматизированных вводах.

[6] Очевидно, что при $u_{\text{р}} = 3{,}2$ такой вывод имеет еще больше основания.

ВЫВОДЫ

Основной вывод заключается в том, что при внутреннем индивидуальном регулировании в теплофицированных зданиях, присоединенных к водяным теплосетям через элеваторы, будет обеспечена независимость циркуляции внутренних и внешних контуров. Циркуляция в местной отопительной системе связана через элеваторный ввод с наружными сетями только статически. В динамическом же отношении местная циркуляция при расчетных коэффициентах смешения элеватора 1,4 и выше практически независима от циркуляции в наружных теплосетях. Изменение напора перед неавтоматизированным вводом усиливает циркуляцию в местной системе и может привести к перетопам. Однако любые изменения сопротивления в местной системе, связанные с внутренним регулированием, приводят лишь к изменению коэффициента смешения и до срыва подмешивания практически не влияют на гидравлический режим в наружных сетях.

Указанное относится к отопительным системам с любой степенью жесткости – однотрубным и двухтрубным. Внутреннее индивидуальное регулирование отопительных систем – ручное и автоматизированное – решает в основном задачи установления необходимых тепловых режимов в многочисленных помещениях и не может влиять на перераспределение потоков в наружных теплосетях, например в соответствии с требованиями параллельной работы.

Внутреннее регулирование не может также решать задачи, связанные с экономией электроэнергии на перекачку теплоносителя. В связи с этим оно должно дополняться внешним центральным или местным регулированием. Указанные выше особенности гидравлического режима индивидуального регулирования в теплофицированных зданиях приведут к своеобразным условиям работы автоматизированных отопительных систем. Независимость внутренней циркуляции и снижение коэффициента подмешивания при отключении приборов одной группы помещений вызовет повышение температуры в других помещениях и может привести к “цепной реакции”, т. е. к последовательному отключению значительной части приборов в здании. Тепловая аккумулирующая способность зданий значительно упростит и облегчит положение.

Вопросы теплового режима в зданиях с автоматизированными отопительными системами явятся предметом изложения в следующей статье.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Маркович И.М.** Энергетические системы и их режимы. – М.: Госэнергоиздат, 1952.
2. **Соколов Е.Я.** Тепловые сети // ГЭИ. – 1948. – 376 с.
3. **Соколов Е.Я.** Расчет и построение характеристик пароструйных компрессоров и водоструйных насосов с цилиндрической камерой смешения // Изв. ВТИ. – 1948. – № 9.
4. **Берман Л.Д.** К расчету струйных аппаратов // Вестн. инженеров и техников. – 1938. – № 2; 1939. – № 1.
5. **Белинкий Е.А.** Расчет и эксплуатационный режим однотрубных систем водяного отопления. М.: Изд-во МКХ РСФСР, 1952.

О ПРОБЛЕМЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С НАГРУЖЕННЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ*

В.Я. Хасилев, А.П. Меренков,
Б.М. Каганович, Н.А. Виноградов

Даются общая характеристика проблемы надежности систем теплоснабжения с учетом существующей практики их проектирования и эксплуатации, а также основные положения методики расчета надежности и резервирования этих систем. Рассматриваются вопросы, относящиеся к конфликтам резервирования, параметрам и критериям надежности, эффективности нагруженного резервирования, а также к общей задаче оптимального синтеза надежных систем теплоснабжения и связанной с этим вычислительной системе для их оптимального проектирования.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема надежности теплоснабжения стала особенно актуальной в связи с заметным разрывом между большими масштабами теплофикации и централизованного теплоснабжения в нашей стране, резко возросшими протяженностью и пропускной способностью сетей, с одной стороны, и отстающим уровнем их проектирования, организационных и технических средств управления эксплуатацией и развитием – с другой.

Основные меры по повышению надежности систем связывают главным образом с улучшением качества труб, строительных конструкций, гидрозащиты и теплоизоляции, монтажных и сварочных работ и т. п. Вместе с тем обеспечение надежности должно стать одним из основных требований уже на этапе проектирования: при выборе уровня централизации теплоснабжения, конфигурации сетей, при решении вопросов размещения основных и резервных источников, кольцевания и взаиморезервирования магистралей, выбора схем присоединения потребителей и в других системных задачах.

Создание и развитие научно обоснованной методики расчета надежности и резервирования является при этом одним из первоочередных обязательных мероприятий, которое должно способствовать широкому и оперативному применению современных подходов и методов, в том числе и разработанных в СЭИ [1–9], для количественного обоснования оптимальных проектных и эксплуатационных решений в данной области. Ниже рассматриваются некоторые принципиальные вопросы методического характера, а также алгоритмического и информационного обеспечения для решения возникающих здесь научно-исследовательских и практических задач.

* Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1976. – № 1. Поступила 15. IV.1975.

СУЩЕСТВУЮЩАЯ ПРАКТИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Нынешняя практика выбора схемы тепловых сетей, диаметров труб на участках и размещения сетевых сооружений, как правило, упрощена до предела и, по существу, мало связана с оптимизацией и тем более с обеспечением надежности. Схема сети и размещение сетевых сооружений намечаются без оптимизационных расчетов, а диаметры труб назначаются в зависимости от расчетных расходов по универсальным нормативам.

Многие из этих упрощений базируются на аналитических методах, которые не приспособлены для задач проектирования реальных сложных систем, когда в системе условий помимо равенств (законов Кирхгофа) решающее значение играют ограничения в форме неравенств вида “не больше, чем” и “не меньше, чем” и требования типа “можно” и “нельзя”.

С точки зрения требований сегодняшнего дня, неизбежен переход к широкому использованию новых дискретных методов оптимального планирования (нелинейного математического программирования), реализуемых с помощью ЭВМ. Значение этих методов особенно возрастает при расширении и реконструкции существующих крупных систем теплоснабжения, а также при решении актуальных задач оптимального резервирования.

На уровне эксплуатации основным способом сравнительной оценки различных мероприятий по обеспечению и повышению надежности теплоснабжения в настоящее время стали многовариантные расчеты гидравлических режимов работы системы теплоснабжения при ряде мыслимых аварийных ситуаций. Для этой цели используются методы расчета потокораспределения в нелинейных гидравлических сетях с сосредоточенными и регулируемыми параметрами на ЭВМ средней и большой производительности.

В результате для каждой намечаемой “аварии”, т. е. варианта выключения того или иного элемента сети секционирующими задвижками, определяются давления (при заданных нормативах на пониженные расходы теплоносителя у потребителей) или фактические (для новых условий) расходы и давления в узлах сети. Эти величины сопоставляются с допустимыми (по условиям прочности и вскипания теплоносителя) давлениями, а также с допустимым снижением отпуска тепла в аварийный период. При невыполнении указанных требований эту процедуру повторяют для новых вариантов сочетания схемы, диаметров труб на участках и других элементов сети.

Таким образом, и при проектировании, и при эксплуатации игнорируется ряд принципиальных моментов, существенных для постановки и решения задач, связанных с надежностью: неодинаковая вероятность перерыва в теплоснабжении для потребителей, находящихся на различных расстояниях от источников; роль резервных источников; длительность эксплуатации участков сети; роль мероприятий по резервированию в появлении дополнительных потенциальных очагов отказов и в снижении надежности снабжения в отдельных узлах. Если к тому же учесть, что сами аварии, повреждения или выходы из строя элементов системы являются событиями случайными (их количество, место и время возникновения не

могут быть определены заранее), то становится очевидной необходимость применения и в этой области вероятностных методов теории надежности с учетом специфики систем теплоснабжения.

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ КАК ОБЪЕКТА ДЛЯ ПРИЛОЖЕНИЙ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

Известно, что практическая эффективность методов теории надежности зависит от степени учета особенностей технических систем и от правильного соотнесения их с качеством информационной базы.

Системы теплоснабжения, как и другие трубопроводные системы, обладают рядом свойств, которые существенно отличают их от объектов, традиционных для теории надежности, таких как радиотехнические устройства, аппараты и машины. Основная функция их – снабжение теплом потребителей в соответствии с индивидуальными требованиями (рассредоточенными по узлам сети и изменяющимися во времени) к качеству и количеству теплоносителя. Обобщенные характеристики надежности всей системы в целом здесь малоинформативны и не дают представления о надежности снабжения каждого из потребителей.

Эти системы представляют собой не просто совокупности связанных между собой элементов оборудования массового производства, а являются сложными инженерными сооружениями. В периоды строительно-монтажных работ и длительной эксплуатации они подвергаются воздействию множества случайных и закономерных факторов, которые невоспроизводимы на испытательных стендах и полигонах и которые невозможно идентифицировать при регистрации аварий и других нарушений в условиях эксплуатации.

Имеющаяся информация об аварийности в сетях при всей ее неполноте дает, конечно, возможность оценить общий технический уровень теплоснабжения, указать на наиболее уязвимые места. Вместе с тем эти данные об авариях и повреждениях (из-за наружной коррозии, разрывов сварных швов и других причин) не только малочисленны, но и по своей природе не совпадают с той информацией, которая необходима для получения вероятностных характеристик.

Помимо трудностей организации сбора статистической информации, пригодной для использования в надежностных расчетах, существуют проблемы, связанные с правильной постановкой задач и разработкой обоснованных методов анализа и оптимального синтеза систем теплоснабжения с учетом надежности. Достаточно отметить, что каждому уровню надежности отвечает множество структур со своими схемами и параметрами, полный перебор которых невозможен и на мощных ЭВМ.

