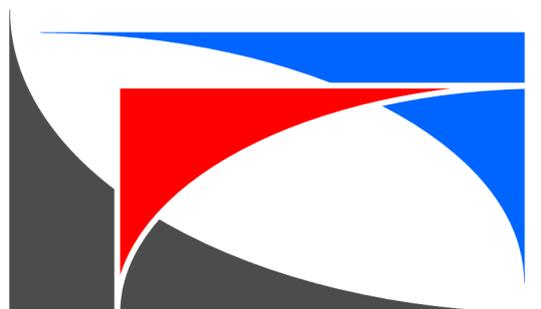


Калининградский инновационный центр «ТЕХНОЦЕНОЗ»

О.Р. Кивчун

ВЕКТОРНЫЙ РАНГОВЫЙ АНАЛИЗ

Трактат



Калининград 2019

ББК 65.441

Г 65

УДК 130.2:62;141.2+62:1;681.51+620.9:001.891.57;621.311

Рецензент: В.И. Гнатюк, доктор технических наук, профессор

Г 65 Кивчун О.Р. Векторный ранговый анализ. – Калининград: Калининградский инновационный центр «Техноценоз», 2019. – 126 с.

ISBN 978-5-9902800-9-0

Основой векторного рангового анализа является представление упорядоченного множества значений одного или нескольких параметров объектов техноценоза в векторном ранговом пространстве, для которого выполняются операции сложения векторов друг с другом и умножения на число – скаляр. Исследование основных свойств векторного рангового пространства позволило впервые ввести понятие меры векторной ранговой параметрической близости, которая отражает динамику электропотребления объектов. На основе векторного рангового анализа впервые разработаны научно-методологические предпосылки, позволяющие существенно оптимизировать управление электропотреблением объектов регионального комплекса.

ISBN 978-5-9902800-9-0

© Калининградский инновационный центр «Техноценоз», 2019

© Кивчун О.Р., 2019

Содержание

Используемые сокращения.....	4
Условные обозначения.....	5
Введение.....	8
1. Общие положения теории управления.....	10
1.1. Развитие, особенности и проблемы теории управления.....	10
1.2. Основные подходы и методы теории управления.....	12
1.3. Методы управления электропотреблением.....	15
Выводы.....	18
2. Теория векторного рангового анализа.....	19
2.1. Метод векторного рангового анализа.....	19
2.2. Векторное ранговое пространство.....	21
2.3. Область допустимых значений векторного рангового распределения....	30
2.4. Статические показатели векторного рангового анализа.....	35
2.5. Динамические показатели векторного рангового анализа.....	38
2.6. Обоснование С-матрицы векторного рангового пространства.....	49
Выводы.....	56
3. Метод управления электропотреблением техноценоза на основе синтеза процедур рангового анализа.....	59
3.1. Структура метода управления электропотреблением техноценоза на основе синтеза процедур рангового анализа.....	59
3.2. Концептуальная модель управления электропотреблением техноценоза на основе синтеза процедур рангового анализа.....	62
3.3. Статическая модель управления электропотреблением техноценоза на основе синтеза процедур рангового анализа.....	67
Выводы.....	93
Заключение.....	95
Список литературы	99
Основные термины и определения	122

Используемые сокращения

- АД – абсолютный дифлекс-параметр.
БД – база данных.
ВРП – векторное ранговое пространство.
ДП – дифлекс-параметр.
ЛПР – лицо, принимающее решение.
МРТБ – мера ранговой топологической близости.
ОДЗ – область допустимых значений.
ОДП – относительный дифлекс-параметр.
РПБ – ранговая параметрическая близость.
ТЦ – техноценологический.
ЭП – электропотребление.

Условные обозначения

\cup – знак булева пересечения (пересечения множеств, «произведения», событий конъюнкции высказывания).

\cap – знак булева объединения (объединения множеств, «суммы», событий, дизъюнкции высказывания).

\in, \notin – знаки соответственно принадлежности и непринадлежности элемента множеству.

\equiv – знак тождественного равенства.

\emptyset – знак пустого множества.

$\mathbf{VR}\{w_i, r_j\}$ – векторное ранговое пространство.

$\mathbf{W} = \{w_i\}_{i=1}^n$ – множество значений параметра в единицу времени.

\mathfrak{R} – множество действительных чисел.

r_j – радиус-вектор.

$\mathbf{R} = \{r_j\}_{j=1}^m$ – множество радиус-векторов.

$|a|$ – длина вектора, или ранговая норма.

a, b – скалярные значения векторов.

$\{x, y, z\}$ – координаты векторов в векторном ранговом пространстве.

(x, y, z) – координаты точки в векторном ранговом пространстве.

v – ранговая скорость.

$u(t)$ – ранговое ускорение.

$\mathbf{w}_{\langle k \rangle} = \langle w_1, w_2, \dots, w_k \rangle$ – вектор значений параметра.

$\mathbf{A} = \{A_k\}_{k=1}^3$ – область допустимых значений параметра.

$A_{\langle m \rangle}^1 \{w_1^V, w_2^V, \dots, w_m^V\}_{m=1}^n$ – подмножество верхних допустимых значений параметра электропотребления.

$A_{\langle k \rangle}^2 \{w_1, w_2, \dots, w_k\}_{k=1}^n$ – подмножество аппроксимационных значений параметра электропотребления.

$A_{\langle p \rangle}^3 \{w_1^N, w_2^N, \dots, w_p^N\}_{p=1}^n$ – подмножество нижних допустимых значений параметра электропотребления.

$C_{[s, m]} = \|\rho_i^d, \rho_j^p, \rho_k^n\|_{i, j, k=1}^{s, m}$ – С-матрица.

Π – одномерное векторное ранговое пространство.

$\Theta_v = \left\{ \mathbf{q}_k^v \right\}_{k=1}^a$ – множество входной информации.

$\Lambda_1 = \left\{ \lambda_i^1 \right\}_{i=1}^b$ – множество определённых факторов.

$\Lambda_2 = \left\{ \lambda_j^2 \right\}_{j=1}^c$ – множество определённых факторов.

$\mathbf{W}_D = \left\{ w_i^D \right\}_{i=1}^n$ – множество значений дифлекс-параметра.

$\mathbf{W}_P = \left\{ w_j^P \right\}_{j=1}^m$ – множество прогнозных значений.

$\mathbf{W}_N = \left\{ w_k^N \right\}_{k=1}^L$ – множество значений дифлекс-параметра.

$\mathbf{I}_{N_F} = \left\{ I_\tau^F \right\}_{\tau=1}^P$ – множество индикаторных функций.

$\mathbf{G}_r = \left\{ g_e^r \right\}_{e=1}^t$ – множество исходов моделирования.

$\mathbf{Y}_\Omega = \left\{ y_z^\Omega \right\}_{z=1}^d$ – множество результатов моделирования.

$\mathbf{w}_{\langle i \rangle}^D$ – вектор значений дифлекс-параметра.

$\mathbf{w}_{\langle j \rangle}^P$ – вектор прогнозных значений.

$\mathbf{w}_{\langle k \rangle}^N$ – вектор значений норм электропотребления.

$\hat{\mathbf{w}}^D$ – случайный центрированный вектор значений дифлекс-параметра.

$\hat{\mathbf{w}}^P$ – случайный центрированный вектор прогнозных значений.

$\hat{\mathbf{w}}^N$ – случайный центрированный вектор значений норм электропотребления.

$M_{\hat{\mathbf{w}}^D}$ – математическое ожидание случайного значения вектора
дифлекс-параметра.

$M_{\hat{\mathbf{w}}^P}$ – математическое ожидание случайного значения вектора прогноза.

$M_{\hat{\mathbf{w}}^N}$ – математическое ожидание случайного значения вектора норм
электропотребления.

$\varphi_{\hat{\mathbf{w}}}(\mathbf{w}^D, \mathbf{w}^P, \mathbf{w}^N)$ – плотность распределения случайных векторов.

$D_{\hat{\mathbf{w}}^D}$ – дисперсия случайного значения вектора дифлекс-параметра.

$D_{\hat{w}^P}$ – дисперсия случайного значения вектора прогноза.

$D_{\hat{w}^N}$ – дисперсия случайного значения вектора норм электропотребления.

$\sigma_{\hat{w}^D}$ – среднеквадратическое отклонение случайного значения вектора дифлекс-параметра.

$\sigma_{\hat{w}^P}$ – среднеквадратическое отклонение случайного значения вектора прогноза;

$\sigma_{\hat{w}^N}$ – среднеквадратическое отклонение случайного значения вектора норм электропотребления.

$I_1(w_{\langle i \rangle}^a)$ – индикаторная функция определения аномальных объектов.

$I_2(e_{\langle j \rangle}^P)$ – индикаторная функция определения прогнозных значений.

$I_3(w_{\langle k \rangle}^N)$ – индикаторная функция определения норм.

$D_{[n,m]} = \left\| \mathbf{w}_{\langle i \rangle}^s, \mathbf{w}_{\langle j \rangle}^{kod} \right\|_{i,j=1}^{n,m}$ – D-матрица сниженных значений электропотребления.

$\mathbf{w}_{\langle i \rangle}^s$ – вектор сниженных значений электропотребления.

$\mathbf{w}_{\langle j \rangle}^{kod}$ – вектор кодов сниженных значений электропотребления.

Введение

Совершенствование цифровых технологий в конце XX века позволило вывести научно-технический прогресс на новый уровень. Благодаря этому развивается промышленность и экономика, появляются интерактивные формы образовательной деятельности, создаются новые научные теории и технологии, модернизируются инновационные средства связи, совершенствуется медицина. Востребованность цифровых технологий для человека в современном обществе объясняется тем, что они позволяют на основе кодирования и передачи информации решать множество различных задач в режиме реального времени.

Учёные и аналитики утверждают, что появление цифровых новинок с каждым годом будет возрастать быстрыми темпами. Например, на внедрение и распространение электричества в предыдущем столетии ушло более тридцати лет, а планшетные компьютеры вошли в обиход за четыре года. Другой пример. Ранее электроэнергетика представляла собой отрасль энергетики, включающую в себя процессы производства, передачи и сбыта электроэнергии, при описании которых использовались традиционные методы расчёта, проектирования и прогнозирования технических систем, основанные на классической математической статистике. Однако в связи с развитием цифровых технологий появилась новая отрасль энергетики – цифровая энергетика. Её отличительной чертой является возможность организовывать энергообмен распределённой генерации, систем накопления энергии, устройств и комплексов с регулируемым электропотреблением для разнообразных энергетических сервисов. Соответственно, для описания такого рода процессов традиционных методов будет не достаточно.

В настоящее время Российская Федерация не в полной мере перешла к цифровой энергетике. Анализ государственных программных документов, «дорожных карт» национальных технологических платформ, стратегических документов институтов развития показывает, что для ускорения данного процесса необходимо внедрять наиболее перспективные и в то же время имеющие осязаемый практический выход решения: нейротехнологии, искусственный интеллект, системы распределённого реестра «blockchain», промышленный Интернет, большие данные («big data») и др.

Однако в перечисленных документах не указывается, какие научно обоснованные методы и методики необходимо применять наряду с вышеуказанными практическими решениями. В связи с этим логично обратить внимание на то, как будет построена и математически описана система управления электропотреблением цифровой энергосистемы. Почему это важно?

Приведём простой пример. Для оказания услуги по перевозке людей существует городской таксопарк, который включает в себя собственную автоматизированную систему диспетчерского управления, транспортные

средства и систему технического обслуживания. Для оказания такой же услуги создан цифровой сервис заказа такси «Uber», который не является таксопарком и не владеет ни единой машиной. При этом «Uber» осуществляет перевозки людей дешевле, удобнее и безопаснее. Почему так сложилось? Разработчики «Uber» создали такую систему управления услугой перевозки людей, которая определила новую бизнес-модель. Успех данной модели заключается в возможности управлять в режиме реального времени потенциалом информационных ресурсов, который реализуется за счёт средств коммуникаций, межмашинного взаимодействия и современных научно обоснованных методов цифрового моделирования.

Таким образом, для эффективного функционирования цифровой энергетики необходима разработка научно обоснованной теории управления процессом производства, передачи, сбыта электроэнергии и других ресурсов, причём теоретической основой для такой системы должны стать совершенно новые методы и методики из различных областей теории управления, использующие потенциал информационных ресурсов.

Одной из таких областей является векторный ранговый анализ, представляющий собой раздел рангового анализа, основными инструментами которого выступают понятия параметрического радиус-вектора, а также меры векторной ранговой параметрической близости и рангового фазового угла, с помощью которых исследуется динамика в ранговом топологическом пространстве. Векторный ранговый анализ впервые создает перспективы управления на основе синтетических процедур рангового анализа техноценозов.

1. Общие положения теории управления

1.1. Развитие, особенности и проблемы теории управления

Теория управления представляет собой область прикладной математики, которая релевантна управлению процессами, происходящими в природе и обществе. Однако она имеет глубокие связи с классическими областями математики, например такими, как исчисления конечных разностей и теория дифференциальных уравнений [22].

Первым систематическим изложением теории исчисления конечных разностей стал труд Брука Тейлора под заглавием «*Methodus incrementorum directa et inversa*», опубликованный в 1718 году. В 1730 году выходит в свет сочинение Джеймса Стирлинга «*Methodus differentialis, sive tractatus de summatione et interpolatione serierum infinitorum*». Это один из первых содержательных учебников по математическому анализу, излагающий помимо основ анализа немало личных открытий автора. В работе рассматриваются бесконечные ряды, их суммирование и ускорение сходимости, теория интегрирования (квадратуры), интерполирование, свойства гамма-функции, асимптотические представления. Одна из этих тем, несколько преобразованная де Муавром, известна сейчас как формула Стирлинга. В 1800 году Сильвестр Франсуа де Лакруа издал сочинение «*Traite des differences et des series*», которое стало третьим томом его курса дифференциального и интегрального исчисления. Исчислению конечных разностей внимание уделяли также Леонард Эйлер [5; 278; 279], Жозеф Луи Лагранж [6; 280] и Пьер-Симон Лаплас [7; 281]. Из работ русских математиков наиболее значимы труды Пафнутия Львовича Чебышева [8; 282; 283] и Андрея Андреевича Маркова [9; 284].

Следующий этап развития теории управления начинается после второй мировой войны. Основным направлением для исследований становится область математической экономики. В это же время проблемы управления, возникающие при разработке экономических систем, были признаны как разновидности проблем теории дифференциальных уравнений и исчисления разностей, в то время как соответствующих теорий не существовало. Вначале научные исследования в области математической экономики ограничивались разработкой специальных модификаций классических методов для того, чтобы решать отдельные конкретные проблемы. Однако по результатам значительного количества исследований было осознано, что, по-видимому, все разнообразные проблемы имеют одну и ту же математическую природу. Так появилась теория управления [22; 113; 117; 119; 136; 200; 232; 241; 242].

В настоящее время теория управления представляет собой науку о принципах и методах управления различными системами, процессами и

объектами. Её основой является построение модели системы, процесса или объекта, которая позволит реализовать алгоритм управления ими в динамике и обеспечить достижение поставленных целей управления. Базой современной теории управления выступают научные положения кибернетики и теории информации, построенные на трёх принципах.

Первый из них – это принцип разомкнутого управления. Его сущность заключается в том, что алгоритм управления вырабатывается только на основе заданного алгоритма функционирования и не контролируется другими факторами: фактическим значением управляемой величины или величиной возмущения [202; 267; 273; 290; 296; 297; 302].

Второй – принцип компенсаций или управления по возмущениям. Он обеспечивает быструю реакцию на возмущение и более высокую эффективность управления, но, как правило, используется для компенсации только определённых дестабилизирующих факторов и не может защитить от всех возможных возмущений [202; 259; 260; 262; 280; 281; 298].

Третьим является принцип обратной связи, позволяющий в изменяющейся среде достигать заданной цели управления. В зависимости от среды данный принцип можно разделить на два вида управления: стихийный, при котором воздействие происходит в результате взаимодействия субъектов (синергетическое управление), и сознательный, который позволяет реализовать планомерное воздействие на объект (иерархическое управление) [3; 4; 19; 80; 202; 277; 285].

Основными особенностями современной теории управления являются описание систем в терминах пространства состояний, оптимизации управления на основе заданного критерия качества, расширение области применения методов динамического программирования и др. Преимущество современной теории управления над классической математической теорией управления [22; 113; 117; 119; 136; 200; 232; 241; 242] состоит в ее применимости к задачам управления более широким классом систем, включая многомерные системы, системы с переменными параметрами и адаптивные системы. Поэтому было бы неправильно рассматривать современную и классическую теории управления по отдельности, поскольку они направлены на изучение одних и тех же проблем в различных аспектах.

Системы и процессы, к которым теория управления применяется, имеют следующее описание. Пусть состояние системы в каждый момент времени может быть определено несколькими переменными. В каждый последующий момент времени значения этих переменных зависят как от величин различной природы, так и от переменных управления. Согласно выбранному для исследования закону значения переменных управления выбираются так, чтобы достичь некоторой цели. Природа реальных систем обычно налагает ограничения на допустимые величины переменных управления. Системы подобного типа называются системами управления. Основные проблемы, связанные с исследованием системами управления, –

управляемость, наблюдаемость, устойчивость и оптимизация управления [18; 32; 63; 79; 146; 162; 192; 202; 208; 209].

Решение проблемы управляемости заключается в том, чтобы подобрать такой способ или метод, который бы обеспечивал возможность перевести её из одного состояния в другое. Причём все компоненты её вектора состояний данной системы должны быть управляемы. Исследование системы управления на управляемость является одним из важных шагов в прикладных областях теории управления [208].

