

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента, кандидата физико-математических наук  
Тверского Игоря Владимировича  
на диссертационную работу Максаковой Дарьи Владимировны на тему  
«Методический подход к исследованию перспективных направлений формирования  
системы газоснабжения с учётом СПГ-технологий (на примере Монголии)»,  
представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы

### **Актуальность темы исследования**

Актуальность исследования связана с востребованностью научно обоснованных подходов к принятию решений по развитию газоснабжающих систем (далее – ГСС), в том числе систем, предусматривающих и автономную газификацию удаленных регионов от существующей газовой инфраструктуры на основе СПГ. В данном случае СПГ используется как в качестве газомоторного топлива, так и мобильного энергоресурса для развития газоснабжения без строительства протяженных газопроводов поставки природного газа. Определение рациональной структуры ГСС требует системного рассмотрения, в частности с точки зрения межтопливной конкурентоспособности и прогнозного топливно-энергетического баланса, модельные расчеты могут использоваться для получения соответствующих количественных оценок и упрощения сопоставительного анализа возможных вариантов развития ГСС.

Рассматриваемые в работе варианты создания системы газоснабжения Монголии актуальны в современных условиях, так как осуществляется проектная проработка транзитного газопровода Россия – Монголия – Китай. При организации такого энергетического сотрудничества необходимо иметь представление о перспективах, которое оно может предоставить каждой стороне, в том числе стране-транзитеру, ранее масштабно не использовавшему природный газ для социально экономического развития страны. Важно учитывать потенциальную конкурентоспособность природного газа, отбираемого из транзитного газопровода в сравнении с импортом СПГ, особенно с учетом кочевого образа жизни населения Монголии, когда газификация сетевым газом большей части территории страны представляется нецелесообразной. Важно оценить, при каких условиях внутреннее производство СПГ будет эффективнее, чем его импорт.

## Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы (из 142 источников) и двух приложений. Общий объем работы составляет 136 страниц.

Во введении формулируются цель и задачи исследования, обосновывается их актуальность с учетом текущего уровня изученности проблемы, характеризуется научная новизна полученных результатов, обозначены положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен глубокий анализ современной научно-методической базы в области моделирования развития ГСС. Приводится детальный обзор моделей систем газоснабжения, рассмотренных в зарубежной и российской литературе, проанализированы их функциональные возможности и ограничения.

Вторая глава посвящена непосредственно методическому подходу, сформированному автором. Показано место разработанной автором системы моделей в системе прогнозирования потребности в энергоресурсах. Подход заключается в разделении потребности в газе на потребность в сетевом газе и СПГ при решении задачи о развитии ГСС в виде соответствующей модели, сформированной как оптимизационная задача частично целочисленного программирования.

В третьей главе предложенный подход применяется к задаче оценки перспектив развития ГСС Монголии на основе выполненного анализа существующего состояния ее топливно-энергетического комплекса. Приведено описание разработанных моделей, отвечающих возможным вариантам создания системы газоснабжения страны. Для нескольких сценариев, отличающихся объемом газопотребления и ценами на импортируемый СПГ, моделируется развитие ГСС, оценивается стоимость газа в районах Монголии. Делается вывод о конкурентоспособности поставок российского трубопроводного газа в сравнении с импортом СПГ на основе сопоставления возможных объемов импорта из рассматриваемых источников поставки.

В заключении резюмируются результаты исследования.

В приложениях приведены принятые при моделировании исходные данные. В приложении А приводится потребность в природном газе, используемая при модельных вычислениях, в приложении Б – исходные данные, используемые при задании технико-экономических характеристик перспективных объектов ГСС.

## **Научная новизна**

Новизна диссертационной работы заключается в разработке нового оптимизационного подхода к моделированию ГСС, основанного на принципах 1) разделения спроса на СПГ для автономной газификации и использования в качестве моторного топлива, 2) учета дискретного характера ряда технологических параметров при формировании частично целочисленной оптимизационной модели ГСС, 3) учета межтопливной конкуренции при оценке влияния ГСС на другие системы энергетики.