В этих условиях представляется целесообразным создание временной методики для количественной оценки надежности и резервирования систем теплоснабжения, которая должна решить следующие задачи:

1) ввести необходимые параметры и критерии надежности, уточнить постановку вопросов и сформулировать минимальные требования к накоплению необходимой статистической информации об отказах элементов оборудования;

2) обеспечить с помощью ЭВМ достаточно высокого быстродействия возможность выполнения больших серий так называемых “параметрических” расчетов путем варьирования априорными значениями различных параметров и критериев надежности для сравнительной оценки надежности различных вариантов системы и способов резервирования;

3) стать базой для перехода к решению общей проблемы оптимального синтеза надежных систем теплоснабжения и к созданию соответствующей автоматизированной системы их оптимального проектирования.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ И РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

Основной целью расчета надежности системы теплоснабжения является достижение заданных уровней надежности снабжения потребителей при минимальных дополнительных затратах. Возможна постановка обратной задачи: определение максимально возможных уровней надежности, при которых дополнительные затраты на резервирование системы не превысят заданной величины.

Соизмерение затрат на повышение надежности со случайной величиной народнохозяйственного ущерба от аварий и нарушений нормального снабжения возможно, если он представлен в форме математического ожидания. Последнее же может быть получено лишь как результат обработки большого объема статистических данных за ряд лет, для однотипных потребителей с одинаковыми условиями производства и экономическими показателями, т. е. данных, которых мы не имеем и не будем иметь в обозримом будущем. К тому же ущерб от недоотпуска тепла на отопление, горячее водоснабжение и вентиляцию в жилищно-коммунальном секторе не может быть представлен в денежном выражении, а ущербы в промышленности, которые оцениваются по отпускным ценам продукции производства, невозможно соизмерить с “расчетными затратами” согласно методике, принятой в энергетике.

Исходя из всего сказанного, существенными моментами методики, предложенной в [1, 2], являются: параметрическое задание уровней надежности некоторыми узловыми нормами, устанавливаемыми для каждого укрупненного узла сети с учетом категории присоединяемых потребителей; отказ от математического ожидания ущерба (из-за практически непреодолимых трудностей его оценки); сочетание вероятностных методов расчета надежности путей снабжения в тепловых сетях и детерминированных методов гидравлического анализа пропускной способности этих сетей при нормальных и аварийных ситуациях.

Нормативы требуемой надежности в каждом узле j сети предлагается задавать тремя параметрами:

1) φ_j – нормой допустимого отпуска тепла в периоды аварий, определяемой как отношение минимально допустимой подачи тепла к максимальному расходу при расчетной наружной температуре;

2) R_j^{100} – нормой надежности расчетного (100%-го) теплоснабжения как вероятностью безотказной подачи тепла потребителям при нормальных условиях в течение заданного периода эксплуатации системы;

3) R_j^{φ} – нормой надежности пониженного (φ%-го) теплоснабжения как вероятностью безотказной подачи тепла потребителям во время аварий не менее φ % от его расчетного количества.

Норма φ уже неоднократно использовалась, например, при расчетах пропускной способности тепловых сетей при авариях с учетом температурного графика, принятого метода местного регулирования, возможностей поддержания циркуляции в системах отопления и централизованного отключения горячего водоснабжения во всем районе или его части.

Несмотря на то что сущность величины φ и влияние на нее основных факторов хорошо известны, соответствующие нормативы еще не разработаны и не утверждены. Что же касается вероятностных норм R^{100} и R^{φ}, то их строгое обоснование в настоящее время практически нереально. Поэтому на данном этапе специалистами должны быть зафиксированы предварительные экспертные оценки. Наличие же вычислительного инструмента (в виде комплекса программ для гидравлических расчетов и оптимизации) позволит применять эти нормативы в проектировании и эксплуатации, варьировать их значениями и установить, таким образом, относительную цену повышения надежности.

Такой "трехпараметрический" подход отвечает многообразию целей расчета надежности и специфическим особенностям систем теплоснабжения, допускающим временное снижение подачи тепла к потребителям, а также выработанным практикой приемам резервирования (наличие резервных источников, двухстороннее и многостороннее питание потребителей, дублирование трубопроводов, кольцевание сети и др.).

Уточним теперь ряд понятий и определений. Под элементом сети понимается ее часть между двумя секционирующими задвижками, выключающими элемент при отказе. Путем снабжения называется последовательность элементов сети, доставляющая тепло к узлу потребления. В зависимости от схемы каждый узел может иметь один или несколько путей снабжения. Отказ – это любое нарушение, повреждение или авария элемента, вызвавшее перерыв в снабжении любой длительности для одного или группы потребителей. Поток отказов – последовательность отказов, происходящих один за другим в случайные моменты времени.

Считается, что для тепловых сетей характерен простейший поток отказов, который удовлетворяет трем условиям: а) их взаимной независимости, т. е. отсутствию последействия; б) ординарности, т. е. невозможности появления в один и тот же момент времени (или в промежуток времени восстановления) более одного отказа; в) стационарности. Последнее условие может быть принято лишь условно и означает, что процессы старения и износа во всех звеньях системы компенсируются планово-предупредительными ремонтами, очередными реконструкциями и т. п.

Количественно надежность элемента равна вероятности его безотказной работы в течение известного периода времени τ и потому выражается функцией $R(\tau)$. Соответственно вероятность отказа этого элемента равна $1 - R(\tau)$. Другой важной характеристикой является интенсивность отказов $\lambda(\tau)$ – она определяет вероятность того, что элемент, проработавший безотказно до момента τ, откажет в следующий малый промежуток времени.

Точно так же, как это принято для многих технических устройств, работу каждого элемента можно характеризовать тремя периодами: приработочным (пусконаладочный период), нормальной эксплуатации и старения и полного износа. При расчете линейной части сети чаще всего достаточно ограничиваться периодом нормальной эксплуатации и считать, что система не является "стареющей", поскольку постоянные ремонты и другие мероприятия поддерживают поток отказов на постоянном уровне, – из этого условия и будет следовать экспоненциальный закон.

В действительности же в трубопроводной сети и ее оборудовании накапливаются старение и износ или, в более редких случаях, отдельные элементы в результате реконструкции "омолаживаются". В подобных случаях используются более общие законы, например распределение Вейбулла.

Вместе с тем здесь нет необходимости в использовании таких известных критериев надежности восстанавливаемых систем, как "коэффициент готовности", "коэффициент вынужденного простоя", "наработка на отказ" (среднее время между отказами), поскольку выход из строя системы теплоснабжения в целом не рассматривается.

При назначении узловых норм R_j^{100} и R_j^{φ} надежности теплоснабжения должно соблюдаться условие $R_j^{100} \le R_j^{\varphi}$. Эти параметры в расчетах по надежности сопоставляются с надежностью путей снабжения. В разветвленной сети (имеющей форму дерева) все узлы являются нерезервированными, и поэтому для каждого из них в принципе должно соблюдаться условие того, что вероятность его расчетного "стопроцентного" снабжения не меньше задаваемой нормы R_j^{100}. В противном случае выявляются "ненадежные узлы", и проверяется возможность их резервирования за счет увеличения числа путей снабжения или их "укорачивания". Это и достигается кольцеванием сети, использованием резервных источников теплоснабжения и другими мероприятиями.

Для резервируемого узла с несколькими путями снабжения надежность расчетного снабжения проверяется по схеме "и–и", как для последовательного (в смысле надежности) соединения. Проверка же надежности пониженного ("фи-процентного") снабжения в аварийных условиях производится по схеме "или–или", как для параллельного соединения, но по различным формулам (в зависимости от числа путей снабжения). При этом требуется знание пропускных способностей этих путей, что достигается путем расчета на ЭВМ соответствующих гидравлических режимов работы системы. Именно поэтому условно-вероятностная методика расчета надежности включает в себя методы гидравлического расчета.

КОНФЛИКТЫ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

Любое резервирование систем теплоснабжения требует дополнительных затрат по сравнению с затратами, полученными исходя из экономического оптимума, но без учета требований надежности. При этом возникают два новых конфликта, которые могут быть использованы для получения оптимальных решений по повышению надежности системы [2].

Первый из них имеет экономическую подоплеку и заключается в том, что увеличение затрат на резервирование должно повысить надежность

системы и, соответственно, снизить экономический ущерб от недоотпуска тепла потребителям во время аварий. Оптимальное решение здесь теоретически должно отвечать минимуму общих расходов, в сумму которых, наряду с приведенными расчетными затратами по системе, включается математическое ожидание случайных величин: ущерба от недоотпуска и затрат на восстановление.

Не исключено, что экономические, статистические и социологические исследования смогут в будущем обосновать такой подход и дать конкретные рекомендации. Однако в данном случае мы сталкиваемся с проблемой, по которой пока в экономической науке нет не только решения, но и надлежащей постановки. Использование категории ущерба, как уже указывалось, в настоящее время практически не представляется возможным, и в соответствии с решением Научного совета по проблемам энергетики АН СССР [10] целесообразно исключить ее из рассмотрения, а базироваться на "заданных уровнях надежности для разных категорий потребителей".

Второй конфликт, возникающий при кольцевании сетей (и, вообще, при нагруженном резервировании системы), до сих пор не использовался в известных методиках оптимизации. Его сущность заключается в следующем.

Создание кольцевых (многоконтурных) сетей с взаимным резервированием магистралей гарантирует снабжение потребителей и при авариях, но с пониженной подачей тепла. Вместе с тем каждая такая резервная линия и любой элемент оборудования, специально связанный с резервированием системы, создают дополнительные очаги потенциальных отказов.

Таким образом, кольцевание сетей повышает надежность снабжения в аварийных режимах, но вообще говоря, снижает ее для нормальных условий по отношению к некоторому подмножеству узлов сети. В этом и заключается конфликт нагруженного резервирования системы, который используется нами в задаче оптимального синтеза надежных систем теплоснабжения (см. ниже) при формировании системы физических и технических ограничений.