Проблема наблюдаемости в теории управления состоит в том, чтобы получить информацию относительно её состояния на некоторый момент времени, в то время как непосредственно измеряться может только некоторая функция состояния, но не само состояние [146].

Для обеспечения устойчивости управления необходимо выбирать переменные управления в каждый момент времени так, чтобы текущее состояние системы все ближе приближалось к предписанному по мере увеличения времени её функционирования [146].

Вероятно, наиболее важная проблема теории управления – оптимизация управления. Проблема состоит в том, чтобы выбрать переменные управления так, чтобы система достигала желательного состояния и делала это таким путем, который является оптимальным в следующем смысле. Должна быть назначена численная мера качества функционирования системы, а переменные управления выбраны так, чтобы было достигнуто желательное состояние, при этом величина критерия качества была бы как можно меньше. Иллюстрацией может служить пример процесса, в результате которого при заданных предположениях система должна быть переведена из исходного состояния в конечное за минимальное время. Описанная проблема управления называется детерминированной. Система, однако, должна управляться подобно детерминированным системам [162].

1.2. Основные подходы и методы теории управления

На основе анализа вышеизложенных принципов и проблем теории управления разработано достаточно большое количество прикладных методов управления системами, процессами и объектами различных видов. К основным относятся методы из таких ключевых областей, как ситуационное управление, теория катастроф, адаптивное управление, теория игр, техноценологическая теория.

Исследование проблем области ситуационного управления показывает, что наибольший вклад в разработку методов управления внесли следующие зарубежные учёные:

– основоположники ситуационной теории, или теории сопряженных обстоятельств – P.R. Lawrence [287; 288], J.W. Lorsh [274-276; 287], T. Burns [256], Ch. Perrow [289], S.H. Udy [300], R.H. Hall [268], J. Woodward [302];

- авторы концепций жизненного цикла – L. Greiner [267], G.L. Lippitt [273], L.W. Porter [290];
- исследователи в области рациональности управленческих решений – Н.А. Симон [296; 297], Р. Cyert [260], М. Cohen [259], J.D. Thompson [298];
- разработчики метода управления по целям – Р.Ф. Друкер [262], D. McGregor [280; 281], G.S. Odionre [257; 285];
- учёные в области исследования операций и управленческих информационных систем – R.L. Ackoff [3; 4], L. Bertalanffy [277], S. Beer [19; 80], N. Wiener [27; 28], Р.В. Checkland [257; 258], J.W. Forrester [264; 265].

Вопросам ситуационного управления, которые носят технический или аналитический характер, посвящён также ряд работ отечественных учёных: В.А. Бородина [23], В.П. Горшенина [54], Ю.И. Клыкова [87], И.Н. Розенберга [182; 183], В.В. Цыганова [225; 226; 299], В.Я. Цветкова [220-223], Г.Б. Шишкина [239; 240] и др.

Основоположником нового подхода в ситуационном управлении с инженерной точки зрения является профессор Д.А. Поспелов [174-179]. Ситуационная модель Д.А. Поспелова представляет собой сложную семантическую сеть. Для описания ситуаций в данной модели используются семиотические языки и алгоритмы, среди которых можно выделить следующие основные подходы: дискретные ситуационные сети, RX-коды, логика предикатов, универсальный семантический код.

Большой вклад в развитие методов теории управления внесли учёные, занимающиеся исследованиями в области теории катастроф, которая представляет собой раздел математики, включающий в себя теорию бифуркаций дифференциальных уравнений (динамических систем) и теорию особенностей гладких отображений.

Первые фундаментальные результаты в области динамических систем, относящиеся к теории катастроф, принадлежат А. Пуанкаре (метод нормальных форм в теории дифференциальных уравнений) и А.А. Андронову (бифуркации динамических систем). В конце 1960 года развитием этого направления занялся известный французский математик и философский лауреат 1958 года Рене Том [206; 207]. Однако популярность идеи Тома приобрели благодаря нескольким публикациям К. Зимана [304; 305] в 1970 году. Он активно пропагандировал теорию катастроф, сравнивая её значение с изобретением математического анализа и говоря о «революции в математике». Бурное развитие теории катастроф после 1970 года связано с деятельностью Дж. Брюса [255], Дж. Мазера [130; 279], Б. Мальгранжа [134; 278] и, особенно, В.И. Арнольда [10-13].

Важной составляющей для создания и разработки новых методов теории управления стали научные труды в области адаптивного управления. Исследования, посвящённые адаптивному управлению, начались в начале 50-х годов XX века. Основанием для них стала необходимость построения

автопилотов для новых самолетов, высота и скорости которых изменяются в широких пределах [86; 141; 142; 213]. В качестве теоретической основы для исследований использовалась теория устойчивости А.М. Ляпунова [127-129]. Первые попытки применения адаптивного управления были неудачными, но в дальнейшем с развитием информационных технологий методы адаптивного управления нашли практическое применение в таких областях, как робототехника, управление самолётами и ракетами, электротехника, управление сложными технологическими процессами.

Большой вклад в данную область науки внесли отечественные учёные Б.Р. Андриевский [5; 6], В.М. Глузов [292], В.Ю. Рутковский [292], А.Л. Фрадков [213; 248], А.М. Цыкунов [227], Я.З. Цыпкин [228; 229] и многие другие. Исследованиям в области адаптивных систем управления также посвящены работы зарубежных учёных. Основными из них считаются труды Р.М. Anderson [249], А. Astolfi [250], V. Bandal [253], R.V. Mopoli [282], A.S. Morse [283], R. Ortega [286], С. Yoshioki [303].

Следующий шаг, который позволил создать новые методы теории управления, связан с развитием теории игр. Под игрой понимается процесс, в котором участвуют две и более стороны, ведущие борьбу за реализацию своих интересов. Каждая из сторон имеет свою цель и использует некоторую стратегию, которая может вести к выигрышу или проигрышу. Теория игр помогает выбрать лучшие стратегии [201].

Упоминание о применении теории игр встречается в трудах А. Курно [20; 111] и Ж. Бертраном [17; 254], посвящённых задачам производства и ценообразования в условиях олигополии. В начале XX века Э. Ласкер [120; 272], Э. Цермело [24; 306] и Э. Борель [21; 261] представили научному сообществу идею математической теории конфликта интересов. Однако первые математические аспекты и основы теории были изложены в классической книге 1944 года Джона фон Неймана [152, 262] и Оскара Моргенштерна [143; 144] «Теория игр и экономическое поведение» (англ. Theory of Games and Economic Behavior). После 1950 года методы теории игр применялись не только в экономике, но и в биологии, кибернетике, технике и антропологии. С 1980 года началось активное практическое использование теории игр, особенно в экономике и менеджменте.

В настоящее время математическая теория игр является разделом прикладной математики, точнее исследования операций. Чаще всего её методы находят применение в международных отношениях, экономике, общественных науках и др. Теория игр имеет важное значение для искусственного интеллекта и кибернетики, особенно с проявлением интереса к интеллектуальным агентам.

Наибольший вклад в развитие теории игр внесли Роберт Ауман [251; 252], Райнхард Зелтен [294], Джон Нэш [157-160], Уильям Викри [301], Леонид Гурвиц [271], Роджер Майерсон [284], Ллойд Шепли [295], Элвин Рот [291], Жан Тироле [205].

1.3. Методы управления электропотреблением

Важным дополнением теории управления являются методы управления электропотреблением, которые разработаны и применяются на основе техноценологической теории, основателем которой стал доктор технических наук, профессор Б.И. Кудрин [98-111].

Следует также подчеркнуть ряд принципиальных идей техноценологической теории, существенно повлиявших на разработку методов управления: свойство устойчивости структуры крупных предприятий по составу оборудования и параметрам расхода ресурсов; закон информационного отбора, а также логически вытекающие из него законы и закономерности техноэволюции; свойство общности ценозов любой природы, составляющее основу технетики – науки о технической реальности; математический аппарат гиперболических H -распределений в видовой, ранговидовой и ранговой по параметру формах; третья (ценологическая) научная картина мира.

Существенное дополнение идеи Б.И. Кудрина получили во многих научных школах и организациях (рисунок 1.1). Ведущими из них являются Московская, Новомосковская и Калининградская научные школы.

МОСКОВСКАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА (МЭИ)	КАЛИНИНГРАДСКАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА (КПИ)	НОВОМОСКОВСКАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА (НХТИ)
Б.И. Кудрин, В.В. Фуфаев, С.А. Цырук, Ю.В. Матюнина, В.К. Лозенко, А.В. Мозгалин, С.Д. Хайтун и др.	В.И. Гнатюк, Д.В. Луценко, А.Е. Северин, С.Н. Гринкевич, П.Ю. Дюндик, В.С. Олейник, А.А. Шейнин, А.В. Докучаев, С.А. Дорофеев и др.	Б.В. Жилин, М.Г. Ошурков, О.Е. Лагуткин, А.С. Исаев, С.Н. Новиков и др.
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА (ВИТИ, СПИИ РАН, ВКА, РВСН)	ЮЖНО-РОССИЙСКАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА (ЮРГТУ)	СИБИРСКАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА (СибФУ)
Э.Н. Фоминич, В.Н. Панасюк, М.А. Монахов, Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов, А.И. Пешехонов, Е.П. Вишняков и др.	И.И. Надтока, А.В. Седов, С.Ю. Берёзкина, С.В. Сарры, А.Н. Кузьминов и др.	В.И. Пантелеев, А.Ю. Южанников, А.Г. Степанов, А.А. Заименко, Т.М. Чупак, Д.В. Антоненков, С.Ф. Лукьяненко, Д.Э. Кронгауз и др.
НАЦИОНАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНИЦИАТИВА (ENERGYNET)	АССОЦИАЦИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ (НБИКС)	ЗАРУБЕЖНЫЕ НАУЧНЫЕ ШКОЛЫ
Б.А. Рябов, А.Л. Текслер, О.В. Гринько, А.И. Кулапин, А.М. Чалый, Д.А. Корев, Р.Н. Бердников, Б.А. Бокарев А.Я. Горелов и др.	А.А. Меркулов, Д.М. Морозов, Б.Л. Геллер, Д.А. Дмитровский, Ф.Г. Майтаков, А.В. Колесников и др.	R.L. Ackoff, L. Bertalanffy, S. Beer, N. Wiener, P. Rivett, P.B. Checkland, C.W. Churchman, J.W. Forrester и др.

Рисунок 1.1 – Научные школы и организации, занимающиеся вопросами управления электропотреблением

В работах учёных Московской научной школы Б.И. Кудрина [98-111], В.В. Фуфаева [214-217], Ю.В. Матюниной [26; 137], А.В. Мозгалина [109],

С.Д. Хайтуна [218; 219] отражены законы и закономерности построения, функционирования и развития электрического хозяйства как части общих законов эволюции техногенной цивилизации, теоретические основы электрики как развитие электротехники и электроэнергетики, а также основы теории динамики структуры техноценозов. Всё это, несомненно, повышает качество методов управления электропотреблением техноценозов.

Учёные Калининградской научной школы профессора В.И. Гнатюка [36-51] исследуют вопросы управления электропотреблением крупных инфраструктурных объектов в трёх направлениях техноценологической теории: функционального рангового анализа, комбинаторного рангового анализа и векторного рангового анализа.

Исследованиям в области функционального рангового анализа посвящены работы А.Е. Северина [188; 189], П.Ю. Дюндика [59; 60; 62], А.А. Шейнина [235-238], С.А. Дорофеева [1; 2; 42; 43; 61; 94], А.В. Докучаева [56-58], А.В. Тимченко [203; 204], В.С. Олейника [24; 161], которые позволили разработать процедуры управления электропотреблением крупных инфраструктурных объектов: интервальное оценивание, прогнозирование, нормирование и потенцирование.

В трудах Д.В. Луценко [46; 48; 124-126; 266], рассмотрено направление комбинаторного рангового анализа, в основу которого положено комбинаторное представление результатов ранжирования объектов техноценологического типа по величине их ресурсопотребления. Впервые это позволило привлечь для исследования феномена ранговой динамики комбинаторику, теорию графов, методы комбинаторного анализа и оптимизации. Существенное уточнение получили прикладные процедуры управления электропотреблением: интервальное оценивание, прогнозирование, нормирование и потенцирование.

Новое направление Калининградской научной школы – векторный ранговый анализ. Его основой является представление упорядоченного множества значений одного или нескольких параметров объектов в виде векторного пространства, для которого выполняются операции сложения векторов друг с другом и умножения на число – скаляр. Исследование основных свойств векторного рангового пространства позволило впервые ввести понятие меры векторной ранговой топологической близости, которая отражает динамику электропотребления объектов.

На основе теории векторного рангового анализа впервые разработаны методы, позволяющие существенно оптимизировать управление электропотреблением объектов регионального комплекса и сформировать основы построения автоматизированной системы управления электропотреблением техноценологического типа. Основные положения данного направления достаточно полно изложены в работах профессора В.И. Гнатюка [44; 46; 51] и кандидата технических наук О.Р. Кивчуна [81-85].

Новомосковская научная школа Б.В. Жилина [64-70] проводит исследования в области разработки и совершенствования математических моделей, питающих электрических сетей, разработки теоретических пределов погрешностей параметров разнообразия ценозов при восстановлении информации, оценки развития предприятия по критериям H -распределения. Большой вклад в развитие данных областей внесли М.Г. Ошурков [163-165], О.Е. Лагуткин [114-116], А.С. Исаев [74; 75], А.С. Новиков [154-156].

В трудах учёных Южно-российской научной школы И.И. Надтоки [149-151], А.В. Седова [190; 191; 293], С.Ю. Берёзкиной [14-16], С.В. Сарры [185 – 187] рассмотрены вопросы прогнозирования электропотребления на основе моделей ортогонального разложения графиков нагрузки с использованием техноценологических методов.

Большое внимание уделяется таким вопросам, как прогнозирование режимов электропотребления, оценка потенциала энергосбережения на системном уровне, моделирование процесса электропотребления, в трудах учёных Сибирской научной школы В.И. Пантелеева [169-171], А.Ю. Южанникова [242-244], А.А. Заименко [71; 72], А.Г. Степанова [196-198], Т.М. Чупак [233; 234], С.Ф. Лукьяненко [121-123], Д.Э. Кронгауза [95-97], Д.В. Антоненкова [7-9] и др.

Совершенно новые методы теории управления в прикладных областях достаточно широко исследуются и разрабатываются учёными Санкт-Петербургской научной школы Э.Н. Фоминичем [210-212], В.Н. Панасюком [166-168], В.В. Карагодиным [76-78], Е.П. Вишняковым [242-244], Б.В. Соколовым [193-195], Р.М. Юсуповым [245-247] и др.

Активные научные исследования и реализация проектов в области энергетики и управления осуществляются в рамках национальной технологической инициативы «EnergyNet» под руководством членов рабочей группы А.Л. Текслера, О.В. Гринько, А.И. Кулапина, А.М. Чалого, Д.А. Корева, О.Г. Баркина, Р.Н. Бердникова, Б.А. Бокарева, А.Я. Горелова и др. Основная цель «EnergyNet» на сегодняшний день достаточно формализована в терминах «качество – себестоимость электроэнергии». Вовлечение новых технологий и научно обоснованных методов управления электропотреблением осуществляется по мере развития инициативы [181].

Достаточно широкий спектр задач в рамках ситуационного управления электропотреблением объектов региональной инфраструктуры решают учёные и управленцы ассоциации инновационных предприятий НБИКС, сформировавшейся на базе технопарка Калининградского государственного технического университета. Председателем правления ассоциации и руководителем инициативной группы в области ситуационного управления электропотреблением является А.А. Меркулов [138-140]. Под его руководством активно работают Б.Л. Геллер [34-36], Д.А. Дмитровский [55], Ф.Г. Майтаков [131-133], Д.Г. Морозов [47; 154].

Кроме того, совместно с научной школой профессора А.В. Колесникова [88 – 93] реализуется ряд научных проектов и исследований в области разработки интеллектуальных гибридных систем управления [88; 91; 92].

Учитывая анализ научных трудов и проектов в области управления электропотреблением, можно сделать вывод, что на сегодняшний день научные школы, которые реализуют свои исследования в рамках техноценологической теории, получают более качественные методы и прикладные решения. Данные вопросы носят перспективный характер и представляют собой важное направление техноценологической теории.

Выводы

Теория управления представляет собой область прикладной математики, которая релевантна управлению процессами, происходящими в природе и обществе. Однако она имеет глубокие связи с классическими областями математики, например с такими, как исчисления конечных разностей и теория дифференциальных уравнений.

Первые упоминания о теории управления появились в начале XVIII века в трудах известных математиков. Следующий шаг развития теории управления начинается после Второй мировой войны. Основным направлением для исследований становится область математической экономики. Однако в результате большого количества исследований был сделан вывод, что, по-видимому, все разнообразные проблемы имеют одну и ту же природу.

В настоящее время теория управления представляет собой науку о принципах и методах управления различными системами, процессами и объектами. Фундаментальной основой современной теории управления являются научные положения кибернетики и теории информации, которые базируются на трёх основных принципах: разомкнутого управления; компенсаций; управления по возмущениям и обратной связи.

Системы и процессы, к которым теория управления применяется, имеют особенности, связанные с их исследованием, заключающиеся в решении проблем управляемости, наблюдаемости, устойчивости и оптимизации.

На основе анализа принципов и проблем теории управления разработано достаточно большое количество прикладных методов управления системами, процессами и объектами различных видов. К основным относятся методы из таких ключевых областей, как ситуационное управление, теория катастроф, адаптивное управление, теория игр, техноценологическая теория.