В рамках этого подхода автором разработаны:

- оптимизационная модель ГСС, в которой СПГ отражается и как способ транспортировки газа, и как вид топлива, на который формируется спрос со стороны секторов энергопотребления;
- имитационные модели объектов ГСС, параметры которых (в части структуры и динамики затрат) синхронизированы с параметрами оптимизационной модели;
- алгоритм определения экономически обоснованных цен на газ, основанный на взаимосвязи между моделью ГСС и моделями ее объектов;
- метод декомпозиции потребности в природном газе на сетевой/трубный газ и СПГ в зависимости от категории перспективного потребителя, предполагаемых объемов газопотребления и удаленности от существующей газовой инфраструктуры.

## **Теоретическая и практическая ценность полученных результатов**

Теоретическая ценность результатов диссертационной работы заключается в развитии методологических основ исследования систем газоснабжения на основе современных средств оптимизационного моделирования, в том числе частично целочисленных задач. Разработан комплекс взаимосогласованных математических моделей и методов для исследования ГСС, включающих подсистемы снабжения СПГ. Важной составляющей предложенного подхода является возможность получения оценок стоимости газа при решении оптимизационной задачи с частично целочисленными переменными.

Практическая ценность подтверждается возможностью использования предлагаемых методов и моделей для разработки концептуальных схем газоснабжения, а также наличием выводов и рекомендаций относительно перспектив развития ГСС Монголии и сотрудничества с Россией по данному вопросу.

## **Соответствие паспорту специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы**

Диссертация соответствует следующим пунктам паспорта специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы:

- пункту 1 «Разработка научных основ (подходов) исследования общих свойств и принципов функционирования и методов расчета, алгоритмов и программ выбора и оптимизации параметров, показателей качества и режимов работы энергетических систем, комплексов, энергетических установок на органическом и альтернативных топливах и возобновляемых видах энергии в целом и их основного и вспомогательного оборудования»;
- пункту 7 «Исследование влияния технических решений, принимаемых при создании и эксплуатации энергетических систем, комплексов и установок на их финансово-экономические и инвестиционные показатели, региональную экономику и экономику природопользования».

### **Обоснованность и достоверность научных положений и выводов**

Научные положения и выводы, представленные в работе, обоснованы (в том числе с использованием количественных оценок) и аргументированы. В основе предлагаемого методического подхода лежат базовые принципы системных исследований в энергетике. Разработка научного инструментария автором осуществляется на основе анализа особенностей имеющихся современных методов и моделей исследования ГСС. Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается подробным представлением разработанных математических моделей и используемых при расчетах параметров; обоснованность принятых предположений, используемых при вычислениях, подкрепляется ссылками на источники в списке литературы.

### **Публикации и апробация**

По теме исследования опубликовано 26 научных работ, в том числе 14 статей в журналах, из которых 4 – в журналах из перечня ВАК по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы.

Результаты исследования докладывались на всероссийских и международных конференциях.

## Оценка содержания диссертации и автореферата

Диссертационная работа структурирована, обладает внутренним единством, текст написан грамотным научным языком. Результаты, выводы и предложения, изложенные в диссертации, являются научно обоснованными и аргументированными. Диссертация полностью соответствует критериям, которым должны отвечать диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, установленным в «Положении о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (с изменениями и дополнениями).

Автореферат в пределах своего объема соответствует тексту диссертации, отражает ее содержание.

### Замечания

1. Стр. 16. В подразделе «Моделирование ГСС в рамках прогнозирования развития энергетики» следует указать, что *«моделирование осуществляется при задании наиболее вероятных сценарных условий»*.
2. Стр. 18. На рисунке 1.1 «Декомпозиция глобальной энергетики на подсистемы [16]» считаю полезным привести и декомпозицию «экспорта газа» на *«природный газ и СПГ»*.
3. Стр. 20. «Динамика удельных показателей конечного энергопотребления задается с учетом трендового анализа и анализа наилучших доступных технологий с точки зрения энергосбережения и энергоэффективности» *при этом следует также учитывать финансовые возможности потребителя в части использования таких технологий, более корректно оценивать долю потребителей, которые в рассматриваемом периоде перейдут на указанные технологии.*
4. Стр. 20. Отмечаются этапы 2 и 3 прогнозирования, *при этом этап 1 в тесте не выделен.*
5. Стр. 40. На рисунке 2.2 «Схема перспективной межгосударственной ГСС СВА» *не нашел г. Шанхай, а это конечная точка основного для Китая магистрального газопровода «Запад – Восток».*
6. Стр. 63. Последний абзац, «определить экономически обоснованные цены на газ» *следует указать, что это итерационный процесс, так как в зависимости от цены на газ может измениться и охват газоснабжением территории страны.*
7. Стр. 69. Вывод «Область рационального применения ветровых и солнечных электростанций ограничена стохастическим характером генерации данных ВИЭ.» *несколько категоричен, хотя использования ВИЭ перспективно, и широко используется*