Именно этот конфликт в сочетании с основным экономическим конфликтом между ежегодными и единовременными затратами является основой для построения итеративных методов оптимального синтеза систем с нагруженным резервированием.

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАГРУЖЕННОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ

В общей теории надежности сложных систем различают принципы нагруженного ("горячего") и ненагруженного ("холодного") резервирования (дублирования). При нагруженном резервировании основные и резервные элементы неразличимы, они совместно работают в условиях нормальных режимов и полностью (или частично) взаимозаменяемы при аварийных ситуациях, ремонтах и пр.

Реализация этих принципов проявляется, в частности, в так называемых обезличенных и секционированных схемах эксплуатации. В первом случае задвижки на перемычках между магистралями в нормальных режимах открыты, во втором – закрыты. Таким образом, сети работают по обезличенной схеме, когда независимо от числа источников отдельные груп-

пы потребителей снабжаются сразу по нескольким путям. При этом до проведения гидравлических расчетов или измерений неизвестно, какая доля поступает по каждому пути.

Для водопроводных сетей работа по обезличенной схеме является традиционной, она предусматривается уже на стадии проектирования и осуществляется в условиях эксплуатации. Тепловые же сети наоборот, в соответствии с официальными рекомендациями, работают за исключением Новосибирска, Хабаровска и некоторых других городов, по секционированной (разветвленной) схеме. Такое положение объясняется тем, что при этом можно относительно быстро обнаружить аварийную магистраль, сократить аварийную утечку и облегчить наладку гидравлических режимов.

Такой упрощенный подход к данной проблеме, однако, изживает себя. Перевод систем теплоснабжения на обезличенную схему дает целый ряд очевидных гидравлических и экономических преимуществ, а именно: а) снижается общее гидравлическое сопротивление сети и, соответственно, сокращается расход электроэнергии на перекачку; б) при проектировании новых и особенно при расширении существующих систем существенно снижаются затраты на резервирование за счет уменьшения диаметров труб на отдельных магистралях; в) упрощается управление аварийными гидравлическими режимами из-за уменьшения числа необходимых переключений секционирующими задвижками в момент аварий; г) повышается маневренность системы в периоды аварий благодаря более низким располагаемым напорам в источниках и др.

Перечисленные же выше преимущества секционированной схемы будут неизбежно уменьшаться с усовершенствованием средств и методов управления. Например, трудности наладки многоконтурных сетей, оборудованных регуляторами расхода и давления, уже в настоящее время успешно преодолеваются с помощью расчетов гидравлических режимов их работы на ЭВМ. С внедрением же автоматизированного управления системами теплоснабжения, которое возьмет на себя телеконтроль и управление задвижками, будет решена и проблема дистанционного обнаружения аварий в тепловых сетях.

ОБ ОПТИМАЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ НАДЕЖНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Широкая автоматизация планирования, проектирования и управления, которая проводится в настоящее время во всех областях народного хозяйства, не может не захватить и практику проектирования и эксплуатации теплофикационных систем и систем централизованного теплоснабжения. Несомненно, что получат массовое и систематическое применение современные математические методы и ЭВМ, прежде всего для оптимизации схем и параметров систем теплоснабжения, включая выбор конфигурации сети, диаметров труб и напоров, размещения подстанций и других сетевых сооружений по трассе с учетом ее рельефа, а также для анализа нормальных и аварийных гидравлических режимов и решения других задач.

Вместе с тем данная проблема не ограничивается простым переходом от разрозненного и эпизодического использования ЭВМ, которое сейчас

имеет место, к постоянному их применению на практике. Основная трудность заключается в том, что эти задачи, во-первых, представляют собой лишь отдельные фрагменты в проблеме автоматизации проектирования и эксплуатации и, во-вторых, все они ставятся и решаются в отрыве от вопросов повышения надежности снабжения потребителей с помощью оптимальных мероприятий по системному резервированию.

В связи с этим актуальными являются две взаимосвязанные проблемы: 1) обоснованная постановка общей задачи об оптимальном синтезе надежных систем теплоснабжения и разработка для ее решения таких вычислительных процессов, которые автоматически реализовали бы принципы оптимальности и надежности, и 2) автоматизация всего процесса оптимального проектирования на основе рационального сочетания работы ЭВМ и инженера-проектировщика.

Представленная выше методика количественной оценки надежности и нагруженного резервирования систем теплоснабжения позволяет по-новому подойти к оптимальному синтезу этих систем и взять за основу следующие методические положения:

1) при постановке общей задачи – исключение из рассмотрения математического ожидания ущербов и включение в общую систему из физических условий и технических требований дополнительных неравенств, описывающих задаваемые нормативные требования к надежности снабжения в представительных узлах ее проектной схемы;

2) при разработке приближенных методов решения – декомпозиция общей задачи на ряд типовых подзадач и построение итерационных процессов их последовательного пересчета;

3) при рассмотрении отдельных подзадач – адаптивный характер разрабатываемых математических моделей и алгоритмов, заключающийся в обязательном учете существующей части системы и ограниченных дискретных возможностей для ее развития и реконструкции.

Именно на этой основе в СЭИ СО АН СССР разрабатывается вычислительная система (на языке “Фортран”, для ЭВМ БЭСМ-6) для целей оптимального проектирования систем теплоснабжения с учетом надежности.

ВЫВОДЫ

1. Технико-экономические расчеты по выбору схем и параметров систем теплоснабжения, по их оптимальному резервированию и решению других системных задач должны включать расчет и анализ надежности сопоставляемых вариантов. В связи с этим необходима временная методика расчета надежности и резервирования, обоснованная с точки зрения вероятностных методов теории надежности и учитывающая особенности систем теплоснабжения, а также уровень статистической информации об отказах.

2. Одной из первоочередных задач является разработка нормативных уровней надежности снабжения для потребителей различных категорий, включающих нормы допустимого снижения теплоснабжения в периоды аварий и вероятностные нормы расчетного и пониженного снабжения.

3. Отсутствие или недостаточность статистической информации не исключает возможности получения сравнительных характеристик надежно-

сти по изложенной здесь методике. Использование их в практике расчетов позволит повысить требования к качеству трубопроводов, строительных и изоляционных изделий, а также различных элементов оборудования сетей.

4. Для крупных систем теплоснабжения переход на обезличенную схему с нагруженным резервированием является радикальным средством уменьшения затрат на аварийное резервирование и тепловые сети в целом.

5. Первоочередной задачей дальнейших исследований является разработка общих алгоритмов оптимального синтеза надежных систем теплоснабжения, реализующих в едином вычислительном процессе принципы оптимальности и надежности. Соответствующие вычислительные системы составят основу алгоритмического обеспечения для автоматизации оптимального проектирования новых развивающихся и реконструируемых теплофикационных систем и систем централизованного теплоснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Хасилев В.Я., Такайшвили М.К.** Об основах методики расчета надежности и резервирования тепловых сетей // Теплоэнергетика. – 1972. – № 4. – С. 14–19.
2. **Хасилев В.Я.** О методике оптимизации резервируемых систем водоснабжения с учетом критериев и параметров надежности // Проблемы надежности систем водоснабжения: Тез. докл. Всесоюз. конф. – М.: МИСИ им. В.В. Куйбышева, 1973. – С. 16–29.
3. **Хасилев В.Я.** О применении математических методов при проектировании и эксплуатации трубопроводных систем // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1971. – № 2. – С. 18–27.
4. **Хасилев В.Я., Меренков А.П., Сумароков С.В.** О выборе диаметров труб разветвленных тепловых сетей с использованием ЭВМ // Теплоэнергетика. – 1966. – № 6. – С. 60–65.
5. **Некрасова О.А., Хасилев В.Я.** Оптимальное дерево трубопроводной сети // Экономика и математические методы. – 1970. – Т. 4, № 3. – С. 427–432.
6. **Меренков А.П., Светлов К.С., Такайшвили М.К., Хасилев В.Я.** Об автоматизированных системах программ для расчета гидравлических режимов трубопроводных сетей // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1973. – № 3. – С. 126–131.
7. **Меренков А.П.** Дифференциация методов расчета гидравлических цепей // Вычислит. математика и матем. физика. – 1973. – Т. 13, № 5.– С. 1237–1248.
8. **Хасилев В.Я., Каганович Б.М., Виноградов Н.А., Сеннова Е.В.** Об эффективности нагруженного резервирования в тепловых сетях // Теплоэнергетика. – 1974. – № 7. – С. 66–71.
9. **Хасилев В.Я., Каганович Б.М.** Вопросы оптимального проектирования тепловых сетей с учетом надежности // Пятидесятилетие теплофикации СССР: Тез. докл. науч.-техн. конф. – Л.: НТОЭиЭП, 1974.
10. **Решение** Бюро Секции кибернетики и математического моделирования Научного совета по комплексным проблемам энергетики ОФТПЭ АН СССР об исходных научно-методических положениях оценки надежности в энергетике от 2 апреля 1969 г. // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1969. – № 4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Издание настоящей книги было продиктовано искренним желанием в год 100-летнего юбилея со дня рождения почтить память замечательного человека и большого ученого Виктора Яковлевича Хасилева, поделиться воспоминаниями и оставить память об этом неординарном, мужественном человеке будущему поколению. Переосмысление достигнутого необходимо для того, чтобы успешно продолжать и развивать сформулированные им научные задачи и направления исследований.

Представленные в книге воспоминания и научное наследие отражают наиболее значимые линии жизни профессора В.Я. Хасилева, в которой главное место занимают семья, наука, подготовка инженерных и научных кадров. Они раскрыты здесь в неравной степени, не все задуманное удалось реализовать, но даже то, что нашло отражение, характеризует Виктора Яковлевича как высоконравственного человека, сочетающего в себе хорошего семьянина, любящего отца, широко эрудированную, творческую личность, человека, беззаветно преданного науке, внесшего заметный вклад в ее становление и развитие в Сибири.