На сегодняшний день научные школы, которые реализуют свои исследования в рамках техноценологической теории, получают более качественные методы и прикладные решения. Данные вопросы носят перспективный и ценный характер, а также представляют собой важное направление техноценологической теории.

2. Теория векторного рангового анализа

2.1. Метод векторного рангового анализа

Как показал материал предыдущего раздела, исследованиям в области управления электропотреблением объектов техноценологического типа на основе рангового анализа посвящено значительное количество работ [1; 2; 36-51; 61; 81-85]. Тем не менее для них имеется общеметодологическая основа, которая включает в себя научные подходы, принципы, методы как фундаментальных наук, так и прикладных. Исходя из положений, изложенных в данных работах, разработана теория управления электропотреблением объектов техноценоза на основе метода векторного рангового анализа, которая является существенным дополнением техноценологической теории профессора Б.И. Кудрина [98-110] (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Структура теории векторного рангового анализа

Теория векторного рангового анализа представляет собой совокупность методов, моделей и методик, нацеленных на решение проблемы управления электропотреблением объектов техноценологического типа. В её основе лежит метод векторного рангового анализа, под которым понимается систематизированная совокупность теоретических понятий, показате-

лей и способов, позволяющих повысить эффективность управления электропотреблением при эксплуатации объектов техноценологического типа, используя в качестве основного критерия меру векторной ранговой параметрической близости (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Структура метода векторного рангового анализа

Метод векторного рангового анализ является существенным дополнением рангового анализа и представляет собой отдельное направление для исследования техноценозов. Наряду с функциональными [36-51] и комбинаторными [124-126] методами рангового анализа данный метод позволяет существенно упростить линейные операции при исследовании индивидуальных и системных свойств объектов, дополнить основные свойства теории управления: наблюдаемость, устойчивость, управляемость, оптимальность – методом синтеза процедур рангового анализа, а также методом управления электропотреблением техноценоза на основе добавочного ресурса.

Важно подчеркнуть, что ключевым способом для реализации метода векторного рангового анализа является представление упорядоченного множества значений параметров объектов техноценоза в виде векторного рангового пространства. Исследование векторного рангового пространства позволяет создать методологическую основу для реализации методов, моделей и методик, позволяющих существенно оптимизировать управление электропотреблением объектов техноценозов и повысить его эффективность.

2.2. Векторное ранговое пространство

Известно, что основным инструментом рангового анализа является ранговое параметрическое распределение. Вообще под ранговым распределением понимают полученное в результате процедуры ранжирования видов или особей техноценоза по какому-либо параметру распределение Ципфа в ранговой дифференциальной форме, по сути, являющееся невозрастающей последовательностью значений самих параметров, поставленных в соответствие рангу. Различают ранговые распределения, в которых ранжируются виды по количеству особей, которыми они представлены в техноценозе (ранговые видовые), или объекты по значению параметра (ранговые параметрические). Применительно к параметру электропотребления рассматриваются ранговые параметрические распределения. Для их исследования с помощью векторного рангового анализа данные распределения необходимо представить в векторном ранговом пространстве.

Для этого в некотором двумерном пространстве Ω задаётся множество значений одного параметра $\mathbf{W} = \{w_i\}_{i=1}^n$ (например, электропотребление за временной интервал), элементы которого упорядочены в невозрастающей последовательности (рисунок 2.3).

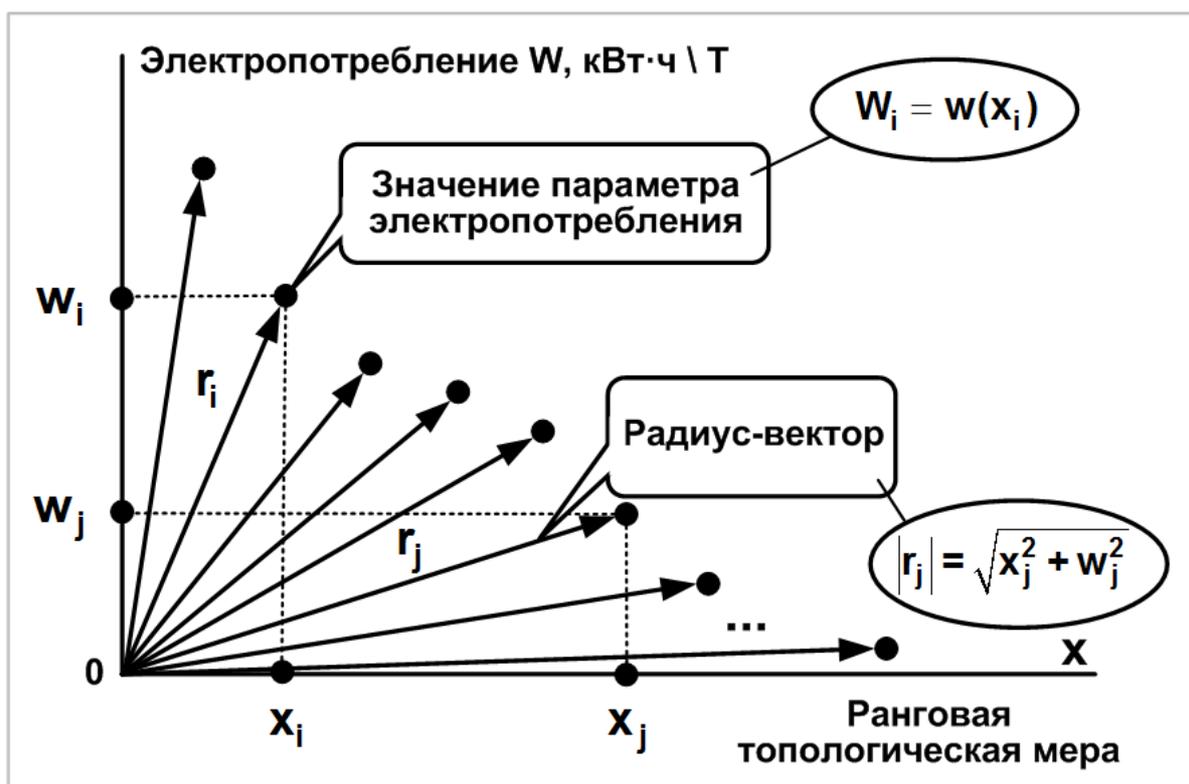


Рисунок 2.3 – Геометрическое представление векторного рангового распределения

Такое множество представляет собой ранговое параметрическое распределение и одновременно является множеством действительных чисел \mathfrak{R} . Если определить для каждого значения $w_i \in \mathbf{W}$ радиус-вектор \mathbf{r}_j , тогда образуется множество $\mathbf{R} = \{\mathbf{r}_j\}_{j=1}^m$, которое представляет собой векторное ранговое распределение. Под векторным ранговым распределением понимают упорядоченную в невозрастающей последовательности совокупность радиус-векторов $\{\mathbf{r}_j\}_{j=1}^m$, соответствующих значениям исследуемого параметра $\{w_i\}_{i=1}^n$. На рисунке 2.3 показано геометрическое представление элементов данных множеств.

На основе теорем и аксиом линейной алгебры установлено, что при сложении любых двух радиус-векторов в пространстве определяется вектор, равный их сумме. Например, при сложении по правилу параллелограмма двух векторов \mathbf{r}_j^a и \mathbf{r}_j^b , принадлежащих пространству \mathbf{R} , формируется вектор $\mathbf{r}_j^c = \mathbf{r}_j^a + \mathbf{r}_j^b$ (рисунок 2.4).

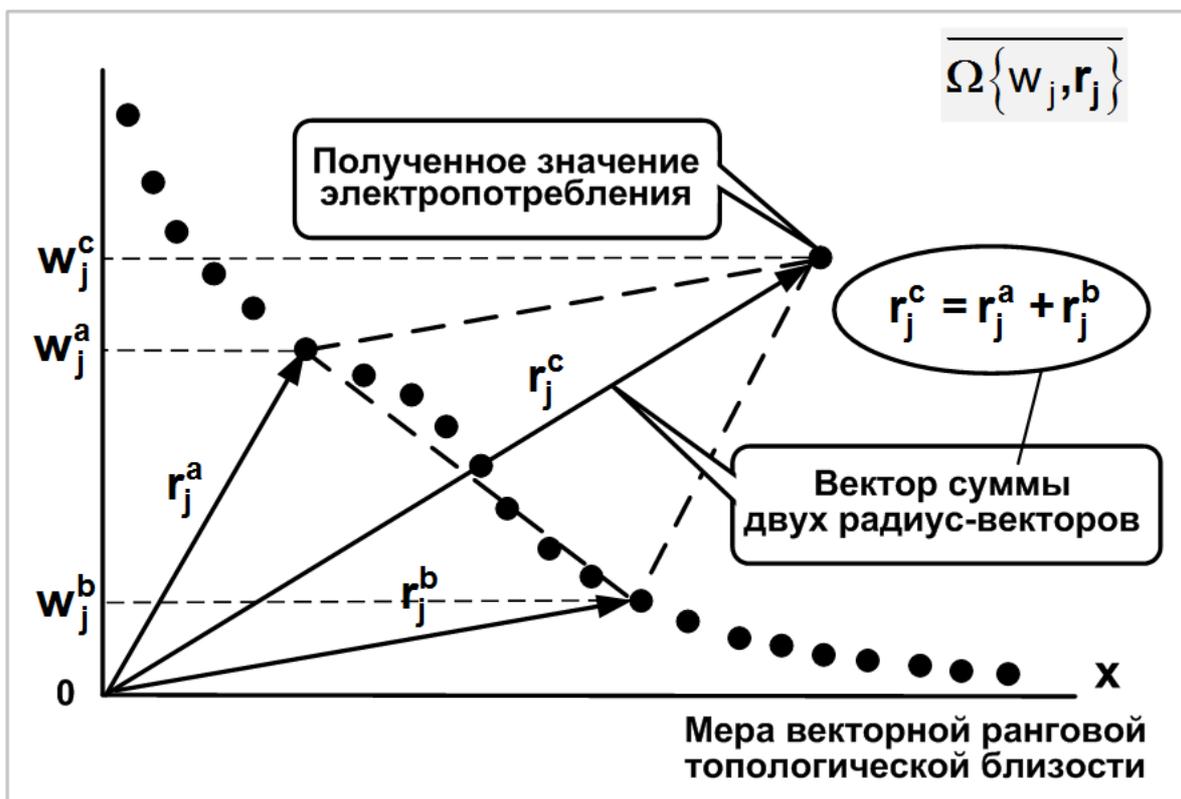


Рисунок 2.4 – Сложение радиус-векторов в пространстве Ω

Соответственно, при умножении любого вектора $\mathbf{r}_j \in \mathbf{R}$ на число α определяется вектор $\mathbf{r}_{\alpha i} = \alpha \cdot \mathbf{r}_j$ (рисунок 2.5).

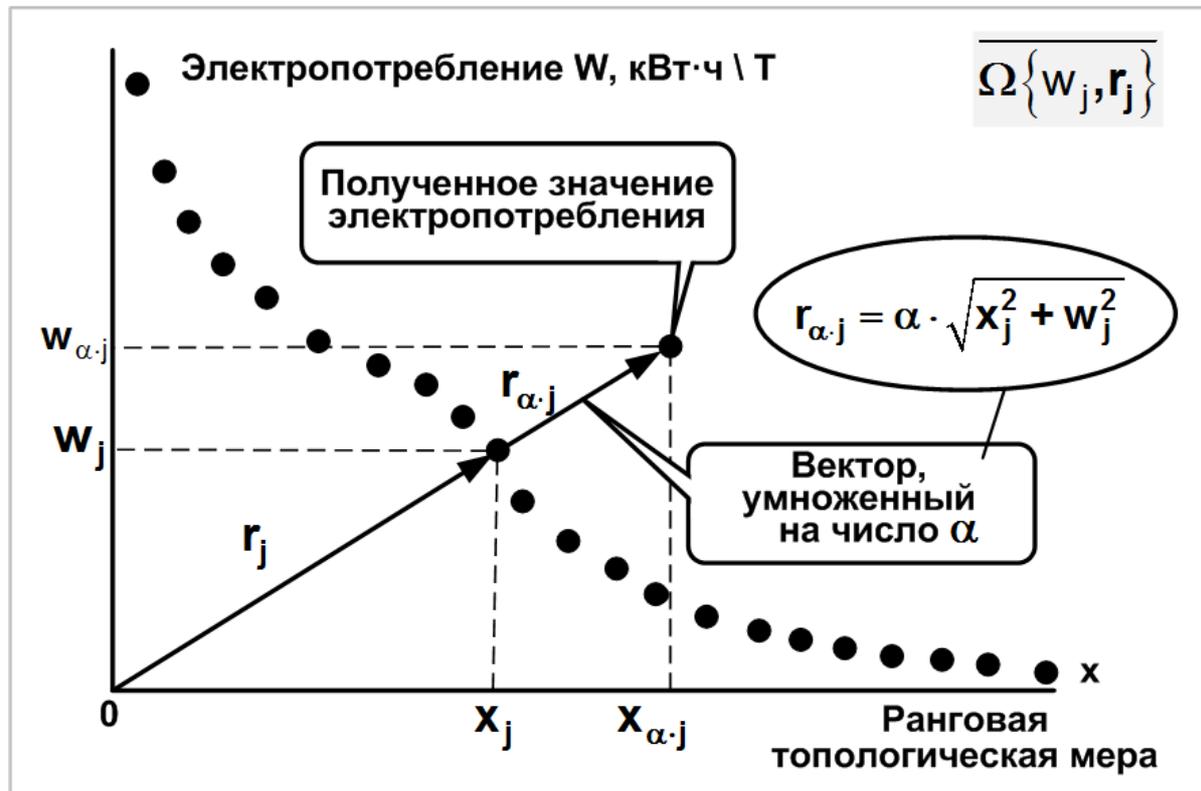


Рисунок 2.5 – Умножение радиус-вектора на число

Таким образом, элементы множества \mathbf{W} и \mathbf{R} устойчивы к двум операциям: суммы и скалярного кратного.

На основе данного утверждения для проведения дальнейших исследований впервые вводится понятие векторного рангового пространства, под которым понимают двумерное или n-мерное пространство, в котором для любых его элементов, являющихся векторами, и любого действительного числа определены операции сложения друг с другом и умножения на число.

Следовательно, множества \mathbf{W} и \mathbf{R} образуют векторное ранговое пространство, которое предлагается обозначать как \mathbf{VR} [44; 46; 82-84].

Алгебраическая запись, позволяющая описать основные свойства и понятия \mathbf{VR} , представляет собой следующую систему выражений:

$$\begin{aligned} \forall \mathbf{r}_j^a, \mathbf{r}_j^b \in \mathbf{R} \exists! \mathbf{r}_j^a + \mathbf{r}_j^b \in \mathbf{R}; \\ \forall \mathbf{r}_j \in \mathbf{R} \text{ и } \forall \alpha \in \mathfrak{R} \exists! \alpha \cdot \mathbf{r}_j \in \mathbf{VR}, \end{aligned} \tag{2.1}$$

- где $\mathbf{r}_j^a, \mathbf{r}_j^b$ – радиус-векторы векторного рангового параметрического распределения;
 \mathbf{R} – множество действительных чисел;
 α – действительное число;
 \mathbf{VR} – векторное ранговое пространство.

В некоторых ситуациях элементы множества \mathbf{W} и \mathbf{R} приходится представлять в одномерном \mathbf{VR} , то есть при исследовании свойств одного или нескольких радиус-векторов.

Таким примером может являться некоторая прямая k в одномерном векторном ранговом пространстве Π , которое образуется в пределах одного ранга векторного рангового распределения и исследуется относительно границ области допустимых значений [44; 46; 82-84]. Причём значения множества \mathbf{W} будут также принадлежать Π . Пусть на прямой k отмечена точка \mathbf{O} . От данной точки из множества \mathbf{W} отложены векторы \mathbf{r}_j^d и \mathbf{r}_j^f , у которых концы также лежат на прямой k . Так как данные векторы лежат на одной прямой, то можно утверждать, что $\mathbf{r}_j^d, \mathbf{r}_j^f \in k$. Следовательно, в данном случае можно применить операцию сложения векторов и получить вектор $\mathbf{r}_j^e = \mathbf{r}_j^d + \mathbf{r}_j^f \in k$ (рисунок 2.6).

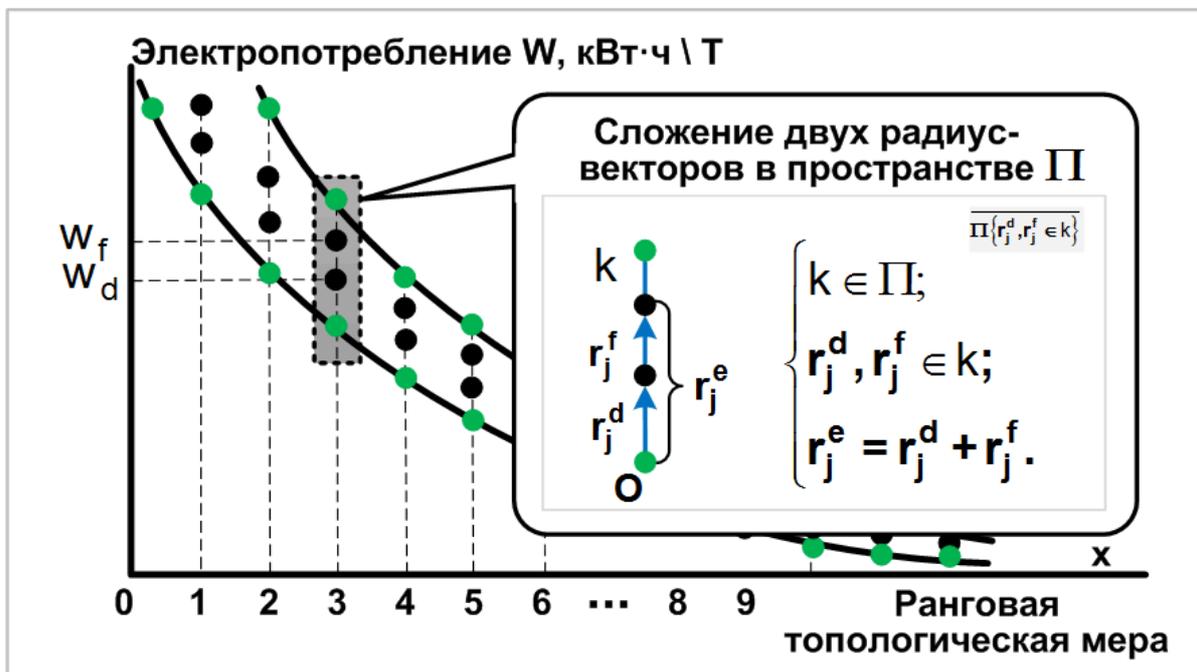


Рисунок 2.6 – Сложение двух векторов в пространстве Π

В другом случае от точки \mathbf{O} на прямой k отложим вектор \mathbf{r}_j^d и умножим его на некоторое число α . Тогда получим вектор, который увеличится в α раз и останется на прямой k : $\mathbf{r}_j^m = \mathbf{r}_j^d \cdot \alpha$ (рисунок 2.7).