*в мире, но для его эффективного использования необходимо предусматривать схемы хранения вырабатываемой энергии и резервирования альтернативными видами энергоресурсов.*

8. Стр. 73. *Не совсем понятно, о каких «альтернативных маршрутах» поставки газа из России в Китай «через Республику Бурятию и Забайкальский край» идет речь.*
9. Стр. 81. Спорное предложение «Высокие темпы газификации (Таблица 3.10) предполагают перевод на газ угольных ТЭЦ в г. Улан-Батор, г. Эрдэнэт и г. Дархан». *Корректнее указывать на другой вариант газификации, в котором предусмотрен перевод ТЭЦ на газ, именно это и может обеспечить высокие темпы газификации.*
10. Стр. 88. Опечатка в пояснении к формуле (63) «Экспонента 0,9 отражает эффект экономии на масштабе производства.», следует заменить «Экспонента» на «Показатель степени».
11. Стр. 91. Указывая время решения задачи, *корректнее указывать и технические характеристики используемого компьютера.* Большой разброс во времени решения задач оптимизации *во многом связан с формированием допустимой по всем ограничениям начальной точки решения. Следовало бы больше внимания в работе уделить вопросам проведения вычислительных экспериментов с использованием надежного «решателя» оптимизационных задач различной сложности, что представляет также научный интерес. Программный комплекс CPLEX достоин и самостоятельной ссылки в списке используемых источников.*
12. Стр. 100. При оценке возможности строительства дополнительных заводов СПГ *следует также исходить из формальных ограничений на поставку газа в Монголию от рассматриваемого магистрального газопровода, пропускная способность которого рассчитывается с учетом поставок газа в КНР.*

Указанные замечания не снижают в целом положительную оценку представленной диссертационной работы, как в части актуальности, так и в части завершенности задачи, от постановки до формализации соответствующей оптимизационной модели и ее численного решения. Заметим, что представленный подход продемонстрирован на некоторой модели, которая может детализироваться в случае доступа к фактическим данным, в том числе по условиям получения Монгольской стороной газа из рассматриваемого магистрального газопровода.

## Заключение

Диссертация Максаковой Дарьи Владимировны «Методический подход к исследованию перспективных направлений формирования системы газоснабжения с учётом СПГ-технологий (на примере Монголии)» является законченной научно-квалификационной работой, в которой решается важная научная задача разработки методического подхода, методов и моделей для обоснованной оценки возможных направлений развития газоснабжающих систем, включая системы снабжения СПГ, и соответствует паспорту специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы.

По актуальности, ценности и научной новизне полученных результатов, качеству изложения материала диссертация «Методический подход к исследованию перспективных направлений формирования системы газоснабжения с учётом СПГ-технологий (на примере Монголии)», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, полностью отвечает требованиям пп. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (с изменениями и дополнениями).

Считаю, что автор диссертации, Максакова Дарья Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы.

Официальный оппонент,  
кандидат физико-математических наук,  
главный научный сотрудник  
АО «Газпром промгаз»

Тверской Игорь Владимирович

подпись

Подпись руки Тверского И.В. подтверждаю  
Начальник отдела кадров АО «Газпром промгаз»  
Заместитель генерального директора по корпоративным  
отношениям и управлению персоналом АО «Газпром промгаз»

В.А. Агалакова

М.В. Попадько

Дата 14.06.2024

Полное наименование организации: Акционерное общество «Газпром промгаз»  
Почтовый адрес: 142702, Московская область, Ленинский городской округ, г. Видное,  
ул. Вокзальная, д. 23  
Телефон: +7 495 817-17-50  
Адрес сайта: <https://promgaz.gazprom.ru/>  
E-mail: [promgaz@promgaz.gazprom.ru](mailto:promgaz@promgaz.gazprom.ru)