Люди, которым посчастливилось работать с В.Я. Хасилевым, познакомиться с его трудами, знают, что это был настоящий ученый, очень требовательный к себе. А для учеников и всех близко знавших Виктора Яковлевича – это был простой, скромный и очень добрый человек, готовый всегда прийти на помощь. Именно таким он предстает перед нами в воспоминаниях родных, близких, коллег. Человек, обладающий неиссякаемым чувством юмора, он живо интересовался и не оставался безучастным ко всему, что происходило вокруг. Глубокое знание литературы, музыки, истории, живописи, философии, гуманитарных наук способствовали пониманию сложных, не формализуемых экономических и социальных процессов, которые протекают в обществе и экономике страны. Они органично дополняли энергетические знания и являются образцом не только научной, но и общечеловеческой культуры.

Широта знаний и оригинальность мышления В.Я. Хасилева всегда привлекали к нему интересных людей, поэтому не удивительно, что жизнь свела его с ярчайшими представителями энергетической науки и практики, с одной стороны, обладателями высочайшего творческого потенциала, а с другой – высоконравственными, высокоэрудированными, интеллигентными, образованными людьми, такими как академики Л.В. Канторович, Г.М. Кржижановский, А.В. Винтер, Л.А. Мелентьев, чл.-кор. АН СССР В.И. Вейц, проф. Б.Л. Шифринсон и др. О некоторых из них рассказано в специальном разделе в книге.

В.Я. Хасилева с полным правом можно назвать и профессиональным инженером, и физиком, и прикладным математиком, который умел наполнять физическим и инженерным содержанием формальные математические соотношения и методы. Поражает широта его научных интересов,

о чем свидетельствуют представленные в книге его работы, имеющие основополагающий характер в области теплоснабжения, общеэнергетических исследований, моделирования, расчета и оптимизации трубопроводных систем (ТПС) различного назначения, которые адекватно отражают полученные им результаты и продолжают сохранять свою актуальность в настоящее время.

Главным научным достижением В.Я. Хасилева является создание единой теории гидравлических цепей (ТГЦ) как научно-технической дисциплины и самостоятельной области исследований. В физико-техническом плане эту теорию можно определить как системную гидравлику, в технико-экономическом – как исследование операций применительно к ряду областей энергетики, трубопроводного транспорта, инженерных систем и инфраструктуры зданий. Опираясь на междисциплинарный, межотраслевой характер, она стала новым направлением системных исследований в энергетике, традиционно развиваемых в ИСЭМ (СЭИ) СО РАН с начала его существования. До работ В.Я. Хасилева вопросы теории и методов расчета гидравлических систем различного типа развивались независимо друг от друга и базировались на возможностях ручного счета. Им были заложены основы использования векторных и матричных обозначений и теории графов для описания схем движения жидкости и методов их расчета, раскрыты математическое содержание известных методов расчета потокораспределения и их ограниченная сходимость, разработаны общий метод контурных расходов для расчета гидравлических цепей, а также геометрические интерпретации гидравлических режимов и метод линеаризации квадратичных форм, установлена связь нелинейного программирования с теорией и методами расчета и оптимизации гидравлических цепей и др. К настоящему времени теория гидравлических цепей убедительно показала свою жизненность и практичность. Разработанные в рамках теории методический аппарат и вычислительный инструментарий широко используются при проектировании систем тепло-, водо-, нефте-, газоснабжения, водоводов и других технических систем. Фундаментальность и ценность сформулированной В.Я. Хасилевым теории гидравлических цепей заключается и в том, что она остается открытой для развития как в части теоретических исследований, так и ее приложений. Дальнейшие исследования, проводимые в рамках теории, олжны быть направлены на расширение сферы применения методов ТГЦ, развитие математических моделей применительно к различным типам гидравлических цепей, методов расчета и оптимизации трубопроводных систем со сложной иерархической структурой с учетом разнообразия физических процессов, происходящих в транспортируемой среде, на исследование новых свойств ТПС с целью их учета в моделях анализа и оптимального синтеза систем, развитие методических подходов многоуровневого моделирования, методов обеспечения рационального сочетания элементного и структурного резервирования, разработку гибких информационно-технологических платформ для решения задач управления развитием и функционированием ТПС и т. п.

Научная деятельность В.Я. Хасилева дополнялась масштабной преподавательской работой по подготовке инженерных и научных кадров. Не

обладая даром организатора, он, благодаря своей многогранной личности, широте научных интересов и направлений исследований, сплотил вокруг себя творческий коллектив учеников и последователей. Созданная им более 50 лет назад в ИСЭМ (СЭИ) СО РАН научная школа по ТГЦ переросла границы института и имеет последователей в других научных, проектных организациях и вузах России и стран СНГ. В книге эта школа представлена в виде созвездия В.Я. Хасилева.

Настоящее издание предоставляет прекрасную возможность познакомиться с творческой, разносторонней личностью, с научным наследием В.Я. Хасилева и будет способствовать, чтобы оно стало достоянием науки и инженерной практики.

ПРИЛОЖЕНИЯ

РАЗВИТИЕ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ В.Я. ХАСИЛЕВА–А.П. МЕРЕНКОВА (защиты диссертаций)

№ п.п.	Ф.И.О.	Год защты	Место защиты	Название работы	Место выполнения работы	Руководитель	Специальность**
1	Меренков А.П.	1963[1]	Новосибирск, Объединенный совет по физ.-мат. и техн. наукам СО АН СССР	Методы комплексной оптимизации разветвленных тепловых сетей с применением электронных вычислительных машин	Иркутск, СЭИ	Хасилев В.Я.	–
2	Кошелев А.А.	1966	Москва, МИСИ	Исследование нестационарных режимов в системах теплоснабжения с использованием гидравлического интегратора и ЭВМ	»	»	–
3	Хасилев В.Я.*	1966	Новосибирск, Объединенный совет по физ.-мат. и техн. наукам СО АН СССР	Элементы теории гидравлических цепей	»	–	–
4	Светлов К.С.	1967	Москва, МИСИ	Исследование воздухообме-на в зданиях с использованием ЭВМ	»	Хасилев В.Я.	–
5	Некрасова О.А.	1970	Москва, ЦЭМИ АН СССР	Оптимальная трассировка трубопроводных сетей	Москва, ЦЭМИ АН СССР	»	08.607 – Математические методы в эко-номических исследованиях
6	Каганович Б.М.	1971	Москва, МЭИ	Методы оптимизации тепловых сетей при совместной работе ТЭЦ и котельных	Иркутск, СЭИ	»	05.270 – Общая энергетика
7	Такайшвили М.К.	1971	Новосибирск, Объединенный совет по физ.-мат. и техн. наукам СО АН СССР	Методы расчета аварийных режимов, надежности и резервирования тепловых сетей	»	Хасилев В.Я.	»

№ п.п.	Ф.И.О.	Год защты	Место защиты	Название работы	Место выполнения работы	Руководитель	Специальность**
8	Сумароков С.В.	1972	Москва, Академия коммунального хозяйства	Вопросы оптимального размещения аккумулирующих емкостей в развивающихся системах коммунального водоснабжения	»	Минц Д.М.	05.483 – Водоснабжение и канализация
9	Балышев О.А.	1974	Москва, МИНХ и ГП	Исследование тепловых режимов скважин и промысловых газопроводов в северных условиях методами математического моделирования	»	Кривошеин Б.Л. Каратаев Ю.П.	05.15.08 – Разработка и эксплуатация нефтяных, га-зовых и газоконденсатных месторождений
10	Меренков А.П.*	1974	Новосибирск, ВЦ СО АН СССР	Математические модели и методы для анализа и оптимального проектирования трубопроводных систем	»	–	05.13.03 – Исследование операций и системный анализ
11	Сеннова Е.В.	1975	Новосибирск, НИСИ	Методика анализа надежности развивающихся систем теплоснабжения	»	Хасилев В.Я.	05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение, акустика и осветительная тех-ника
12	Горская Н.И.	1977	Иркутск, СЭИ	Разработка метода выявления аварийных ситуация в трубопроводных системах энергетики и его применение	»	»	05.14.01 – Общая энергетика
13	Сидлер В.Г.	1977	Томск, Политехнический институт	Разработка и применениеметодов идентификации параметров гидравлических сетей	»	Меренков А.П. Хасилев В.Я.	05.13.01 – Техническая кибернетика и теория информации
14	Алексеева Г.В.	1977	Москва, МИНХ и ГП	Исследование тепловых режимов магистральных трубопроводов в условиях мерзлых грунтов с помощью разностных моделей	»	Кошелев А.А.	05.14.01 – Общая энергетика

15	Абрамова Х.Я.	1979	Иркутск, СЭИ	Разработка и применение методов оценки предельных режимов газоснабжающих систем при планировании и управлении топливоснабжением района	Иркутск, СЭИ, Рига, ФЭИ Латв. АН	Меренков А.П.	»
16	Яськова Э.Н.	1979	Киев	Исследование и создание способов организации информационного и программного обеспечения для автоматизированной системы плановых расчетов	Иркутск, СЭИ	»	05.13.06 – Автоматизированные системы переработки информации и управления
17	Юдкин Э.Л.	1979	Иркутск, СЭИ	Методы повышения эффективности эксплуатации систем промышленного теплоснабжения районов Сибири и Севера	Новосибирск, Сибтехэнерго	Хасилев В.Я.	05.14.01 – Общая энергетика
18	Меренкова Н.Н.	1980	Новосибирск, Институт математики СО АН СССР	Разработка и применение математических моделей для оптимизации производительностей источников и конфигурации гидравлических сетей на основе их избыточных схем	Иркутск, СЭИ	»	05.13.01 – Техническая кибернетика и теория информации
19	Морев А.А.	1982	Москва, МИНХ и ГП	Разработка и применение методов расчета многониточных нефтепроводов как гидравлических цепей с регулируемыми параметрами	»	Меренков А.П.	05.15.07 – Сооружение и эксплуатация нефтегазопромыслов, нефтегазопроводов, нефтебаз и хранилищ
20	Ощепкова Т.Б.	1983	Новосибирск, Институт математики СО АН СССР	Оптимизация разветвленных и многоконтурных трубопроводных систем	»	»	05.13.01 – Техническая кибернетика и теория информации
21	Храмов А.В.	1983	»	Оптимальный синтез многоконтурных систем с нагруженным резервированием	»	»	05.13.01 – Техническая кибернетика и теория информации