Таким образом, можно сделать вывод о том, что значения множества векторного рангового распределения $\mathbf{W} \in k$ устойчивы относительно двух операций: суммы и скалярного кратного. Из данного утверждения следует, что k принадлежит векторному ранговому пространству.

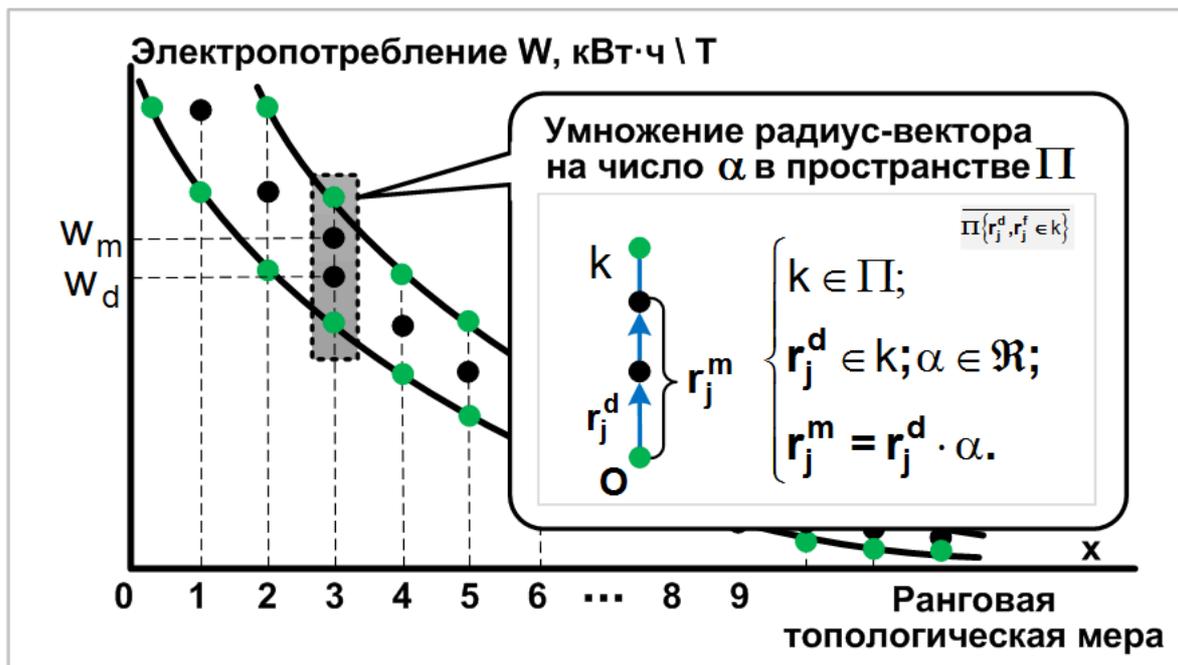


Рисунок 2.7 – Умножение вектора на число в пространстве Π

При рассмотрении алгебраических свойств одномерного пространства Π полагаем, что в нём существует некоторое множество действительных чисел \mathfrak{R} , для которых также справедлива система отношений (2.1). В результате алгебраических операций получается некоторое число и множество \mathfrak{R} , которые устойчивы относительно двух операций: суммы и скалярного кратного. Следовательно, такое множество \mathbf{VR} .

В результате анализа данных примеров видно, что любые другие n-мерные пространства, которые устойчивы относительно двух операций: суммы и скалярного кратного, также образуют \mathbf{VR} . Алгебраически это можно записать следующей системой [44; 46; 82-84]:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \mathfrak{R}^n = \left\{ \begin{pmatrix} \mathbf{r}_1 \\ \dots \\ \mathbf{r}_n \end{pmatrix}, w_i \in \mathfrak{R}^n \right\}; \\
 \left\{ \begin{pmatrix} \mathbf{r}_i \\ \dots \\ \mathbf{r}_n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{r}_j \\ \dots \\ \mathbf{r}_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{r}_i + \mathbf{r}_j \\ \dots \\ \mathbf{r}_n + \mathbf{r}_m \end{pmatrix} \in \mathbf{R}; \\
 \alpha \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{r}_1 \\ \dots \\ \mathbf{r}_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha \cdot \mathbf{r}_1 \\ \dots \\ \alpha \cdot \mathbf{r}_n \end{pmatrix} \in \mathfrak{R}^n.
 \end{array} \right. \quad (2.2)$$

Принципиально важным отличием такого представления ранговых параметрических распределений является возможность исследования различных расстояний между векторами, направлений их перемещений и фазовых сдвигов, что позволяет учесть динамические свойства, а также внешнее воздействие для управления электропотреблением как индивидуально для каждого вектора, так и для всего рангового векторного параметрического распределения [82-84].

Анализ выражений (2.1) и (2.2) показал, что совокупность элементов \mathbf{VR} можно «складывать» друг с другом и «умножать» на числа, получая при этом элементы того же множества, то есть \mathbf{VR} является линейным.

Исследование свойств \mathbf{VR} позволило установить, что все операции, которые можно осуществлять над его элементами, подчинены восьми аксиомам, представляющим собой правила сложения и умножения. Аксиомы векторного рангового пространства отражают следующие свойства векторов: коммутативность, ассоциативность суммы векторов, наличие нейтрального элемента для суммы векторов, наличие противоположного вектора, дистрибутивность умножения на сумму векторов, дистрибутивность произведения суммы чисел на вектор, ассоциативность умножения произведения чисел на вектор, существование нейтрального элемента при умножении чисел на вектор. Алгебраическая запись аксиом в векторном ранговом пространстве представляется следующей системой [44; 82-84]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{r}_i + \mathbf{r}_j = \mathbf{r}_j + \mathbf{r}_i, \forall \mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j \in \mathbf{VR}; \\ (\mathbf{r}_i + \mathbf{r}_j) + \mathbf{r}_k = \mathbf{r}_i + (\mathbf{r}_j + \mathbf{r}_k), \forall \mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j, \mathbf{r}_k \in \mathbf{VR}; \\ \mathbf{r}_i + \mathbf{0} = \mathbf{r}_i, \forall \mathbf{r}_i \in \mathbf{VR}, \mathbf{0} \in \mathbf{VR}; \\ \forall \mathbf{r}_i \in \mathbf{VR} \exists (-\mathbf{r}_i) \in \mathbf{VR} : \mathbf{r}_i + (-\mathbf{r}_i) = \mathbf{0}; \\ \mathbf{1} + \mathbf{r}_i = \mathbf{r}_i, \forall \mathbf{r}_i \in \mathbf{VR}; \\ \alpha \cdot (\mathbf{r}_i + \mathbf{r}_j) = \alpha \cdot \mathbf{r}_i + \alpha \cdot \mathbf{r}_j, \forall \mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j \in \mathbf{VR}, \forall \alpha \in \mathfrak{R}; \\ (\alpha + \mu) \cdot \mathbf{r}_i = \alpha \cdot \mathbf{r}_i + \mu \cdot \mathbf{r}_i, \forall \mathbf{r}_i \in \mathbf{VR}, \forall \alpha, \mu \in \mathfrak{R}; \\ (\alpha \cdot \mu) \cdot \mathbf{r}_i = \alpha \cdot (\mu \cdot \mathbf{r}_i), \forall \mathbf{r}_i \in \mathbf{VR}, \forall \alpha, \mu \in \mathfrak{R}, \end{array} \right. \quad (2.3)$$

где $\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j, \mathbf{r}_k$ – радиус-векторы, проведённые из начала координат к значениям электропотребления векторного рангового распределения;

α, μ – действительные числа;

\mathbf{VR} – векторное ранговое пространство;

\mathfrak{R} – множество действительных чисел, принадлежащее векторному ранговому пространству.

Важной характеристикой \mathbf{VR} является его размерность. Для того чтобы подробно описать данную характеристику, необходимо ввести такое понятие, как система образующих \mathbf{VR} [52; 79].

Пусть в \mathbf{VR} существует система радиус-векторов $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \dots, \mathbf{r}_n \in \mathbf{VR}$. Тогда, если любой вектор из \mathbf{VR} можно представить в виде линейной комбинации данных векторов, данная система называется системой образующих \mathbf{VR} . Если для любого \mathbf{VR} существует такой набор коэффициентов, при котором любой вектор \mathbf{r}_i можно представить в виде линейной комбинации, то данную комбинацию можно записать следующим выражением:

$$\mathbf{r}_i = \alpha_1 \cdot \mathbf{r}_i^1 + \alpha_2 \cdot \mathbf{r}_i^2, \dots, \alpha_n \cdot \mathbf{r}_i^n, \quad (2.4)$$

где $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ – набор линейных коэффициентов;
 $\mathbf{r}_i^1, \dots, \mathbf{r}_i^n$ – радиус-векторы векторного рангового пространства.

Таким образом, учитывая выражения (2.3) и (2.4), видно, что набор векторов $\mathbf{r}_i^1, \mathbf{r}_i^2, \dots, \mathbf{r}_i^n$ порождает \mathbf{VR} .

Близким к понятию системы образующих векторного рангового распределения является понятие базиса \mathbf{VR} , под которым имеется в виду такой набор векторов $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \dots, \mathbf{e}_n$, при котором они удовлетворяют выражению (2.4) и выступают линейно независимой системой векторов. Для подробного описания свойств базиса \mathbf{VR} следует рассмотреть некоторые примеры. Пусть в \mathbf{VR} заданы два радиус-вектора $\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j$ и проведён произвольный вектор \mathbf{r}_e [52; 79]. Примером такого возникновения нового вектора может быть ввод в технологический процесс техноценоза нового объекта, который относится к системе управления данного техноценоза [82-84].

Согласно системе (2.3) и выражению (2.4) вектор \mathbf{r}_k можно представить как линейную комбинацию векторов $\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j$, используя правило параллелограмма (аналогичный пример представлен на рисунке 2.3). При рассмотрении более трёх радиус-векторов \mathbf{VR} вектор \mathbf{a} также можно представить линейной комбинацией двух векторов, присвоив третьему вектору нулевой коэффициент (рисунок 2.8).

Таким образом, можно заключить, что для выражения вектора \mathbf{a} необходимо знать значения минимум двух радиус-векторов, так как один радиус-вектор порождает только одну прямую, которая не является векторным ранговым распределением.

Итак, если векторное ранговое распределение имеет два радиус-вектора и они не параллельны, то данные векторы образуют базис \mathbf{VR} .

При рассмотрении векторного рангового распределения в трёхмерном пространстве, в котором каждому значению из множества \mathbf{W} соответствуют три радиус-вектора, не лежащие в одной плоскости, можно сказать, что данная тройка радиус-векторов является базисом \mathbf{VR} . Понятие базиса \mathbf{VR} связано с понятием его размерности. Пусть существует набор векторов $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \dots, \mathbf{e}_n$, которые выступают базисом, тогда индекс n будет размерностью \mathbf{VR} . Алгебраическая запись выражения размерности \mathbf{VR} может быть представлена следующей формулой [52; 79]:

$$n = \dim \mathbf{VR}, \tag{2.5}$$

где \dim – оператор, обозначающий размерность векторного рангового пространства;

n – размерность векторного рангового пространства.

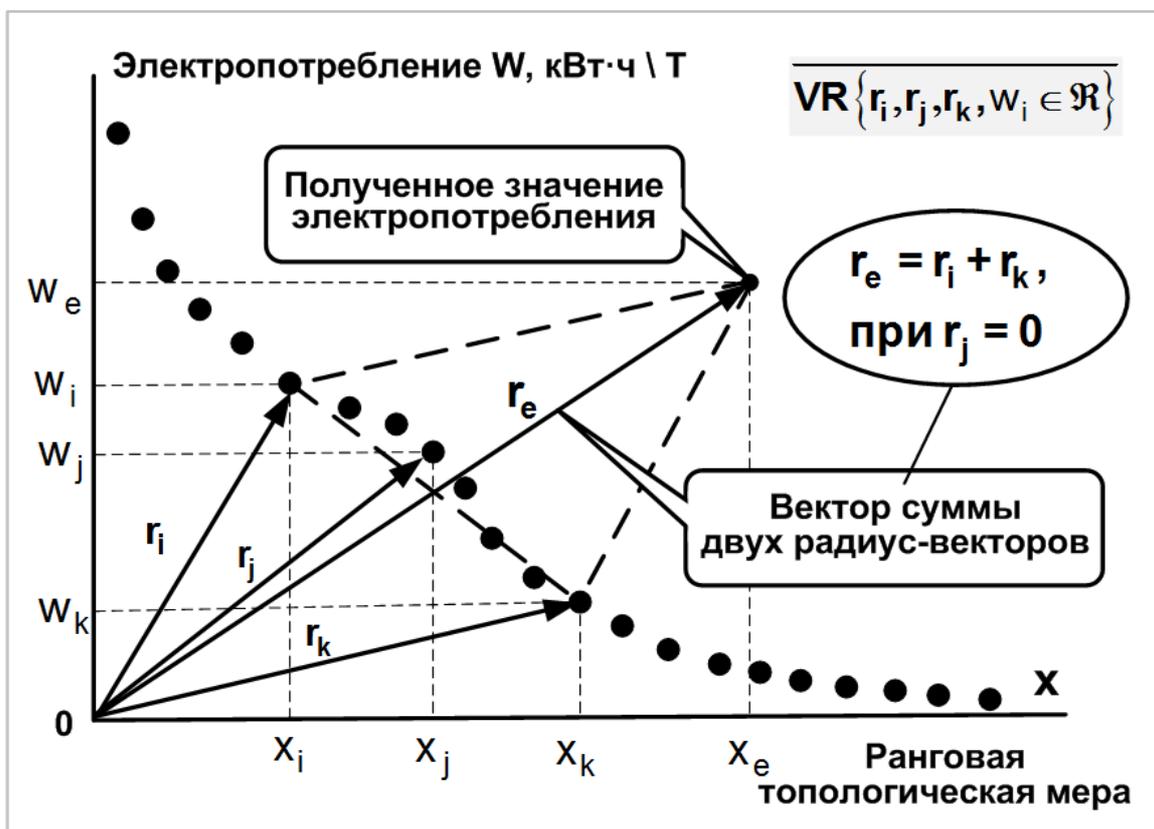


Рисунок 2.8 – Выражение вектора через три радиус-вектора

Из определения размерности понятно, что число n не может быть отрицательным и дробным. В качестве примера рассмотрим двумерное и трёхмерное \mathbf{VR} . Размерность двумерного \mathbf{VR} , которая образована двумя параметрами: ранговой топологической мерой и значением параметра электропотребления, будет $n = \dim \mathbf{VR}^2 = 2$, а для трёхмерного пространства, куда добавлен третий параметр – время, будет $n = \dim \mathbf{VR}^3 = 3$.

Таким образом, размерность \mathbf{VR} является либо неотрицательным целым числом (в частности, равным нулю, если пространство состоит из одного лишь нулевого вектора), либо бесконечностью (существует бесконечное множество векторов).

В первом случае \mathbf{VR} называется конечномерным, а во втором – бесконечномерным. Введём и раскроем данные понятия.

\mathbf{VR} называется бесконечномерным, если для любого натурального n в данном пространстве существует хотя бы одна линейно независимая система, состоящая из n -векторов. Примером такого пространства является векторное ранговое распределение техноценоза как пространство непрерывных и трансцендентных гиперболических функций [82-84; 173].

\mathbf{VR} называется конечномерным, если существует такое натуральное число n , при котором любая система векторов из данного пространства, содержащая $n+1$ или более элементов, линейно зависима. В качестве примера можно привести систему радиус-векторов одного ранга, с помощью которой исследуются индивидуальные свойства объекта техноценоза и которая образует в данный временной момент линейное векторное ранговое пространство.

Анализ [7; 52; 79; 82-84; 147; 173] показал, что для исследования конечномерных \mathbf{VR} и их отображений необходимо использовать математический аппарат линейной алгебры, а при исследовании бесконечномерных \mathbf{VR} – векторный ранговый анализ.

При исследовании бесконечномерных \mathbf{VR} существенную роль играет вопрос о разложимости радиус-векторов по заданной бесконечной системе гиперболических функций, то есть о сходимости соответствующих бесконечных сумм, для чего бесконечномерное \mathbf{VR} рассматривается вместе с дополнительной структурой, позволяющей определять сходимость метрики и топологии.

Таким образом, введённое понятие \mathbf{VR} позволяет впервые представить ранговое параметрическое распределение в векторном виде с учётом того, что существуют два взаимосвязанных множества: значений исследуемого параметра и их радиус-векторов. Такое представление рангового параметрического распределения даёт возможность существенно упростить линейные операции при исследовании индивидуальных и системных свойств объектов техноценоза, дополнить основные свойства теории управления: наблюдаемость, устойчивость, управляемость, оптимальность – методом синтеза процедур рангового анализа и методом управления электропотреблением на основе добавочного ресурса.

В результате исследования векторного рангового пространства введены понятия его размерности и базиса, а также определены аксиомы, которым подчинены операции сложения и умножения элементов данного пространства. Даны определения бесконечномерным и конечномерным векторным ранговым пространствам.

2.3. Область допустимых значений векторного рангового распределения

Ключевое место в исследовании процессов управления электропотреблением техноценозов на основе векторного рангового анализа занимает операция построения области допустимых значений (ОДЗ). ОДЗ представляет собой множество $\mathbf{A} = \{\mathbf{A}_k\}_{k=1}^3$, которое включает в себя три подмножества: $\mathbf{A}_{\langle m \rangle}^1, \mathbf{A}_{\langle k \rangle}^2, \mathbf{A}_{\langle p \rangle}^3$. При этом элементы подмножества $\mathbf{A}_{\langle m \rangle}^1 \left\{ w_1^V, w_2^V, \dots, w_m^V \right\}_{m=1}^n$ соответствуют верхним допустимым значениям параметра электропотребления за временной интервал и образуют вектор $\mathbf{w}_{\langle m \rangle}^V = \left\langle w_1^V, w_2^V, \dots, w_m^V \right\rangle$; элементы подмножества $\mathbf{A}_{\langle k \rangle}^2 \left\{ w_1, w_2, \dots, w_k \right\}_{k=1}^n$ соответствуют элементам вектора $\mathbf{w}_{\langle k \rangle}$; элементы подмножества $\mathbf{A}_{\langle p \rangle}^3 \left\{ w_1^N, w_2^N, \dots, w_p^N \right\}_{p=1}^n$ соответствуют множеству нижних допустимых значений параметра электропотребления за временной интервал и образуют вектор $\mathbf{w}_{\langle p \rangle}^N = \left\langle w_1^N, w_2^N, \dots, w_p^N \right\rangle$. Аналитически общее выражение, определяющее ОДЗ, можно записать в следующем виде:

$$\{\mathbf{A}_k\}_{k=1}^n = \left\{ \mathbf{A}_{\langle m \rangle}^1 \cup \mathbf{A}_{\langle k \rangle}^2 \cup \mathbf{A}_{\langle p \rangle}^3; \mathbf{A}_{\langle m \rangle}^1 \cap \mathbf{A}_{\langle k \rangle}^2 \cap \mathbf{A}_{\langle p \rangle}^3 \notin \emptyset \right\}, \quad (2.6)$$

где $\mathbf{A}_{\langle m \rangle}^1$ – подмножество верхних допустимых значений параметра электропотребления;
 $\mathbf{A}_{\langle k \rangle}^2$ – подмножество значений параметра электропотребления внутри области допустимых значений;
 $\mathbf{A}_{\langle p \rangle}^3$ – подмножество нижних допустимых значений параметра электропотребления за временной интервал.

Построение ОДЗ включает в себя три основных этапа: 1) построение вектора $\mathbf{w}_{\langle k \rangle} \in \mathbf{A}_{\langle k \rangle}^2 \left\{ w_1, w_2, \dots, w_k \right\}_{k=1}^n$; 2) аппроксимация его значений; 3) построение нижнего и верхнего допустимых значений электропотребления для каждого значения вектора $\mathbf{w}_{\langle k \rangle}$.

При построении вектора $\mathbf{w}_{\langle k \rangle}$ осуществляется процедура установления взаимно-однозначного соответствия между его значениями и множеством значений ранговой топологической меры:

$$\mathbf{A}_{\langle k \rangle}^2 \left\{ \mathbf{w}_{\langle k \rangle} \right\}_{k=1}^n \xrightarrow{w: \mathbf{A}_2 \rightarrow \mathbf{R}} \mathbf{R} \left\{ \mathbf{x}_{\langle k \rangle} \right\}_{k=1}^n, \quad (2.7)$$

где $\mathbf{R} \left\{ \mathbf{x}_{\langle k \rangle} \right\}_{k=1}^n$ – множество возможных значений ранговой топологической меры в фиксированный момент времени;
 $w: \mathbf{A}_{\langle k \rangle}^2 \rightarrow \mathbf{R}$ – числовая функция, устанавливающая соответствие между элементами множеств.

Функциональное соответствие между множествами может быть установлено посредством процедуры аппроксимации, в теории рангового анализа аппроксимация носит фундаментальный характер и реализуется после операции ранжирования.

Задача аппроксимации заключается в подборе аналитической зависимости, наилучшим образом описывающей совокупность значений подмножества $\mathbf{A}_{\langle k \rangle}^2 \left\{ \mathbf{w}_{\langle k \rangle} \right\}_{k=1}^n$, которое будет обладать следующим свойством:

$$\mathbf{A}_{\langle k \rangle}^2 \left\{ \mathbf{w}_{\langle k \rangle} : \mathbf{S}_2 = \frac{\mathbf{Y}}{\mathbf{x}_{\langle k \rangle}^\alpha} \right\}_{k=1}^n, \quad (2.8)$$

где \mathbf{Y} и α – параметры значений множества $\mathbf{A}_{\langle k \rangle}^2$;
 \mathbf{x} – непрерывный аналог ранга.

Задача аппроксимации решается различными методами. В данном случае – методом наименьших квадратов [39]. Пусть после первичной обработки получена последовательность $\mathbf{w}_{\langle k \rangle} = \left\langle w_k, w_{(k+1)}, w_{(k+2)} \dots, w_{(k+N)} \right\rangle$, тогда для реализации метода необходимо получить такие параметры аналитической зависимости для множества $\mathbf{A}_{\langle k \rangle}^2 \left\{ \mathbf{w}_{\langle k \rangle} \right\}_{k=1}^n$, которые бы минимизировали сумму квадратов отклонений реально полученных в ходе векторного рангового анализа значений $w_{\langle i \rangle}$ от теоретических значений $w(m_{\langle i \rangle})$. Аналитически данную операцию можно представить в следующем виде:

$$\forall w_{\langle i \rangle} \in \mathbf{A}_{\langle k \rangle}^2 \left\{ \mathbf{w}_{\langle k \rangle} : \mathbf{S}_2 = \frac{\mathbf{Y}}{\mathbf{x}_{\langle k \rangle}^\alpha} \right\}_{k=1}^n ; \sum_{i=1}^n (w_{\langle i \rangle} - w(m_{\langle i \rangle}))^2 \xrightarrow{Y, \alpha} \min. \quad (2.9)$$

Таким образом, на первом этапе построения ОДЗ строится вектор $\mathbf{w}_{\langle k \rangle}$ и осуществляется аппроксимация его значений. На рисунке 2.9 показано графическое представление первого этапа ОДЗ.

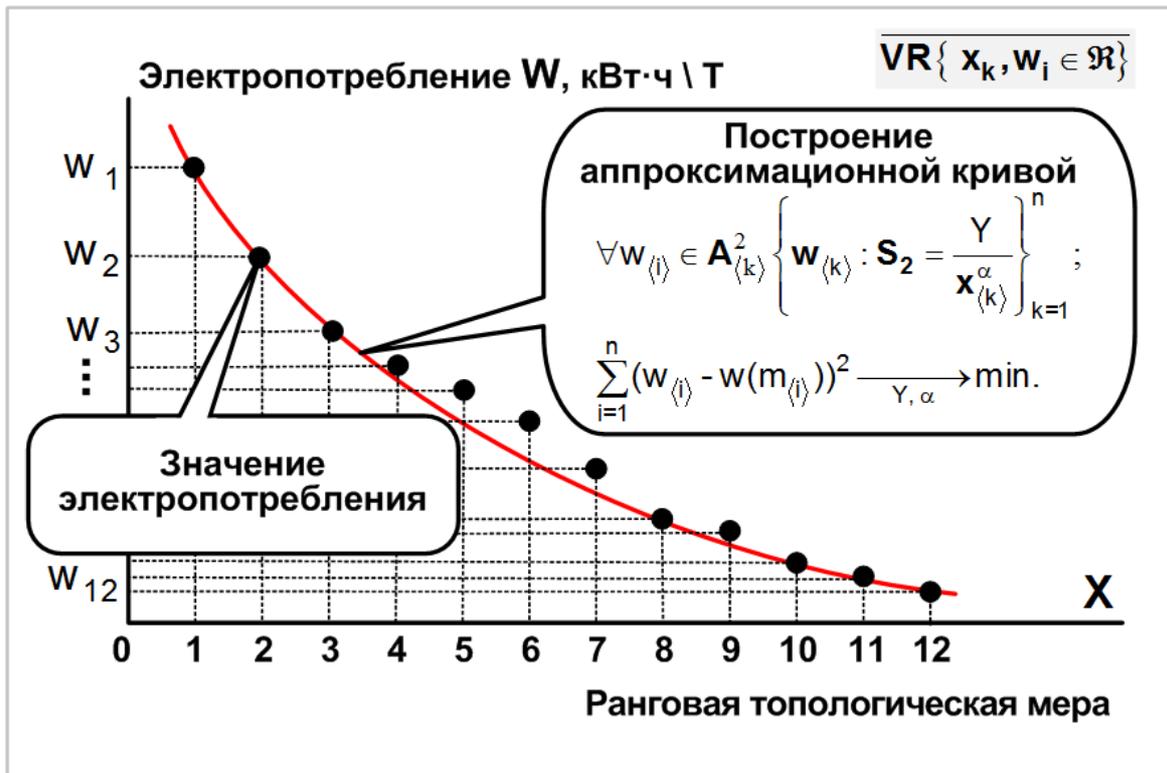


Рисунок 2.9 – Построение аппроксимационной кривой

На втором этапе построения ОДЗ для определения наименьшего и наибольшего допустимых значений строятся проекции значений $w_{\langle i \rangle}$ вектора $\mathbf{w}_{\langle k \rangle}$ на оси абсцисс и ординат. Соответственно, точка пересечений проекций соседних векторов ниже аппроксимационной кривой будет являться наименьшим допустимым значением для вектора высшего ранга $w_{\langle i \rangle}^N$, а выше аппроксимационной кривой – наибольшим допустимым значением для вектора высшего ранга $w_{\langle i \rangle}^V$ (рисунок 2.10).

Из рисунка 2.10 видно, что проекции значения параметра электропотребления в исследуемом ранге задают единственное для него наименьшее и наибольшее значение ОДЗ. Далее формируются векторы нижних допустимых значений $\mathbf{w}_{\langle p \rangle}^N \in A_{\langle p \rangle}^3 \{w_1^N, w_2^N, \dots, w_p^N\}_{p=1}^n$ и верхних допустимых значений $\mathbf{w}_{\langle m \rangle}^V \in A_{\langle m \rangle}^1 \{w_1^V, w_2^V, \dots, w_m^V\}_{m=1}^n$.

На рисунке 2.11 показаны границы нижних и верхних допустимых значений для значений векторного рангового распределения.

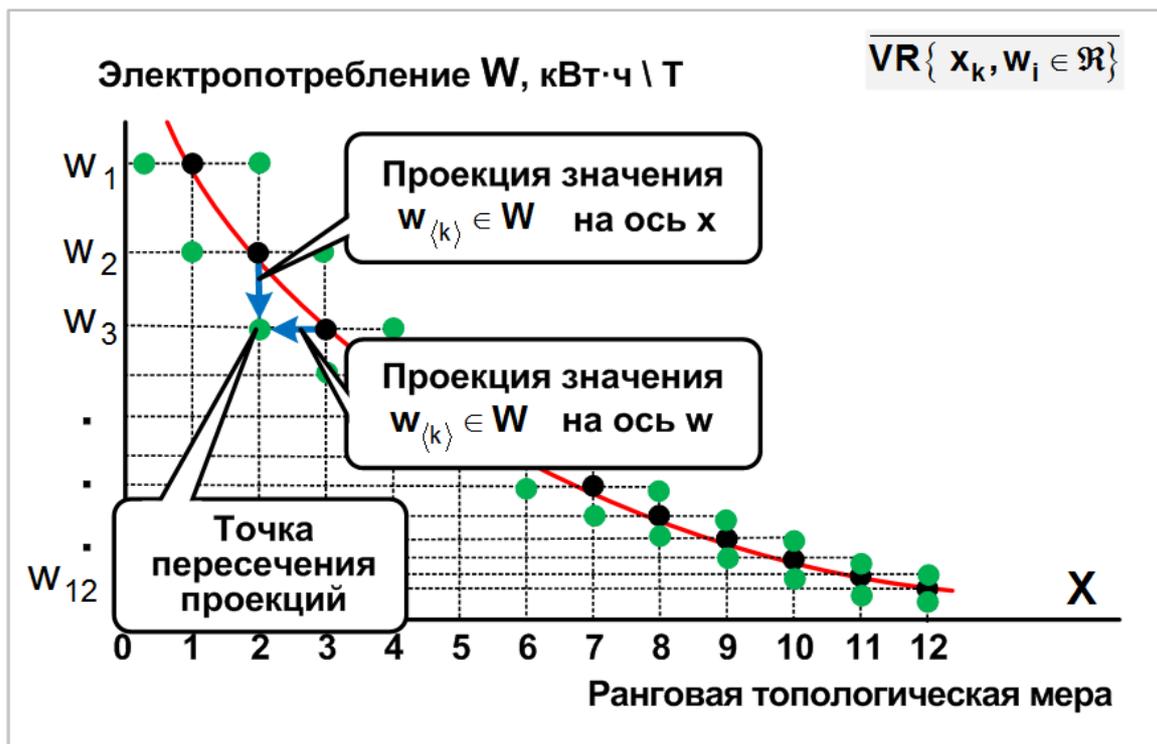


Рисунок 2.10 – Определение нижнего значения области допустимых значений

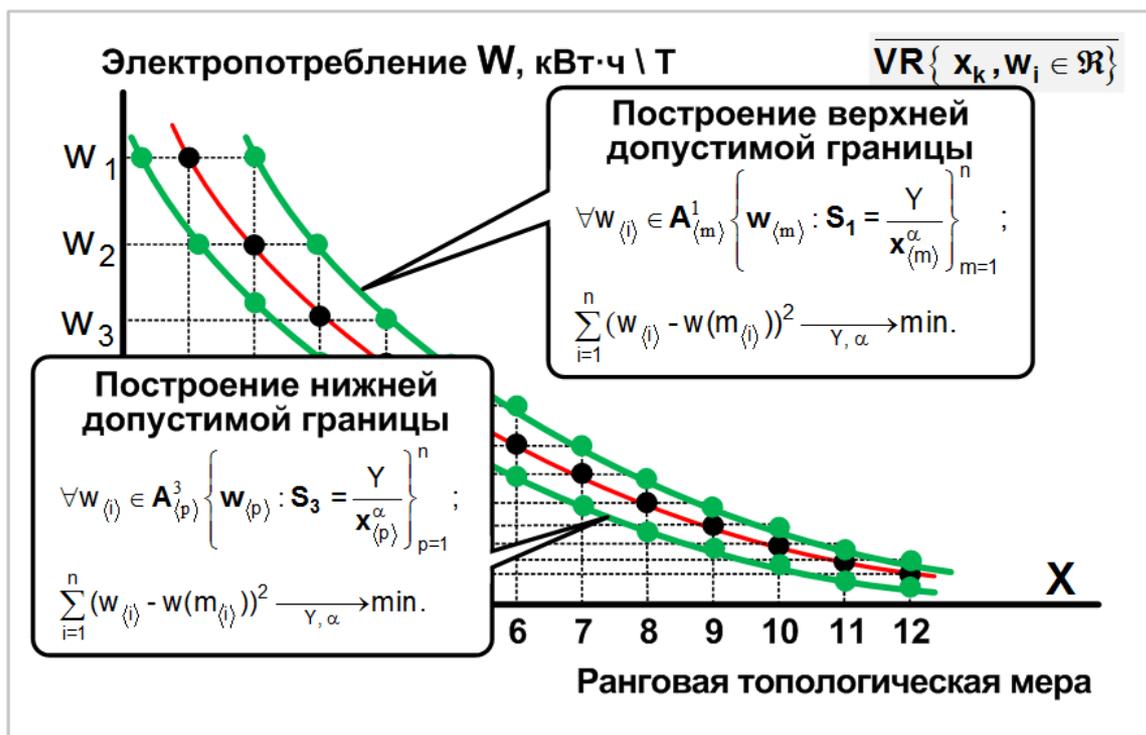


Рисунок 2.11 – Построение границ области допустимых значений векторного рангового распределения

На основе полученных результатов осуществляется построение верхней и нижней допустимых границ ОДЗ. Математическая запись, позволяющая реализовать аппроксимацию вышеуказанных границ, определяется на основе выражения 2.6. Её аналитическая запись представлена следующей системой:

$$\left\{ \begin{aligned} &\forall w_{\langle i \rangle} \in \mathbf{A}_{\langle p \rangle}^3 \left\{ \mathbf{w}_{\langle p \rangle} : \mathbf{S}_3 = \frac{\mathbf{Y}}{\mathbf{x}_{\langle p \rangle}^\alpha} \right\}_{p=1}^n ; \sum_{i=1}^n (w_{\langle i \rangle} - w(m_{\langle i \rangle}))^2 \xrightarrow{Y, \alpha} \min. \\ &\forall w_{\langle i \rangle} \in \mathbf{A}_{\langle m \rangle}^1 \left\{ \mathbf{w}_{\langle m \rangle} : \mathbf{S}_1 = \frac{\mathbf{Y}}{\mathbf{x}_{\langle m \rangle}^\alpha} \right\}_{m=1}^n ; \sum_{i=1}^n (w_{\langle i \rangle} - w(m_{\langle i \rangle}))^2 \xrightarrow{Y, \alpha} \min. \end{aligned} \right. \quad (2.10)$$

Заключительным этапом построения ОДЗ является определение допустимых диапазонов электропотребления для каждого ранга. Для этого через каждое значение $w_{\langle i \rangle} \in \mathbf{W}_{\langle k \rangle}$ между значениями $w_{\langle i \rangle}^V \in \mathbf{W}_{\langle k \rangle}^V$ и $w_{\langle i \rangle}^N \in \mathbf{W}_{\langle k \rangle}^N$ соответственно определённому значению ранговой топологической меры строится D-вектор, который является допустимым диапазоном ОДЗ (рисунок 2.12).