№ п.п.	Ф.И.О.	Год защты	Место защиты	Название работы	Место выполнения работы	Руководитель	Специальность**
22	Тарабрин В.А.	1983	Москва, ВНИИгаз	Методы расчета нестационарных тепловых режимов низкотемпературных изотермических хранилищ сжиженных газов	»	Одишария Г.Э.	05.15.07 – Сооружение и эксплуатация нефтегазопромыслов, нефтегазопроводов, нефтебаз и газонефтехранилищ
23	Чупин В.Р.	1984	Фрунзе, Институт автоматики АН Киргиз.ССР	Схемно-структурная оптимизация систем многопрофильных каналов	»	Меренков А.П.	05.13.01 – Техническая кибернетика и теория информации
24	Стенников В.А.	1985	Иркутск, СЭИ	Оптимизация развиваемых и реконструируемых теплоснабжающих систем	»	»	0.5.14.01
25	Новицкий Н.Н.	1986	Иркутск, СЭИ	Разработка и применение методов идентификации трубопроводных систем как гидравлических цепей с переменными параметрами	»	»	05.13.16 – Применение вычислит. техники, мат. моделирования и мат. методов в научных исследованиях
26	Ефремов В.А.	1987	Иркутск, СЭИ	Сетевые потоковые модели для управления функционированием и развитием единой системы газоснабжения (ЕСГ)	Москва, ВНИИгаз	»	»
27	Мурашкин Г.Н.	1989	Москва, ВНИИгаз	Разработка и применение методики автоматизированного проектирования систем каналов	Москва, СОЮЗ-Гипроводхоз	»	05.23.16 – Строительство мелиоративных систем
28	Кучев В.А.	1989	Иркутск, СЭИ	Повышение надежности теплоснабжающих систем на основе совершенствования и нормирования процессов восстановления при отказах теплопроводов	Иркутск, СЭИ	Сеннова Е.В.	05.14.01 – Общая энергетика

29	Ленденев В.С.	1989	Ленинград, ЛИИЖТ	Методы оптимизации развивающихся систем водоотведения	Иркутск, Иркутскгражданпроект	Аюкаев Р.И.	05.23.04 – Водоснабжение и канализация
30	Сеннова Е.В.*	1990	Иркутск, СЭИ	Оптимизация развития и реконструкции теплоснабжающих систем с учетом надежности	Иркутск, СЭИ	–	05.14.01 – Энергетические системы и комплексы
31	Каганович Б.М.*	1991	»	Исследование энергетических технологий на основе методов термодинамики и теории цепей	»	–	05.13.16 – Применение выч. техники, мат. моделирования и мат. методов в научных исследованиях
32	Чупин В.Р.	1991	Москва, ВНИИВодГео	Оптимизация развивающихся систем подачи и распределения воды	Москва	Меренков А.П.	05.23.04 – Водоснабжение и канализация
33	Сумароков С.В.*	1992	Иркутск, СЭИ	Оптимальный синтез многоконтурных систем централизованного теплоснабжения	Иркутск, СЭИ	–	»
34	Сухарев Г.М.	1992	»	Оптимизация параметров магистральных газопроводов с учетом нетрадиционных факторов	Москва, ВНИИгаз	Меренков А.П.	»
35	Шлафман В.В.	1993	»	Развитие моделей, методов и алгоритмов для адаптивной идентификации трубопроводных систем	Иркутск, СЭИ	Сидлер В.Г. Новицкий Н.Н.	»
36	Шалагинова З.И.	1995	»	Разработка и применение методов расчета теплогидравлических режимов в системах теплоснабжения с многоступенчатым регулированием	»	Меренков А.П.	»

№ п.п.	Ф.И.О.	Год защты	Место защиты	Название работы	Место выполнения работы	Руководитель	Специальность**
37	Малевская М.Б.	1995	Иркутск, ИрГТУ	Развитие методики поверочных гидравлических расчетов систем подачи и распределения воды	Иркутск, ИрГТУ	Чупин В.Р.	05.23.04 – Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов
38	Балышев О.А.*	1998	Иркутск, СЭИ	Нестационарные модели в теории гидравлических цепей	Иркутск, СЭИ	–	05.13.16 – Применение выч. техники, мат. моделирования и мат. методов в научных исследованиях
39	Новицкий Н.Н.*	1999	»	Развитие теории и методов сетевой идентификации трубопроводных систем	»	–	»
40	Токарев В.В.	2000	»	Разработка математических моделей и программных комплексов для расчета, анализа и контроля режимов работы трубопроводных систем при диспетчерском управлении	»	Новицкий Н.Н.	05.13.16 – Применение выч. техники, мат. моделирования и мат. методов в научных исследованиях
41	Стенников В.А.*	2002	»	Методы комплексного преобразования систем централизованного теплоснабжения в новых экономических условиях	»	–	05.14.01– Энергетические системы и комплексы
42	Мелехов Е.С.	2003	Иркутск, ИрГТУ	Комплексная оптимизация источников и трубопроводных систем группового водоснабжения	Иркутск, ИрГТУ	Чупин В.Р.	05.23.04 – Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов
43	Гребнева О.А.	2005	Иркутск, СЭИ	Исследование задач и разработка алгоритмов планирования условий проведения активной идентификации трубопроводных систем	»	Новицкий Н.Н.	05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

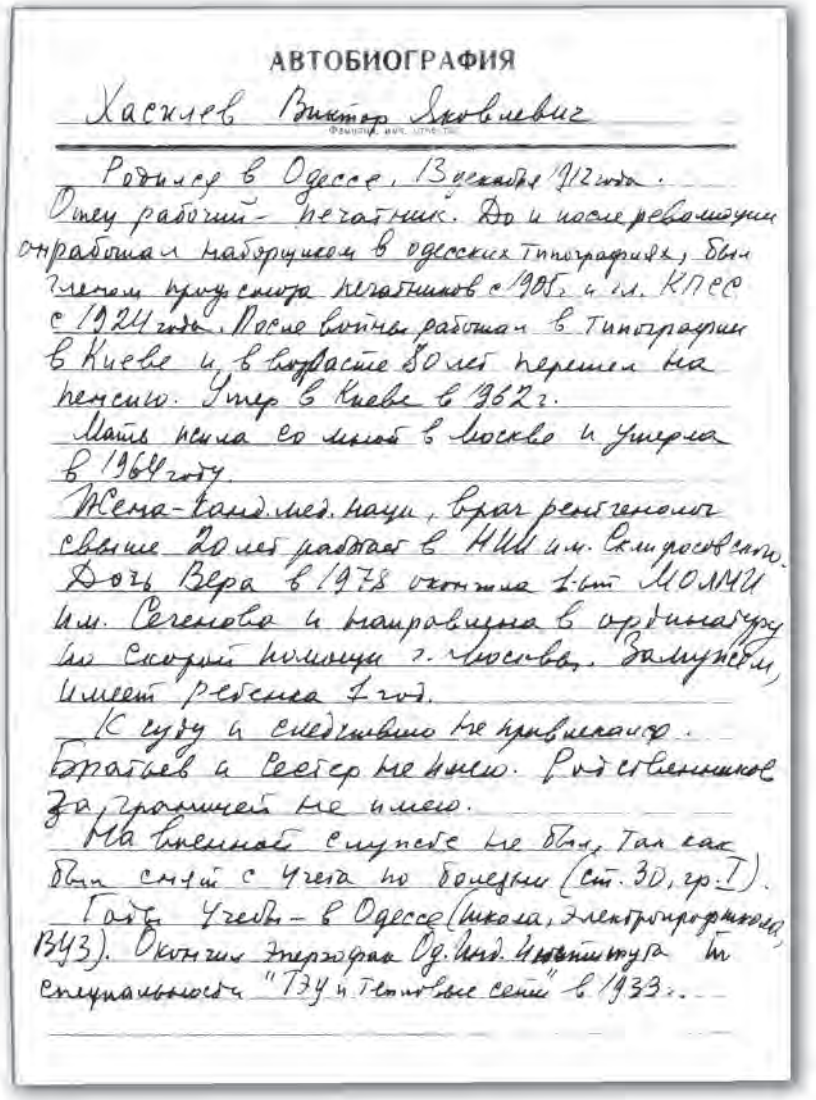
44	Епифанов С.П.	2006	ИГУ	Приложение теории двойственности к моделям потокораспределения	Иркутск, СЭИ	Зоркальцев В.И.	05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ
45	Алексеев А.В.	2007	»	Разработка методов и инструментальных средств для расчета технологически допустимых режимов работы трубопроводных сетей	»	Новицкий Н.Н.	05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ
46	Стенников Н.В.	2009	»	Методы комплексной реконструкции теплоснабжающих систем при совместной работе источников на единые тепловые сети	»	Сеннова Е.В.	05.14.01 – Энергетические системы и комплексы
47	Вантеева О.В.	2011	»	Вероятностные модели и методы анализа режимов функционирования трубопроводных систем	»	Новицкий Н.Н.	05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Примечание. * Докторские диссертации, без официального научного руководителя.
** Прочерк в столбце 8 – специальность в Дипломе ВАК не указана.