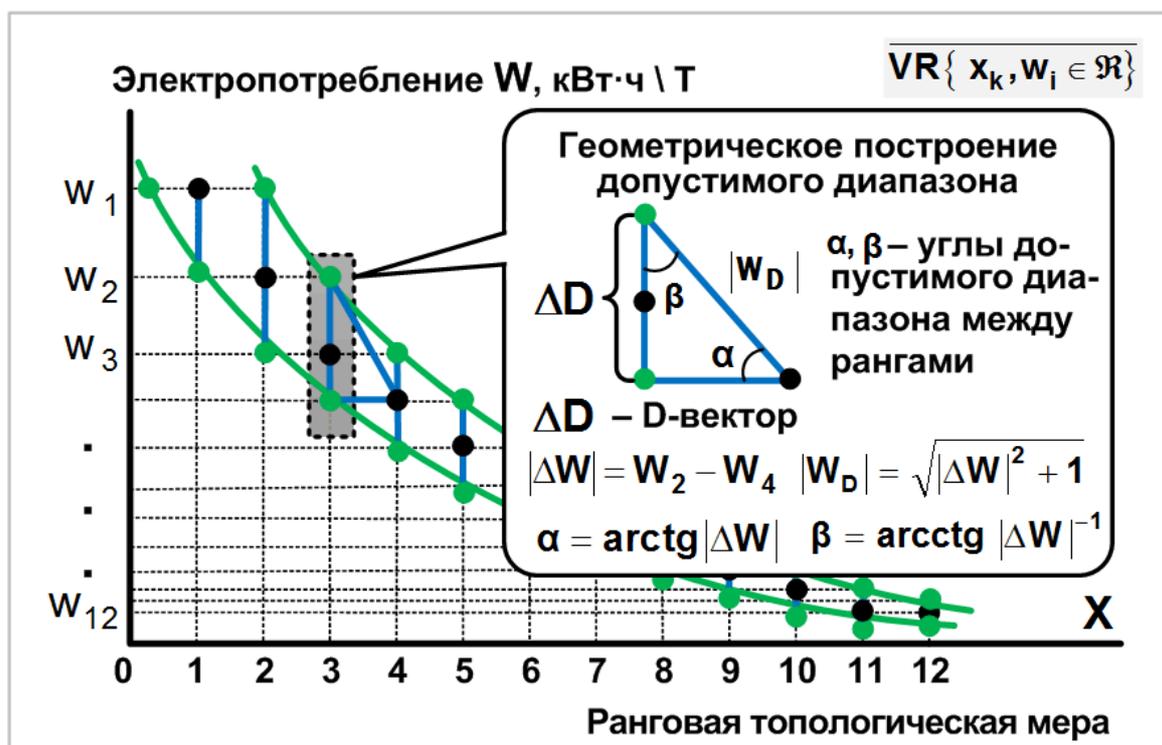


Рисунок 2.12 – Построение допустимого диапазона и определение его параметров

По сути, допустимый диапазон – это разность верхнего и нижнего допустимых значений, или его ранговая топологическая мера.

Таким образом, ключевое место в исследовании процессов управления электропотреблением техноценозов на основе векторного рангового анализа занимает операция построения ОДЗ. Она включает в себя три основных этапа: 1) построение вектора значений параметра; 2) аппроксимация его значений; 3) построение нижнего и верхнего допустимых значений диапазона электропотребления для каждого значения параметра. Отличительной особенностью построения ОДЗ является построение её верхних и нижних допустимых границ. Суть построения заключается в том, что для определения наименьшего и наибольшего допустимых значений строятся проекции их значений вектора на оси абсцисс и ординат. Соответственно, точка пересечения проекций соседних векторов ниже аппроксимационной кривой будет наименьшим допустимым значением для вектора высшего ранга, а выше аппроксимационной кривой – наибольшим допустимым значением для вектора высшего ранга.

2.4. Статические показатели векторного рангового анализа

В пункте 2.2 представлено новое понятие векторного рангового пространства. Разработанный понятийный аппарат позволяет сформировать систему показателей, которая будет использована для реализации методов управления электропотреблением объектов техноценоза на основе векторного рангового анализа.

Как уже отмечалось, ранговое параметрическое распределение можно представить в векторном виде, полагая, что существует два взаимосвязанных множества: значений исследуемого параметра и их радиус-векторов. Учитывая выражения (2.1) – (2.7), можно ввести две группы показателей: статические и динамические. Статические показатели характеризуют состояние объекта в фиксированный момент времени и направлены на исследования его индивидуальных свойств. К ним относятся мера ранговой параметрической близости, ранговая норма и ранговый фазовый угол. Динамические показатели характеризуют процесс функционирования объекта в рамках заданного промежутка времени и направлены на исследование его системных свойств. Основными из них являются ранговая векторная функция, ранговая векторная скорость и ранговое ускорение.

Ключевой статический показатель – мера ранговой параметрической близости. Для пояснения данного показателя необходимо обратить внимание на рисунок 2.13. Как видно, на нем построены два параметрических радиус-вектора Γ_j^a и Γ_j^b , однозначно задающие эмпирические точки, соответствующие электропотреблению двух объектов техноценоза, отстающих друг от друга по ранговому параметрическому распределению на несколько рангов.

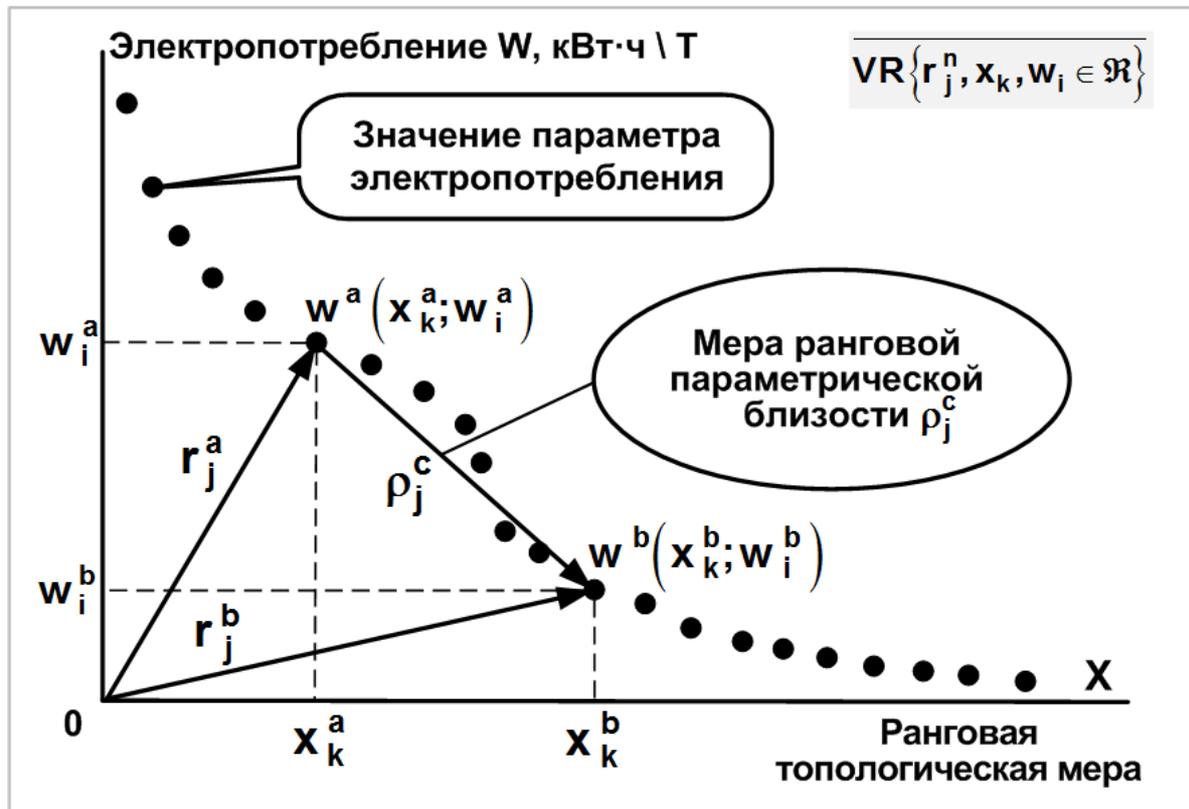


Рисунок 2.13 – Мера векторной ранговой параметрической близости

Прежде всего, необходимо напомнить, что форма задания эмпирической (или произвольной) точки в векторном ранговом параметрическом пространстве позволяет упростить линейные операции в исследовании техноценозов.

Кроме того, на рисунке 2.13 показан отрезок ρ_j^c , соединяющий концы двух радиус-векторов. Очевидно, его длина или норма в векторном ранговом пространстве следующая:

$$\rho_j^c = \mathbf{r}_j^a - \mathbf{r}_j^b = \{x_k^a - x_k^b; w_i^a - w_i^b\}; \mathbf{r}_j^a, \mathbf{r}_j^b \in \mathbf{VR}, \tag{2.11}$$

- где $\mathbf{r}_j^a, \mathbf{r}_j^b$ – радиус-векторы значений электропотребления векторного рангового распределения;
 x_k^a, x_k^b – координаты значений ранговой топологической меры;
 w_i^a, w_i^b – координаты значений электропотребления.

Предлагается назвать ρ_j^c мерой ранговой параметрической близости. Данный показатель позволит характеризовать топологию векторного рангового параметрического распределения и может использоваться в управлении электропотреблением техноценоза.

Следующий показатель – ранговая норма – представляет собой неотрицательный функционал, заданный в \mathbf{VR} и обобщающий понятие длины вектора или абсолютного значения параметра. Данный показатель, например, для вектора \mathbf{r}_j^a (рисунок 2.9) вычисляется по следующему выражению:

$$|\mathbf{r}_j^a| = \sqrt{(x_k^a)^2 + (w_i^a)^2}; \mathbf{r}_j^a \in \mathbf{VR}. \quad (2.12)$$

Ранговая норма задаёт на векторном ранговом пространстве метрику (функцию расстояния метрического пространства), порождая, таким образом, некоторое метрическое пространство, а значит, топологию, базой которой являются множества значений параметра $\mathbf{W} = \{w_i\}_{i=1}^n$ и радиус-векторов $\mathbf{R} = \{\mathbf{r}_j\}_{j=1}^m$.

Для меры ранговой параметрической близости ранговая норма выступает количественной характеристикой и позволяет определить величину параметрического ресурса. Ранговая норма является количественной характеристикой процедур управления электропотреблением. Для процедуры интервального оценивания данный показатель позволяет определить величину дифлекс-параметров. При нормировании и потенцировании электропотребления ранговая норма также количественно характеризует их результаты.

Важным дополнением для оценки меры ранговой параметрической близости является ранговый фазовый угол, который представляет собой угол между двумя радиус-векторами в векторном ранговом пространстве, отложенными от одной точки, и отражает значение, на которое необходимо повернуть один из радиус-векторов вокруг своего начала до положения сонаправленности с другим радиус-вектором (рисунок 2.14).

Значение рангового фазового угла определяет величину, которая характеризует пространственные свойства двух ближайших радиус-векторов, тем самым позволяя установить степень их пространственной близости. Из выражения (2.8) видно, что по значению рангового угла можно получить ранговую норму векторов, тем самым сформировав две матрицы, которые однозначно определяют друг друга, то есть значениям векторов одной матрицы можно сопоставить конкретные значения другой матрицы.

При рассмотрении совокупности ранговых фазовых углов появляется возможность исследовать их крутизну, представляющую собой величину, характеризующую управляющее воздействие на показатели объекта, входящего в его состав. Значения ранговых фазовых углов можно использовать при реализации процедуры прогнозирования. Однако после составления прогноза необходимо будет воспользоваться операцией обратного восстановления данных.

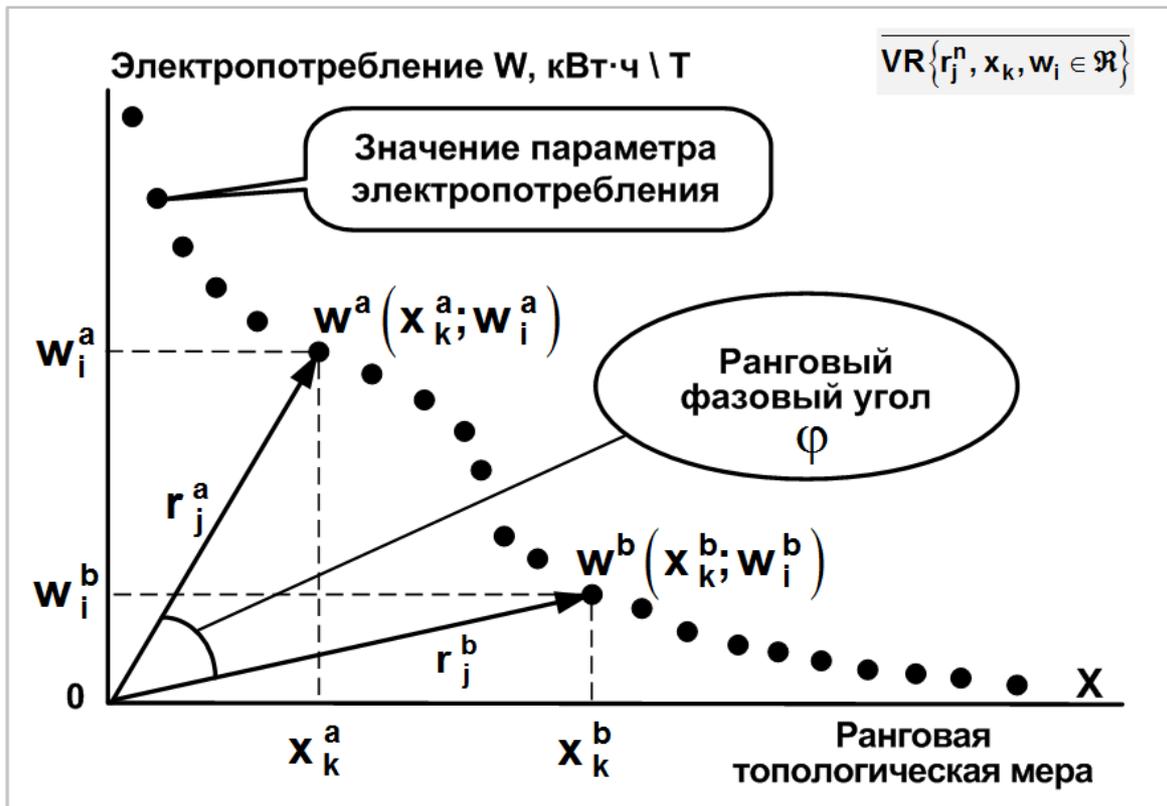


Рисунок 2.14 – Ранговый фазовый угол

Значение косинуса рангового фазового угла определяется по следующему выражению:

$$\cos \varphi = \frac{r_j^a \cdot r_j^b}{|r_j^a| \cdot |r_j^b|}; r_j^a, r_j^b \in VR, \tag{2.13}$$

где r_j^a, r_j^b – скалярные значения радиус-векторов r_j^a и r_j^b ;

$|r_j^a|, |r_j^b|$ – длины радиус-векторов r_j^a и r_j^b .

Таким образом, данный показатель целесообразно использовать для реализации прогнозирования электропотребления объектов техноценоза на различных горизонтах, а также для анализа электропотребления техноценоза на макроуровне.

2.5. Динамические показатели векторного рангового анализа

Исследование динамических свойств векторного рангового пространства позволило впервые ввести и обосновать следующие динамические показатели: ранговую векторную функцию, ранговую векторную скорость и ранговое ускорение.

Рассмотрение динамики элементов векторного рангового распределения, а именно их перемещения в векторном ранговом пространстве с использованием двумерной системы координат, не совсем корректно, так как вектор принадлежащий такому пространству, определяются только одной функцией, описывающей его скалярную величину.

Анализ многочисленных исследований в области математического анализа [7; 39; 48; 53; 73; 112; 127; 134; 147; 148] показал, что для описания динамики вектора необходимо использовать как минимум три функции. Для этого следует зафиксировать трёхмерную прямоугольную систему координат, в которой любой точке, расположенной в ней, будет соответствовать единственный радиус-вектор, имеющий три координаты, каждая из которой описывается функцией некоторой переменной. Тогда в векторном ранговом пространстве можно задать ранговую векторную функцию для данного радиус-вектора, позволяющую исследовать его динамику.