В тексте использованы сокращения:

ВНИИгаз – Всесоюзный научно-исследовательский институт природных газов
ИрГТУ – Иркутский государственный технический университет
ЛИИЖТ – Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта
МИНХиГП – Московский институт нефтехимической и газовой промышленности им. И.М. Губкина
МИСИ и НИСИ – Московский и Новосибирский инженерно-строительные институты им. В.В. Куйбышева
ФЭИ – Физико-энергетический институт
МЭИ – Московский энергетический институт им. В.М. Молотова
ЦЭМИ – Центральный экономико-математический институт

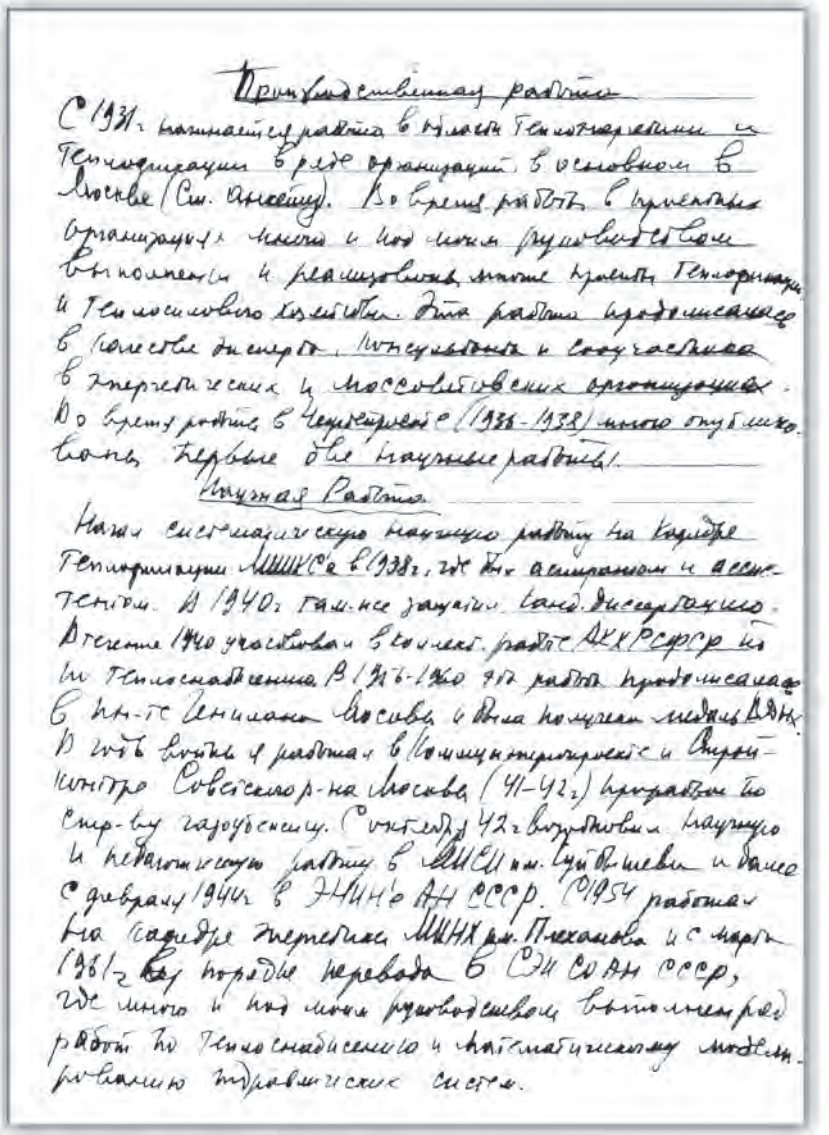
АВТОБИОГРАФИЯ В.Я. ХАСИЛЕВА



АВТОБИОГРАФИЯ

Хасилев Виктор Яковлевич
Фамилия, имя, отчество

Родился в Одессе, 13 декабря 1912 года.
Отец рабочий – печатник. До и после революции отработал наборщиком в одесских типографиях, был членом профсоюза печатников с 1905 г. и п. КПСС с 1924 года. После войны работал в Типографии в Киеве и, в возрасте 80 лет перешел на пенсию. Умер в Киеве в 1962 г.
Мать жила со мной в Москве и умерла в 1964 году.
Жена – канд. мед. наук, врач рентгенолог свыше 20 лет работает в НИИ им. Семашко.
Дочь Вера в 1978 окончила 1-ый МОЛМИ им. Сеченова и направлена в ординатуру на скорую помощь г. Москвы. Замужем, имеет ребенка 1 год.
К суду и следствию не привлекался.
Братьев и сестер не имею. Родственников за границей не имею.
На военной службе не был, так как был снят с учета по болезни (ст. 30, гр. I).
Годы учебы – в Одессе (школа, электропрофтехшкола, ВУЗ). Окончил Электрофак Од. инд. института по специальности "ТЭУ и телефонные сети" в 1933 г.

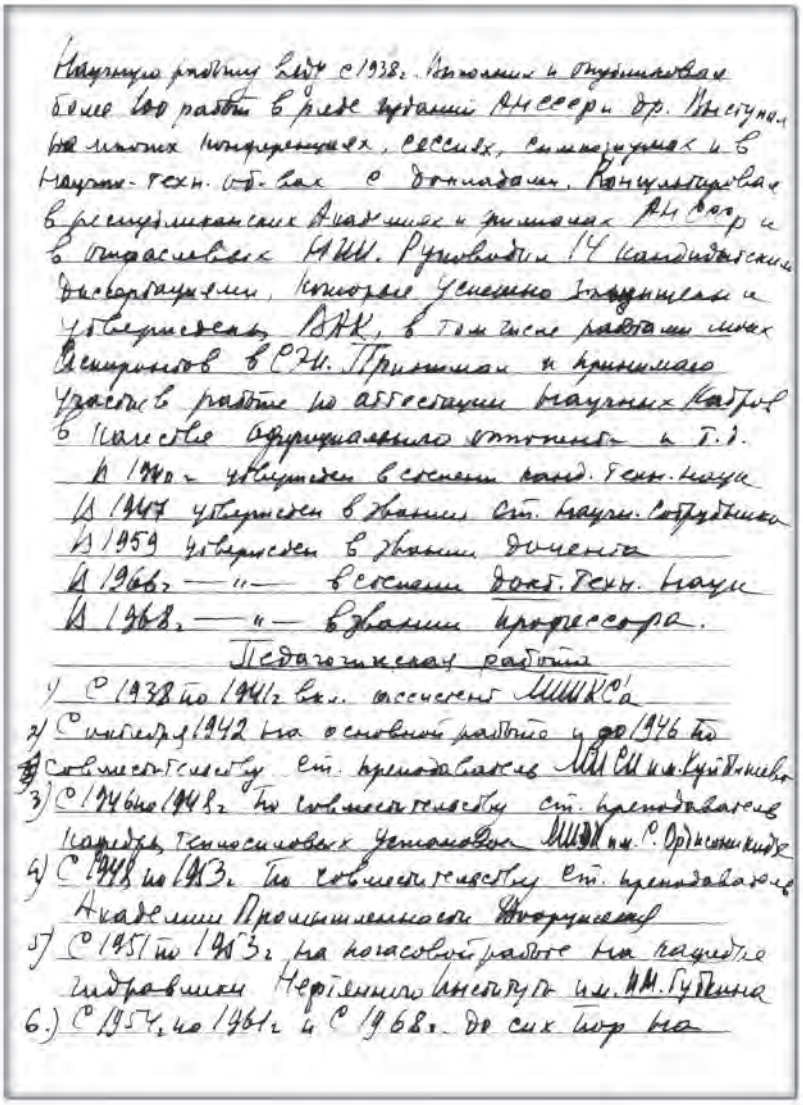


Производственная работа

С 1931 г. начинается работа в области теплоэнергетики и теплофикации в ряде организаций, в основном в Москве (Ст. Анкету). Во время работы в проектных организациях много и под моим руководством выполнены и реализованы многие проекты теплофикации и теплосилового хозяйства. Эта работа продолжалась в качестве эксперта, консультанта и сооучастника в энергетических и массовитовских организациях. Во время работы в Чеустпроекте (1936-1938) много опубликованы первые две научные работы.

Научная Работа

Начал систематическую научную работу на кафедре теплофикации МИИКС'а в 1938 г., где был аспирантом и ассистентом. В 1940 г. там же защитил канд. диссертацию. В течение 1940 участвовал в коллект. работе АКХ РСФСР по теплоснабжению. В 1956-1960 эта работа продолжалась в пн-те Генилана Москвы и была получена медаль ВДНХ. В годы войны я работал в Коммунэнергопроекте и Стройконторе Советского р-на Москвы (41-42 г.) прорабом по стр-ву газоубежищ. С октября 42 г. возобновил научную и педагогическую работу в МИСИ им. Куйбышева и далее с февраля 1944 г. в ЭНИН'е АН СССР. С 1954 работал на кафедре энергетики МИНХ им. Плеханова и с марта 1961 г. в порядке перевода в СЭИ СО АН СССР, где много и под моим руководством выполнен ряд работ по теплоснабжению и математическому моделированию гидравлических систем.

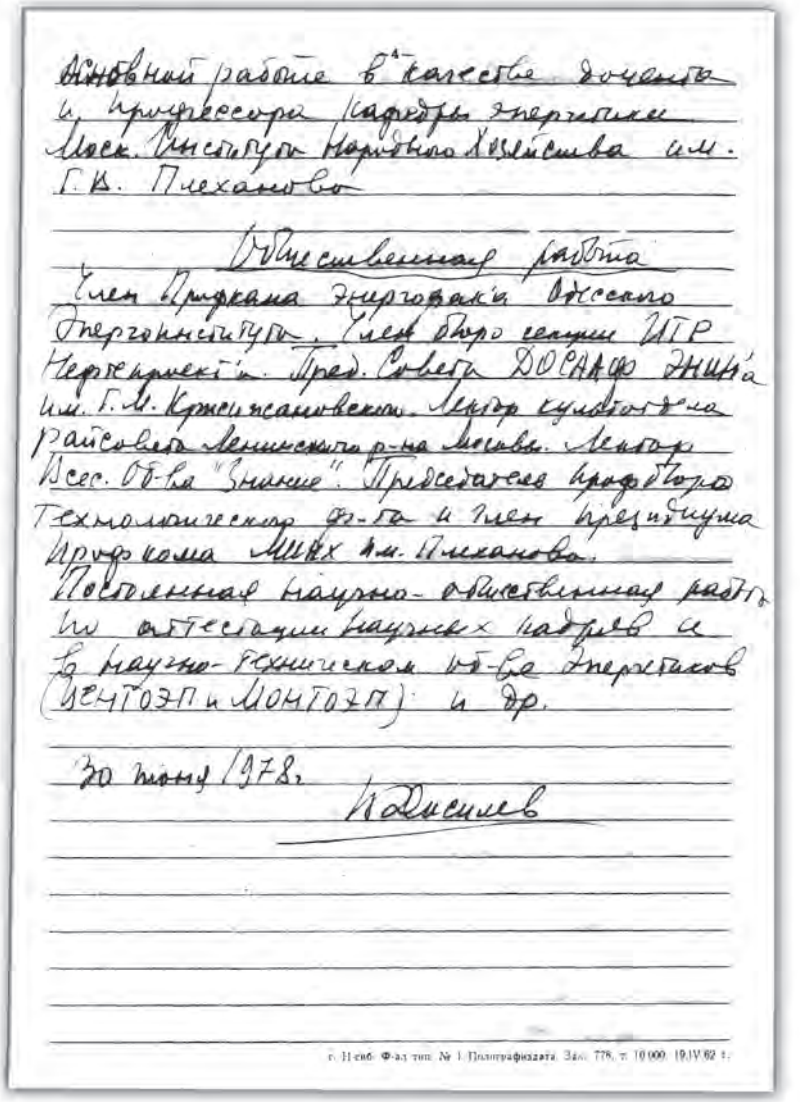


Научную работу веду с 1938 г. Выполнил и опубликовал более 100 работ в ряде изданий АН СССР и др. Выступал на многих конференциях, сессиях, симпозиумах и в научно-техн. об-вах с докладами. Консультировал в республиканских Академиях и филиалах АН СССР и в отраслевых НИИ. Руководил 14 кандидатскими диссертациями, которые успешно защищены и утверждены ВАК, в том числе работами моих аспирантов в СЭИ. Принимал и принимаю участие в работе по аттестации научных кадров в качестве официального оппонента и т.д.

В 1940 г. утвержден в степени канд. техн. наук
В 1947 утвержден в звании ст. научн. сотрудника
В 1959 утвержден в звании доцента
В 1966 г. — " — в степени докт. техн. наук
В 1968 г. — " — в звании профессора.

Педагогическая работа

1) С 1938 по 1941 г. вкл. ассистент МИИКС'а
2) С октября 1942 на основной работе и до 1946 по совместительству ст. преподаватель МИСИ им. Куйбышева
3) С 1946 по 1948 г. по совместительству ст. преподаватель кафедры теплосиловых установок МИЭИ им. С. Орджоникидзе
4) С 1948 по 1953 г. по совместительству ст. преподаватель Академии Промышленности Вооружения
5) С 1951 по 1953 г. на почасовой работе на кафедре гидравлики Нефтяного Института им. И.М. Губкина
6.) С 1954 г. по 1961 г. и С 1968 г. до сих пор на



основной работе в качестве доцента и профессора кафедры энергетики Моск. Института Народного Хозяйства им. Г.В. Плеханова

Общественная работа

Член Профкома Энергофак'а Одесского Энергоинститута. Член бюро секции ИТР Нефтепроект'а. Пред. Совета ДОСААФ ЭНИН'а им. Г.М. Кржижановского. Лектор культотдела райсовета Ленинского р-на Москвы. Лектор Всес. Об-ва "Знание". Председатель профбюро Технологического ф-та и член президиума Профкома МИНХ им. Плеханова.

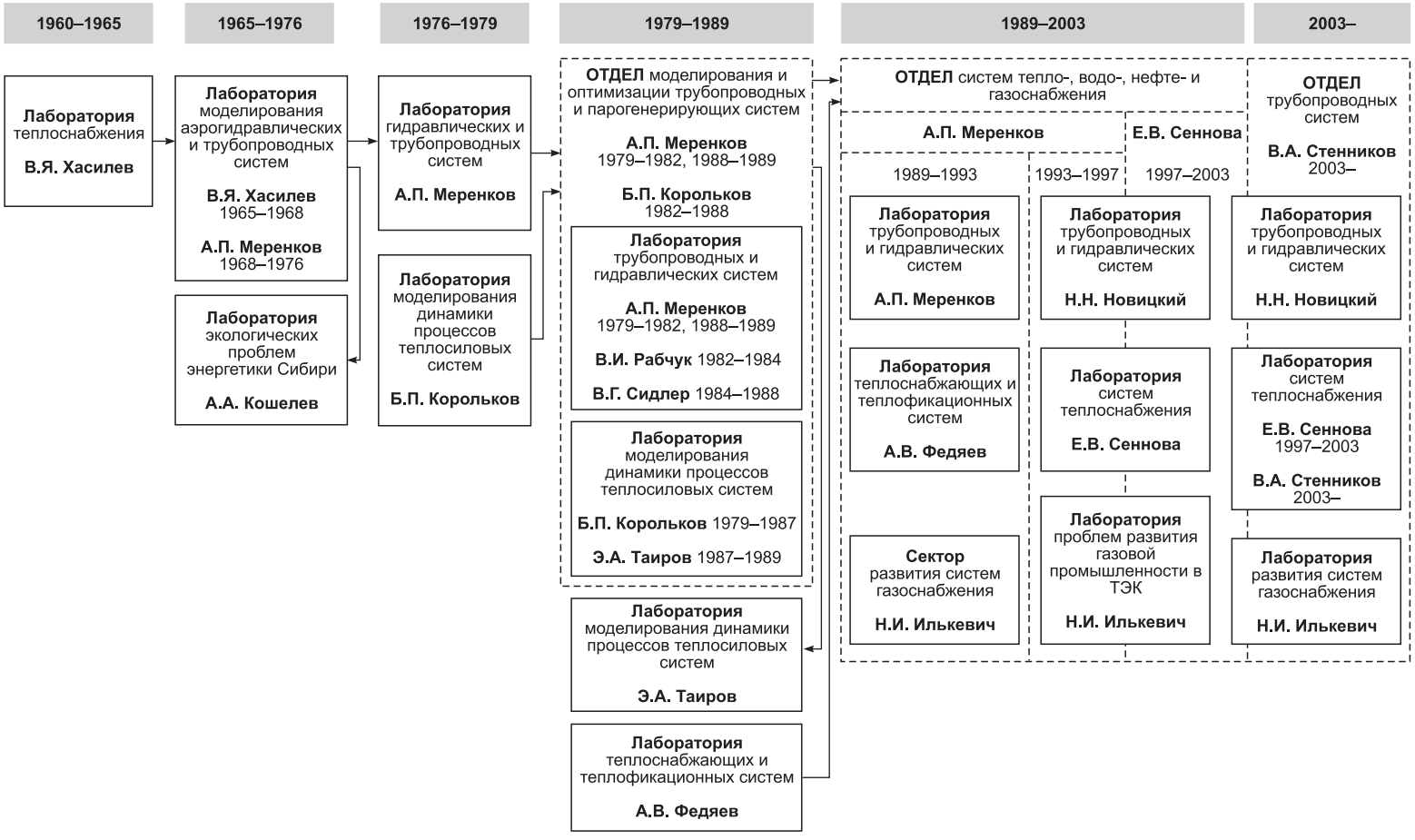
Постоянная научно-общественная работа по аттестации научных кадров и в научно-техническом об-ве Энергетиков (ЦЕНТОЭП и МОНТОЭП) и др.

30 июня 1978 г.

В. Хасилев

г. Н-сиб. Ф-ал тип. № 1 Полиграфиздата. Зак. 778. т. 10 000. 19.IV.62 г.