Специфика техноценозов, а также большое количество трудов, посвящённых их исследованию, предъявляют особые требования к выбору параметров, значения которых должны быть отложены на осях прямоугольной системы координат в трёхмерном пространстве. В работах профессора В.И. Гнатюка на данный момент зафиксировано три параметра: дифференциальное электропотребление W (кВт·ч\T), ранговая топологическая мера X и величина дифлекс-параметра ΔW (кВт·ч\T). Оперирование в векторном ранговом пространстве данными параметрами создает возможность комплексной оценки процесса электропотребления техноценоза одновременно как с количественной, так и с качественной точек зрения. Перед тем как представить прямоугольную систему координат трёхмерного векторного рангового пространства исследуемого техноценоза, необходимо пояснить данные параметры [39].

Первый параметр – дифференциальное электропотребление – количественная форма одноименного показателя, фиксируемая счетчиками электроэнергии за интервал времени и определяемая как разность между значениями электропотребления в конце и начале рассматриваемого интервала. В случае стандартизации интервала времени (час, сутки, месяц, квартал, год и т.д.) значение электропотребления конкретного приемника или потребителя электроэнергии в базе данных техноценоза будет фиксироваться в кВт·ч (кВАр·ч, кВА·ч) за принятый промежуток времени [39].

Следует иметь в виду, что в данном случае для векторного рангового пространства рассматривается понятие так называемого дифференциального (от англ. «difference») электропотребления, отражающего разницу в электропотреблении приемника или потребителя в конце и начале стандартизированного (заранее оговоренного) промежутка времени. В качестве единицы измерения здесь следует использовать внесистемную единицу кВт·ч\T (кВАр·ч\T, кВА·ч\T), где T – стандартизированный интервал времени (час, сутки, месяц, квартал, год и т.д.) [39].

Второй параметр – ранговая топологическая мера – количественная форма, отражающая качественное свойство объекта обладать большим или меньшим значением параметра. В конкретном техноценозе ранговая топологическая мера численно определяется как помноженная на количество объектов вероятность того, что в техноценозе будет превышено значение параметра, соотносимое с данной ранговой топологической мерой (при условии, что количество объектов стремится к бесконечности). Она дает континуальное обобщение понятия ранга как целочисленной меры близости объектов по значению параметра в упорядоченной последовательности, построенной по убыванию данного параметра. При этом ранги соответствуют целочисленным значениям ранговой топологической меры и задают на ранговом параметрическом распределении граничные значения параметра, близость к которым, в конечном итоге, и ранжирует объекты. Принципиально важным видится то, что континуальная ранговая топологическая мера позволяет достаточно точно определить место произвольного значения параметра на ранговом параметрическом распределении устойчивого техноценоза [39].

Третий параметр – дифлекс-параметр – отклонение (абсолютное или относительное) эмпирического значения дифференциального электропотребления объекта техноценоза от нижней (или верхней) границы области допустимых значений. Дифлекс-параметр позволяет отражать качество электропотребления по критерию близости к нижней границе области допустимых значений. Понятие качества данного параметра основывается на понимании того, что его величина должна быть как можно меньше по отношению к нижней границе области допустимых значений независимо от того, как расположен объект: выше или ниже нижней границы. Кроме того, дифлекс-параметр может быть использован для оценки ущерба от некачественного управления электропотреблением объектов техноценоза [39].

С учётом вышеуказанных определений для дальнейших исследований построена прямоугольная система координат трёхмерного векторного рангового пространства, где по оси абсцисс отложены значения ранговой топологической меры, по оси ординат – значения дифференциального электропотребления и по оси аппликат – значения дифлекс-параметра (рисунок 2.15).

В качестве исследуемого распределения представлено векторное ранговое распределение, значения которого, принадлежат множеству действительных значений времени t элементов векторного рангового пространства $T = \{t_m\}_{m=1}^p$. Чтобы ввести понятие векторной ранговой функции, необходимо рассмотреть произвольный радиус-вектор $\mathbf{r}_n(t) \in \mathbf{R} = \{r_j\}_{j=1}^m$, проведённый из начала координат к значению векторного рангового распределения a_n .

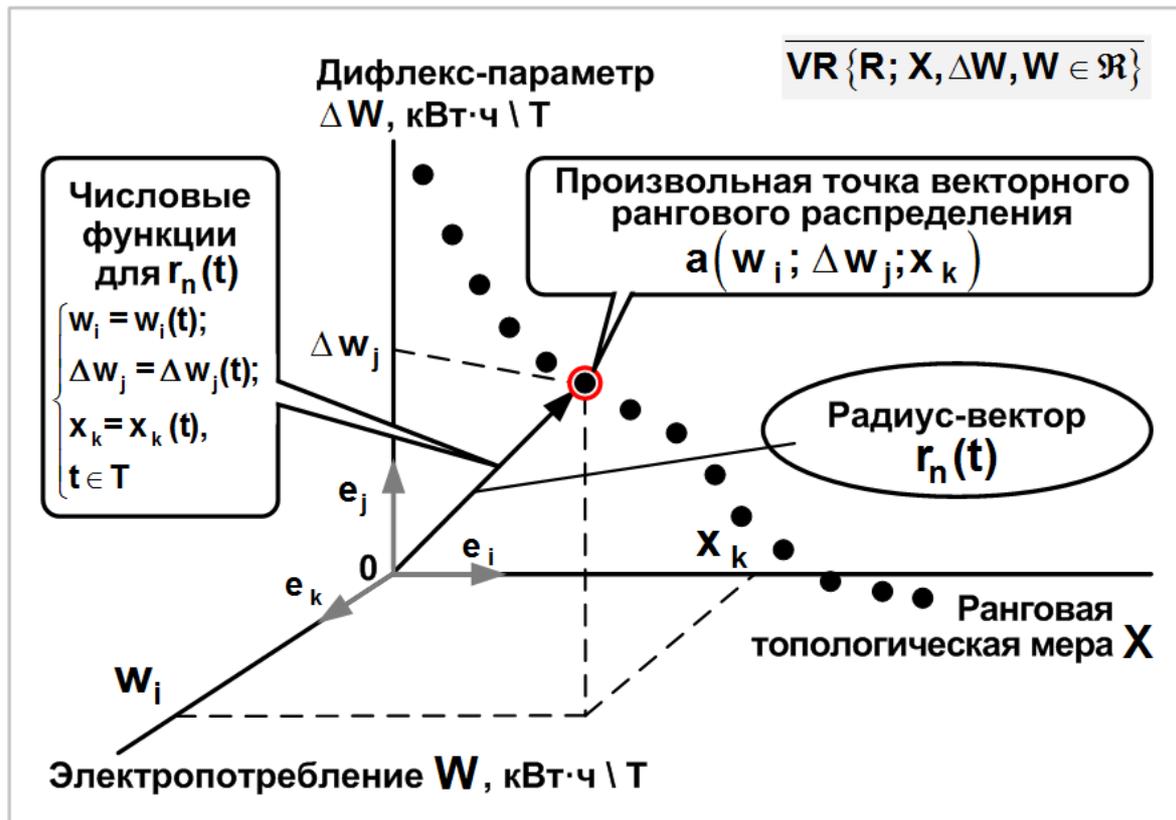


Рисунок 2.15 – Трёхмерное векторное ранговое пространство:
 e_i, e_j, e_k – единичные ортонормированные векторы

Как известно, любой вектор может быть разложен по трём ортам. Кроме того, каждому набору из трех координат будет соответствовать единственный радиус-вектор. Тогда задание векторной функции для $r_n(t)$ эквивалентно заданию следующих трёх числовых функций:

$$r_n(t) = x(t) \cdot i + \Delta w(t) \cdot j + w(t) \cdot k \Leftrightarrow \begin{cases} x_i = x_i(t); \\ \Delta w_j = \Delta w_j(t); \\ w_k = w_k(t); \\ t \in T, \end{cases} \quad (2.14)$$

- где $x_i(t)$ – числовая функция значения ранговой топологической меры за промежуток времени t ;
 $\Delta w_j(t)$ – числовая функция значения дифлекс-параметра за промежуток времени t ;
 $w_k(t)$ – числовая функция значения электропотребления за промежуток времени t ;
 t – действительное значение времени.

Таким образом, под ранговой векторной функцией следует понимать отображение, которое каждому действительному числу $t \in \mathbf{T} = \{t_m\}_{m=1}^P$ ставит в соответствие один и только один радиус-вектор векторного рангового распределения. В упрощённом виде ранговую векторную функцию для $\mathbf{r}_n(\mathbf{t})$ можно записать следующим образом:

$$\mathbf{r}_n(t) = x_i(t) + \Delta w_j(t) + w_k(t). \tag{2.15}$$

В трёхмерном векторном ранговом пространстве с помощью ранговой векторной функции можно описать некоторую пространственную кривую, называемую годографом данной ранговой векторной функции. На рисунке 2.16 показана кривая L, которая является годографом для представленного векторного рангового распределения.

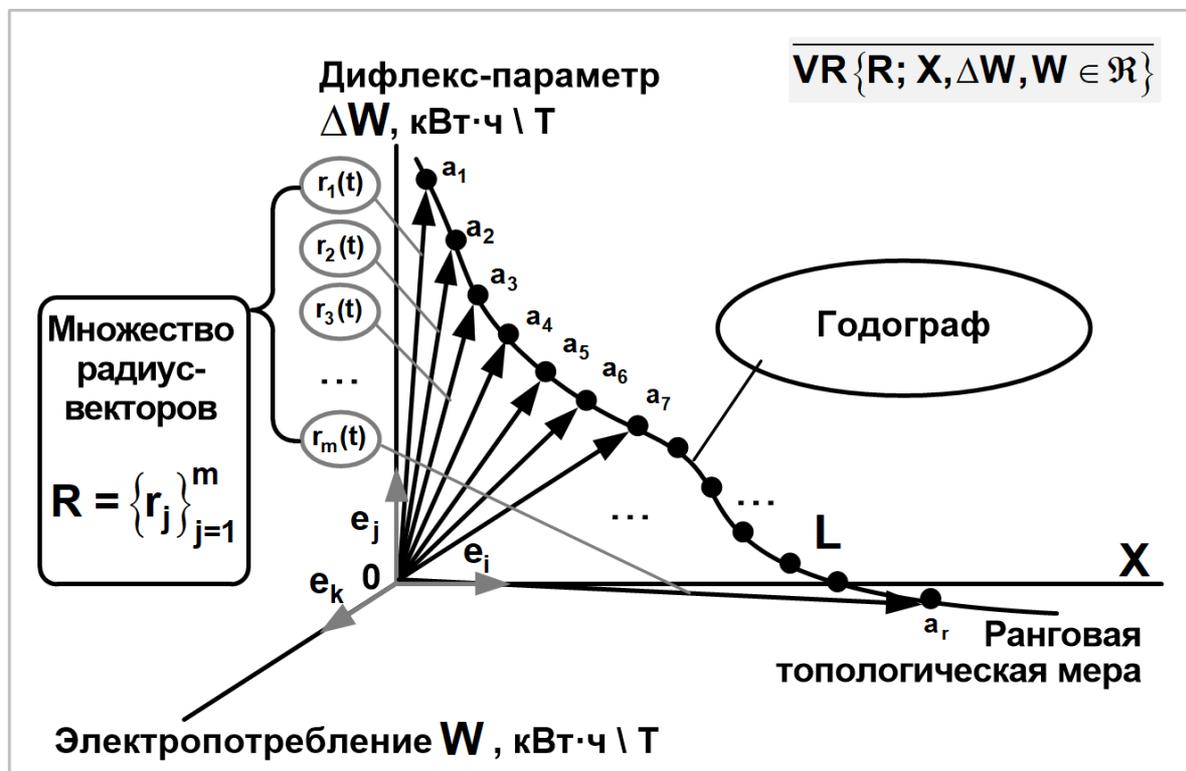


Рисунок 2.16 – Годограф ранговой векторной функции

Годографом ранговой векторной функции называют линию L, описываемую в векторном ранговом пространстве концом радиус-вектора при непрерывном изменении аргумента $t \in \mathbf{T} = \{t_m\}_{m=1}^P \subset \mathfrak{R}$.

Годографы применяются в математике, механике, физике, астрономии, сейсмологии, сейсморазведке и других областях науки. Впервые понятие годографа величины было введено в 1846 году ирландским матема-

тиком, механиком, физиком-теоретиком сэром Уильямом Роуэном Гамильтоном. Изначально строились годографы скорости, затем это понятие было распространено и на другие векторные величины. Самим Гамильтоном было доказано, что годограф скорости тела, находящегося под влиянием одной только силы тяготения, является окружностью [52].

В векторном ранговом анализе с физической точки зрения годограф можно рассматривать как траекторию перемещения между рангами в пространстве объекта техноценоза, а всякую линию L в пространстве – как годограф некоторой ранговой векторной функции.

Для того чтобы описать другие динамические показатели векторного рангового пространства, необходимо ввести понятия предела, непрерывности и производной ранговой векторной функции $r = r(t)$. Будем считать, что ранговая векторная функция $r_n(t) = x(t) \cdot i + \Delta w(t) \cdot j + w(t) \cdot k$ определена в некоторой окрестности точки $t_0 \in \mathbf{T}$, то есть в окрестности точки t_0 определены функции $x(t), \Delta w(t), w(t)$.

Тогда вектор $r_0(t) = x_0(t) \cdot i + \Delta w_0(t) \cdot j + w_0(t) \cdot k$ называется пределом ранговой векторной функции $r_n(t) = x(t) \cdot i + \Delta w(t) \cdot j + w(t) \cdot k$ при $t \rightarrow t_0$, если она определена в проколотой окрестности $\dot{O}_\delta(t_0)$ и $\lim_{t \rightarrow t_0} x(t) = x_0, \lim_{t \rightarrow t_0} \Delta w(t) = \Delta w_0, \lim_{t \rightarrow t_0} w(t) = w_0$.

Из определения видно, что использовано новое понятие «проколотая окрестность». Следует его пояснить. Наиболее часто определение предела функции формулируют на языке окрестностей. То, что предел функции рассматривается только в точках, предельных для области определения функции, означает, что в каждой окрестности данной точки есть точки области определения. Это позволяет говорить о стремлении аргумента функции к данной точке. Но предельная точка области определения не обязана принадлежать самой области определения: например, можно рассматривать предел функции на концах открытого интервала, на котором определена функция (сами концы интервала в область определения не входят). В случае если необходимо точно указывать способ сходимости функции, вводят понятие базы подмножеств области определения функции. В этом смысле система проколотых окрестностей – частный случай такой базы [180].

Таким образом, для того чтобы вычислить предел ранговой векторной функции, достаточно найти соответствующие пределы координат этой функции. Если хотя бы один из пределов координат функции $r_n(t)$ не существует, то не существует и предел $\lim_{t \rightarrow t_0} r(t)$.

Основные правила нахождения пределов справедливы и для ранговой векторной функций и представлены следующей системой:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \lim_{t \rightarrow t_0} [r_1(t) + r_2(t)] = \lim_{t \rightarrow t_0} r_1(t) + \lim_{t \rightarrow t_0} r_2(t); \\
 \lim_{t \rightarrow t_0} [r_1(t) - r_2(t)] = \lim_{t \rightarrow t_0} r_1(t) - \lim_{t \rightarrow t_0} r_2(t); \\
 \lim_{t \rightarrow t_0} [r_1(t) \cdot r_2(t)] = \left[\lim_{t \rightarrow t_0} r_1(t) \cdot \lim_{t \rightarrow t_0} r_2(t) \right]; \\
 \lim_{t \rightarrow t_0} \frac{r_1(t)}{r_2(t)} = \frac{\lim_{t \rightarrow t_0} r_1(t)}{\lim_{t \rightarrow t_0} r_2(t)}; \\
 \lim_{t \rightarrow t_0} [r_1(t)]^N = \left[\lim_{t \rightarrow t_0} r_1(t) \right]^N; \\
 \lim_{t \rightarrow t_0} \sqrt[N]{r_1(t)} = \sqrt[N]{\lim_{t \rightarrow t_0} r_1(t)}; \\
 \lim_{t \rightarrow t_0} c = c,
 \end{array} \right. \quad (2.16)$$

где $r_1(t), r_2(t)$ – ранговые векторные функции;
 N – натуральное число;
 c – константа.

Первое уравнение в системе (2.16) показывает, что предел суммы равен сумме пределов. Второе – что предел разности равен разности пределов. Третье – что предел произведения равен произведению пределов. Четвёртое – что предел отношения равен отношению пределов. Пятое отражает то, как находится предел ранговой векторной функции в степени. Аналогично шестое уравнение отражает операцию нахождения предела корня из ранговой векторной функции. Седьмое уравнение показывает, что предел постоянной величины равен постоянной величине [7; 48; 147; 148].

Ранговая векторная функция $r = r(t)$ называется непрерывной в точке t_0 , если она определена в проколотой области $\dot{O}_\delta(t_0)$ и выполняется следующее условие эквивалентности:

$$\begin{aligned}
 \lim_{t \rightarrow t_0} r(t) = r(t_0) &\Leftrightarrow \lim_{t \rightarrow t_0} r(t) = \\
 &= \lim_{t \rightarrow t_0} x(t) \cdot i + \lim_{t \rightarrow t_0} \Delta w(t) \cdot j + \lim_{t \rightarrow t_0} w(t) \cdot k = \\
 &= x_0(t) \cdot i + \Delta w_0(t) \cdot j + w_0(t) \cdot k,
 \end{aligned} \quad (2.17)$$

где $x_0(t), \Delta w_0(t), w_0(t)$ – ранговые векторные функции, определённые в точке t_0 .

Непрерывность ранговой векторной функции $r = r(t)$ при $t = t_0$ в силу условия эквивалентности (2.12) означает, что ее координаты $x(t), \Delta w(t), w(t)$ непрерывны в точке t_0 .