ДИНАМИКА СТРУКТУРЫ ОТДЕЛА ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ



ДАТЫ ЖИЗНИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В.Я. ХАСИЛЕВА

13 декабря 1912 г. – родился в Одессе

1930–1933 гг. – после окончания школы и электропрофшколы – учеба на энергетическом факультете Одесского индустриального института, диплом по специальности “Теплоэнергетические установки и тепловые сети”

окт. 1931–сент. 1932 гг. – техник Бюро проектирования теплоэнергетических установок, Одесса

1933–1936 гг. – инженер, групповой инженер Теплосетьстроя Народного комиссариата энергетического строительства, Москва, Киев

1935–1938 гг. – учеба на механико-математическом факультете Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (на заочном отделении); ушел со 2-го курса

1936–1938 гг. – старший инженер Нефтепроекта, Москва

1938–1940 гг. – аспирантура Московского института инженеров коммунального строительства (МИИКС)

апр. 1938–сент. 1941 г. – ассистент МИИКС на кафедре теплофикации

1940 г. – присуждена ученая степень кандидата технических наук

1940 г. – участие в коллективной работе Академии коммунального хозяйства РСФСР по теплоснабжению

авг.–сент. 1941 г. – старший инженер Нефтезаводпроекта, Москва

окт. 1941–сент. 1942 г. – старший инженер Коммунэнергопроекта, прораб в Стройконторе Советского района Москвы по строительству газоубежищ

окт. 1942–июль 1946 г. – старший научный сотрудник и старший преподаватель Московского инженерно-строительного института им. В.В. Куйбышева (МИСИ)

февр. 1944–апр. 1953 г. – старший научный сотрудник, заместитель заведующего отделом общей энергетики Энергетического института им. Г.М. Кржижановского АН СССР (ЭНИН), Москва

8 мая 1946 г. – награждение медалью “За доблестный труд в Великой Отечественной войне”

1947 г. – утвержден в ученом звании старшего научноо сотрудника

4 сент. 1948 г. – награждение медалью “В память 800-летия Москвы”

авг. 1953–сент. 1954 г. – старший научный сотрудник Московского инженерно-экономического института им. Серго Орджоникидзе

сент. 1954–март 1961 г. – доцент Московского института народного хозяйства им. Г.В. Плеханова (МИНХ) на кафедре энергетики

1956–1960 гг. – работа в Институте Генплана Москвы

1959 г. – утвержден в ученом звании доцента

март 1961 г. – заведующий лабораторией теплоснабжения (с 1966 – лаборатория моделирования аэрогидравлических и трубопроводных систем) СЭИ СО АН СССР, Иркутск

10 июля 1963 г. – награждение бронзовой медалью ВДНХ “ За успехи в народном хозяйстве СССР”

21 окт. 1967 г. – присуждена ученая степень доктора технических наук

сент. 1968 г. – профессор МИНХ на кафедре энергетики

1968 г. – утвержден в ученом звании профессора

6 апр. 1970 г. – награждение медалью “За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина”

1975 г. – награждение медалью “XXX лет победе в Великой Отечественной войне”

21 апр. 1980 г. – умер; похоронен в Москве на Востряковском кладбище

22 дек. 1990 г. – присуждение В.Я. Хасилеву (посмертно) и А.П. Меренкову премии им. Г.М. Кржижановского АН СССР за монографию “Теория гидравлических цепей”

ОБЩЕСТВЕННЫЕ ДОЛЖНОСТИ

– член профкома энергофака Одесского индустриального института
– член бюро секции ИТР Нефтепроекта
– председатель совета ДОСААФ ЭНИН
– лектор культотдела райсовета Ленинского района Москвы
– лектор Всесоюзного общества “Знание”
– председатель профбюро технологического факультета МИНХ
– член Президиума профкома МИНХ

Составлено Н.С. Карымовой по материалам личного дела В.Я. Хасилева из центрального архива ИНЦ СО РАН (декабрь 2011 г.) и дополнено А.А. Кошелевым (апрель 2012 г.)

CONTENTS

From compiling editor. . . . . .
Preface (*V.A. Stennikov*) . . . . . .
V.YA. KHASILEV IN MEMORIES . . . . . .
In memory of the nearest and dearest . . . . . .
This is who he was (*A.F. Khasileva*) . . . . . .
Memories of Father (*V.V. Khasileva*) . . . . . .
Founder of scientific direction . . . . . .
His work and creativity (*S.V. Sumarokov*). . . . . .
About Viktor Yakovlevich – scientist, mathematician, man, and his legacy (*B.M. Kaganovich*) . . . . . .
Originator of the theory of hydraulic circuits, outstanding scientist and founder of scientific school (*V.A. Stennikov*) . . . . . .
Thoughts about V.Ya. Khasilev, about us and our work (*E.V. Sennova*) . . . . . .
Classical scientist (*L.S. Belyaev*) . . . . . .
His ideas are alive and developing (*N.I. Voropai*) . . . . . .
Leader, educator, man. . . . . .
My first teacher (*K.S. Svetlov*) . . . . . .
Reminiscences and reflections (*O.A. Balyshev*). . . . . .
Memories of great man (*Yu.D. Kononov*). . . . . .
Diamond in necklace of SEI personnel (*R.I. Ivanovsky*) . . . . . .
I was lucky (*O.A. Nekrasova*) . . . . . .
Soft training (*M.K. Takaishvili*) . . . . . .
Great scientist and warm-hearted man (*N.N. Merenkova*) . . . . . .
Memorable meeting (*V.R. Chupin*) . . . . . .
Much more than a teacher (*A.A. Koshelev*) . . . . . .
Scene of action (*I.A. Sher*) . . . . . .
In the wall newspapers “Energiya-Sibiri” (*I.A. Sher*) . . . . . .
SELECTED SCIENTIFIC WORKS . . . . . .
Development of the scientific school of V.Ya. Khasilev–A.P. Merenkov (defence of theses) . . . . . .
Autobiography of V.Ya. Khasilev . . . . . .
Dynamics of pipeline system department structure . . . . . .
Dates of life and work of V.Ya. Khasilev . . . . . .
Name index . . . . . .

СОДЕРЖАНИЕ

От составителя . . . . . .
Предисловие (*В.А. Стенников*) . . . . . .
В.Я. ХАСИЛЕВ В ВОСПОМИНАНИЯХ . . . . . .
В памяти самых близких . . . . . .
Вот таким он был (*А.Ф. Хасилева*) . . . . . .
Воспоминания об отце (*В.В. Хасилева*) . . . . . .
Основатель научного направления . . . . . .
Его трудовой путь и простор творчества (*С.В. Сумароков*) . . . . .
О Викторе Яковлевиче – ученом, мыслителе, человеке и его наследии (*Б.М. Каганович*) . . . . . .
Основоположник Теории гидравлический цепей, замечательный ученый и создатель научной школы (*В.А. Стенников*) . . . . . .
Размышления о В.Я. Хасилеве, о нас и нашей работе (*Е.В. Сеннова*) . . . . . .
Ученый-классик (*Л.С. Беляев*) . . . . . .
Его идеи живут и развиваются (*Н.И. Воропай*) . . . . . .
Руководитель, воспитатель, человек . . . . . .
Мой первый учитель (*К.С. Светлов*) . . . . . .
Воспоминания и размышления (*О.А. Балышев*) . . . . . .
Воспоминания о великом человеке (*Ю.Д. Кононов*) . . . . . .
Бриллиант в ожерелье выдающихся сотрудников СЭИ (*Р.И. Ивановский*) . . . . . .
Мне повезло (*О.А. Некрасова*) . . . . . .
Мягкое обучение (*М.К. Такайшвили*) . . . . . .
Крупный ученый и душевный человек (*Н.Н. Меренкова*) . . . . .
Памятная встреча (*В.Р. Чупин*) . . . . . .
Много больше чем учитель (*А.А. Кошелев*) . . . . . .
Место действия (*И.А. Шер*) . . . . . .
На полосах стенгазеты “Энергия-Сибири” (*И.А. Шер*) . . . . . .
ИЗБРАННЫЕ НАУЧНЫЕ ТРУДЫ . . . . . .
О научном наследии В.Я. Хасилева (*Н.Н. Новицкий*) . . . . . .
Элементы теории гидравлический цепей. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук (*В.Я. Хасилев*) . . . . . .
Рациональная трассировка теплопроводов в промцехах (*Б.Л. Шифринсон В.Я. Хасилев*) . . . . . .
Анализ конфигурации несимметричных тепловых сетей и его применение к выбору мощности систем централизованного теплоснабжения (*В.Я. Хасилев*) . . . . . .
Некоторые вопросы теплоснабжения городов (*В.Я. Хасилев*) . . .
Энергетическая эффективность параллельной работы однотипных ТЭЦ (*В.Я. Хасилев*) . . . . . .

Задачи потокораспределения в сложных тепловых сетях и их решение на электрических моделях (*Г.Л. Полисар, В.Я. Хасилев*) . . . . . .
Температурный график смешанного регулирования параллельной работы теплоэлектроцентралей (*В.Я. Хасилев*) . . . . . .
Загородные теплоэлектроцентрали в энергоснабжении городов (*В.И. Вейц, В.Я. Хасилев*) . . . . . .
Обобщенные зависимости для технико-экономических расчетов тепловых и других сетей (*В.Я. Хасилев*). . . . . .
Гидравлический режим индивидуального регулирования в теплофицированных зданиях (*В.Я. Хасилев*) . . . . . .
О проблеме надежности систем теплоснабжения с нагруженным резервированием (*В.Я. Хасилев, А.П. Меренков, Б.М. Каганович, Н.А. Виноградов*) . . . . . .
Развитие научной школы В.Я. Хасилева–А.П. Меренкова (защиты диссертаций) . . . . . .
Автобиография В.Я. Хасилева . . . . . .
Динамика структуры отдела трубопроводных систем . . . . . .
Даты жизни и деятельности В.Я. Хасилева . . . . . .

Тематический план выпуска
изданий СО РАН на 2013 г., №

Научное издание

ВИКТОР ЯКОВЛЕВИЧ ХАСИЛЕВ

Воспоминания о жизни и деятельности
Научное наследие

Работа с иллюстрациями *И.А. Шер*
Подготовка материалов *О.М. Ковецкая*

Редактор *А.В. Владимирова*
Художественные редакторы: *Л.Н. Ким, Н.Ф. Суранова*
Корректор *Н.А. Митарновская*
Компьютерная верстка *Н.М. Райзвих*

Подписано в печать 00.00.12. Формат 70×100 1/16. Гарнитура SchoolBookC.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 0,0. Уч.-изд. л. 0,0. Тираж 000 экз. Заказ №

Академическое издательство “Гео”, 630055, Новосибирск, ул. Мусы Джалиля, 3/1
Тел./факс: (383) 328-31-13, http:www.izdatgeo.ru

Отпечатано в типографии