Из определения непрерывности ранговой векторной функции и свойств её пределов следует, что сумма, векторное и скалярное произведения ранговых векторных функций $r_1(t)$ и $r_2(t)$, принадлежащих одному векторному ранговому распределению, являются непрерывными функциями при $t = t_0$, если вектор-функции $r_1(t)$ и $r_2(t)$ непрерывны в точке t_0 .

Следующее важное понятие, которое необходимо ввести, – производная ранговой векторной функции. Для этого придадим независимому аргументу приращение Δt и рассмотрим радиус-вектор $\Delta r(t_0) = r(t_0 + \Delta t) - r(t)$. Тогда отношение $\frac{\Delta r(t_0)}{\Delta t} = \frac{r(t_0 + \Delta t) - r(t)}{\Delta t}$ будет определено в соответствующей проколотой окрестности $\dot{O}_\delta(t_0)$ для произвольной точки t_0 .

Таким образом, если существует предел отношения приращения $\Delta r(t_0)$ ранговой векторной функции в точке t_0 к приращению скалярного аргумента Δt при $\Delta t \rightarrow 0$, то этот предел называется производной ранговой векторной функции $r(t)$ в точке t_0 и обозначается $r'(t_0)$.

Вычисление производной от ранговой векторной функции сводится к вычислению первых производных ее координат и определяется выражением

$$r'(t_0) = x'(t_0) \cdot i + \Delta w'(t_0) \cdot j + w'(t_0) \cdot k, \quad (2.18)$$

где $x'(t_0)$ – производная координаты ранговой топологической меры в точке t_0 ;

$\Delta w'(t_0)$ – производная координаты дифлекс-параметра в точке t_0 ;

$w'(t_0)$ – производная координаты электропотребления в точке t_0 ;

t_0 – точка начала перемещения на годографе векторной ранговой функции.

Для описания геометрических свойств производной векторной ранговой функции следует рассмотреть следующий пример. Пусть ранговая век-

торная функция $r(t)$ определена на множестве \mathbf{T} , непрерывна в точке $t_0 \in \mathbf{T}$ и кривая L является её годографом (рисунок 2.17). Точке $a_i \in L$ соответствует значение радиус-вектора $r(t_0)$, а точке $a_{i+4} \in L$ – значение радиус-вектора $r(t_0 + \Delta t)$, где $\Delta t \neq 0$. Тогда приращение ранговой векторной функции $\Delta r(t_0) = r(t_0 + \Delta t) - r(t_0)$, представляющее собой разность двух векторов векторного рангового распределения, есть вектор, соединяющий конец вектора уменьшаемого с концом вектора вычитаемого. Отношение $\frac{\Delta r(t_0)}{\Delta t}$ есть вектор, коллинеарный $\Delta r(t_0)$, так как он отличается от последнего лишь скалярным множителем.

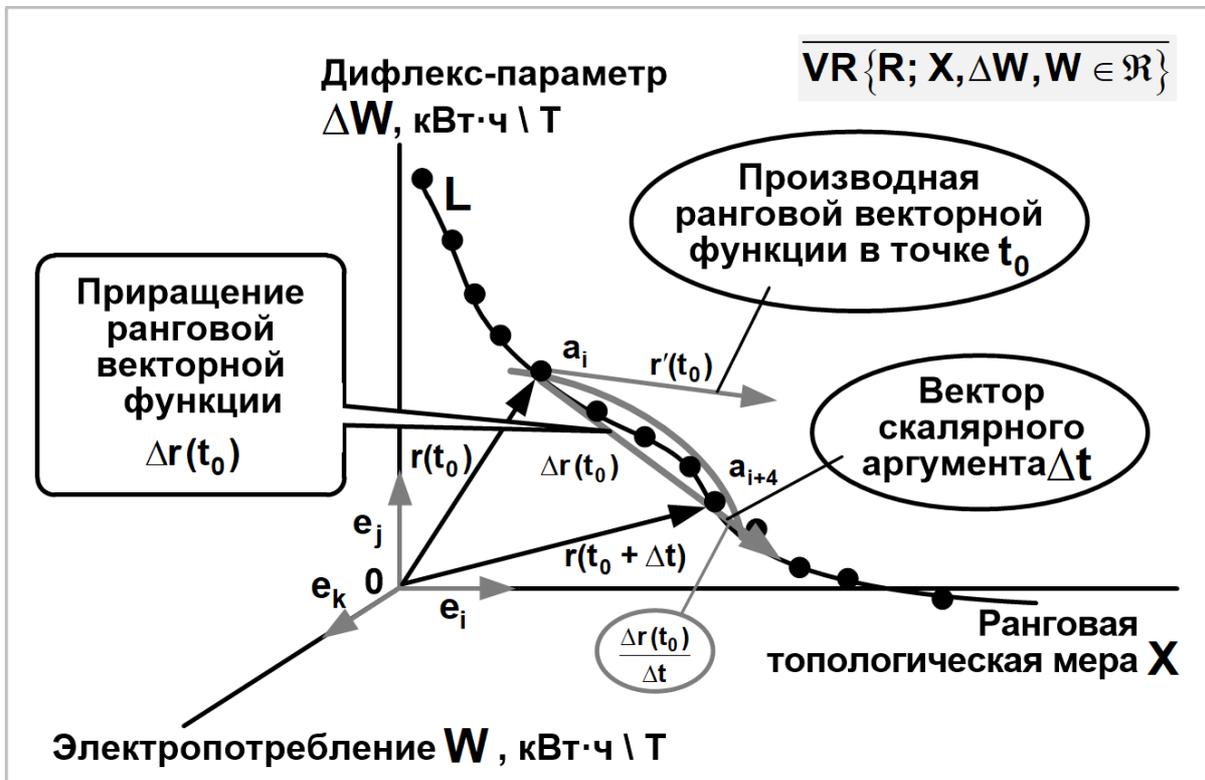


Рисунок 2.17 – Геометрические свойства производной ранговой векторной функции

На рисунке 2.17 видно, что вектор $\frac{\Delta r(t_0)}{\Delta t}$ совпадает по направлению с секущей через точки a_i и a_{i+4} . При $\Delta t \rightarrow 0$ значение векторного рангового распределения перемещается по кривой L . Отсюда следует, что вектор $r'(t_0)$ совпадает по направлению с касательной к годографу в точке $a_i \in L$ и направлен в сторону возрастания параметра t .

Таким образом, с геометрической точки зрения производная ранговой векторной функции в точке t_0 есть вектор $r'(t_0)$, направленный по касательной к годографу этой функции в сторону возрастания параметра t .

Рассмотренные выше понятия позволили ввести для векторного рангового пространства следующие два динамических показателя: ранговую векторную скорость и ранговое ускорение.

На рисунке 2.14 показано, как изменяется значение электропотребления объекта техноценоза и его ранг по годографу ранговой векторной функции $r(t)$ за некоторый промежуток Δt . Вектор $\Delta r(t_0)$ задает данное

перемещение. Отношение $\frac{\Delta r(t_0)}{\Delta t}$ есть средняя скорость перемещения значения электропотребления объекта техноценоза за время Δt . Переходя к пределу при $\Delta t \rightarrow 0$, можно определить мгновенную скорость v точки в момент времени t_0 [7; 48; 53; 73; 112; 127; 134; 147; 148].

Таким образом, введём понятие ранговой векторной скорости, под которой следует понимать значение производной ранговой векторной функции, характеризующей перемещение значения электропотребления объекта техноценоза в векторном ранговом пространстве по годографу. Аналитическое выражение для определения ранговой векторной скорости выглядит следующим образом:

$$v(t) = r'(t_0) = \lim_{t \rightarrow t_0} \frac{\Delta r(t_0)}{\Delta t} = x'(t_0) \cdot i + \Delta w'(t_0) \cdot j + w'(t_0) \cdot k, \quad (2.19)$$

- где $\Delta r(t_0)$ – средняя скорость перемещения значения электропотребления объекта техноценоза за время Δt ;
- Δt – промежуток времени, заданный на годографе ранговой векторной функции;
- $x'(t_0)$ – производная координаты ранговой топологической меры в точке t_0 ;
- $\Delta w'(t_0)$ – производная координаты дифлекс-параметра в точке t_0 ;
- $w'(t_0)$ – производная координаты электропотребления в точке t_0 ;
- t_0 – точка начала перемещения на годографе ранговой векторной функции.

При дальнейшем исследовании векторного рангового пространства можно заключить, что производная ранговой векторной функции сама является ранговой векторной функцией скалярного аргумента, и ее можно дифференцировать.

Тогда производная от функции $r'(t)$ в точке $t = t_0$ называется второй производной ранговой векторной функции $r(t)$ по скалярному аргументу t в точке t_0 и может обозначаться как $r''(t_0)$, $\frac{d^2r(t_0)}{dt^2}$, $\left. \frac{dr'(t)}{dt} \right|_{t=t_0}$.

Ранее по тексту определено, что первая производная $r'(t_0)$ равна ранговой векторной скорости в заданный момент времени t_0 . Тогда вектор векторного рангового распределения, равный производной скорости по времени в момент времени t_0 , называется ранговым ускорением и определяется по выражению

$$\mathbf{u}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2r(t_0)}{dt^2} = r''(t_0), \quad (2.20)$$

где $\mathbf{u}(t)$ – ранговое ускорение;
 Δt – промежуток времени, заданный на годографе векторной ранговой функции;
 \mathbf{v} – ранговая векторная скорость;
 $r(t_0)$ – ранговая векторная функция в момент времени t_0 ;
 t_0 – точка начала перемещения на годографе векторной ранговой функции.

С физической точки зрения ранговое ускорение – это показатель, определяющий степень управляющего воздействия на быстроту изменения ранговой скорости при управлении электропотреблением (например, организационное указание). Ранговое ускорение позволяет впервые обосновать и определить порядок снижения электропотребления индивидуально для каждого объекта.

Таким образом, исследование динамических свойств векторного рангового пространства позволило впервые ввести и обосновать следующие динамические показатели: ранговую векторную функцию, ранговую векторную скорость и ранговое ускорение. Для этого впервые была построена прямоугольная система координат трёхмерного векторного рангового пространства, где по оси абсцисс отложены значения ранговой топологической меры, по оси ординат – значения дифференциального электропотребления и по оси аппликат – значения дифлекс-параметра.

Представление векторного рангового распределения в трёхмерном ранговом пространстве позволило впервые ввести понятие векторной ранговой функции, представляющее собой отображение, которое каждому действительному числу временного интервала ставит в соответствие один

и только один радиус-вектор. Подробно исследованы свойства векторной ранговой функции: непрерывность, производная и предел. Сформулированы основные правила нахождения пределов ранговой векторной функций.

Учитывая свойства ранговой векторной функции, впервые введён показатель векторной ранговой скорости, под которой следует понимать значение производной векторной ранговой функции, характеризующей перемещение значения электропотребления объекта техноценоза в векторном ранговом пространстве по годографу.

Введение показателя рангового ускорения, представляющего собой вторую производную от ранговой векторной функции в заданной точке временного интервала, позволило впервые создать инструмент для исследования управляющего воздействия индивидуально для каждого объекта.

2.6. Обоснование С-матрицы векторного рангового пространства

В функциональном ранговом анализе, основоположником которого является профессор В.И. Гнатюк [36-51], теоретически обоснованы, разработаны и реализованы стандартные процедуры рангового анализа: интервальное оценивание, прогнозирование, нормирование, потенширование, а также тонкие дополнения к ним: дифлекс-анализ, GZ-анализ, ASR-анализ и ZP-анализ. Разработаны уточняющие процедуры: МС-прогнозирование, режимное нормирование и DC-анализ. Метод векторного рангового анализа позволяет обосновать научно-методологические предпосылки синтеза процедур рангового анализа, а также расчёта добавочного ресурса при исследовании динамики управления электропотреблением техноценоза.

Ключевым моментом для реализации данных предпосылок является введение понятия С-матрицы, представляющей собой прямоугольную матрицу, векторы которой принадлежат векторному ранговому пространству и отражают результаты процедур интервального оценивания, прогнозирования и нормирования. В векторном ранговом анализе для формирования С-матрицы вводятся следующие показатели: мера векторной ранговой параметрической близости для дифлекс-параметра; мера векторной ранговой параметрической близости ошибки прогноза и мера векторной ранговой параметрической близости отклонения нормы электропотребления [81-85].

Мера ранговой параметрической близости для дифлекс-параметра определяется величиной ранговой нормы $\left| \rho_i^d \right|$.

На рисунке 2.18 в качестве примера показано, как она вычисляется для значения электропотребления четвёртого ранга векторного рангового распределения.

Следует напомнить, что под дифлекс-параметром понимается отклонение (абсолютное или относительное) эмпирического значения параметра электропотребления объекта от нижней (или верхней) границы ОДЗ.

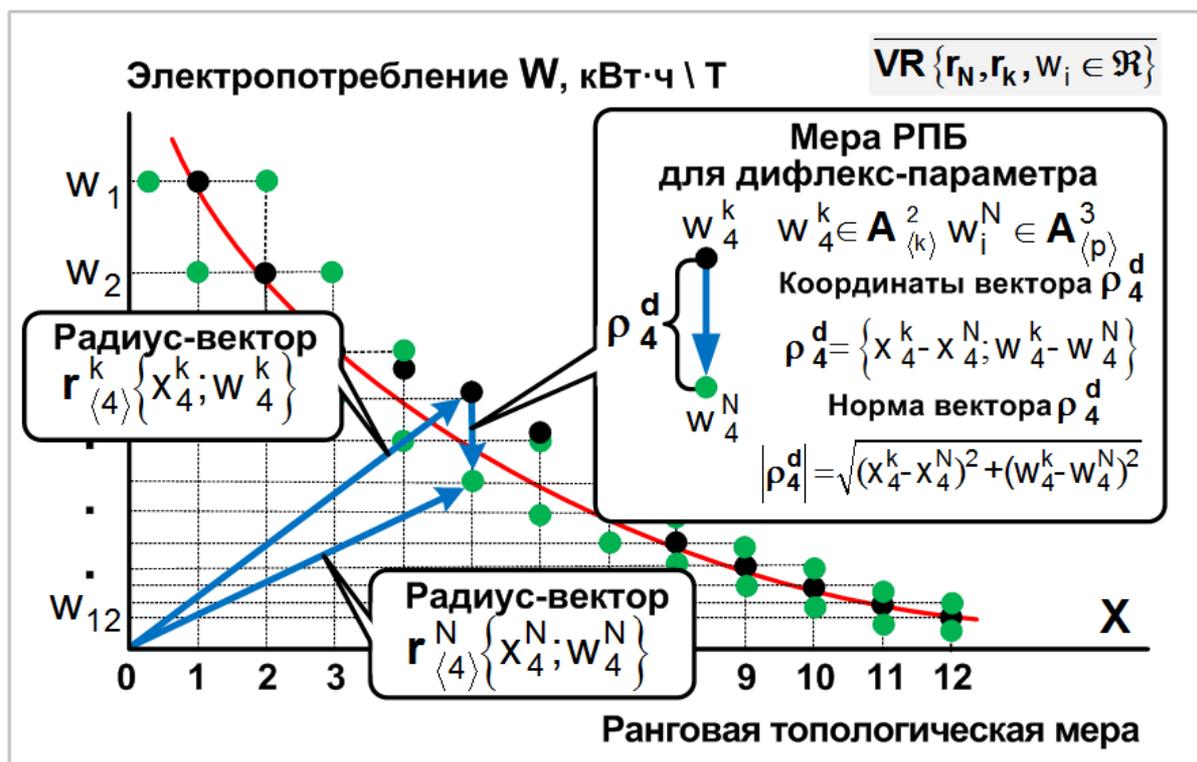


Рисунок 2.18 – Геометрические характеристики меры ранговой параметрической близости для дифлекс-параметра:

- W_4^k – значение электропотребления для четвертого ранга;
- W_4^N – нижнее допустимое значение для четвертого ранга

В результате анализа рисунка 2.18 видно, что ранговая норма $|\rho_4^d|$, определяющая меру ранговой параметрической близости между величиной электропотребления W_4^k и нижним значением ОДЗ W_4^N для четвертого ранга, представляет собой разность двух радиус-векторов $r_{(4)}^k$ и $r_{(4)}^N$. Причём W_4^k принадлежит подмножеству значений параметра $\mathbf{A}_{\langle k \rangle}^2 \{W_1, W_2, \dots, W_k\}_{k=1}^n$, а W_4^N – подмножеству нижних допустимых значений $\mathbf{A}_{\langle p \rangle}^3 \{W_1^N, W_2^N, \dots, W_p^N\}_{p=1}^n$.

Таким образом, расчётное выражение суммарного вектора значений меры ранговой параметрической близости для дифлекс-параметра можно представить следующим образом:

$$|\rho_4^d| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_4^k - X_4^N)^2 + \sum_{j=1}^n (W_4^k - W_4^N)^2}, \tag{2.21}$$

где w_4^k – координата значения электропотребления для четвёртого ранга;
 w_4^N – координата нижнего допустимого значения области допустимых значений для четвёртого ранга;
 x_4^k – координата ранговой топологической меры значения электропотребления для четвёртого ранга;
 x_4^N – координата ранговой топологической меры нижнего допустимого значения области допустимых значений для четвёртого ранга.

Следующим элементом С-матрицы является мера ранговой параметрической близости ошибки прогноза [81-85]. Геометрические свойства данного параметра будут также рассмотрены для четвёртого ранга векторного рангового распределения .

На рисунке 2.19 показано, как вычисляется мера ранговой параметрической близости ошибки прогноза, определяемая величиной ранговой нормы.

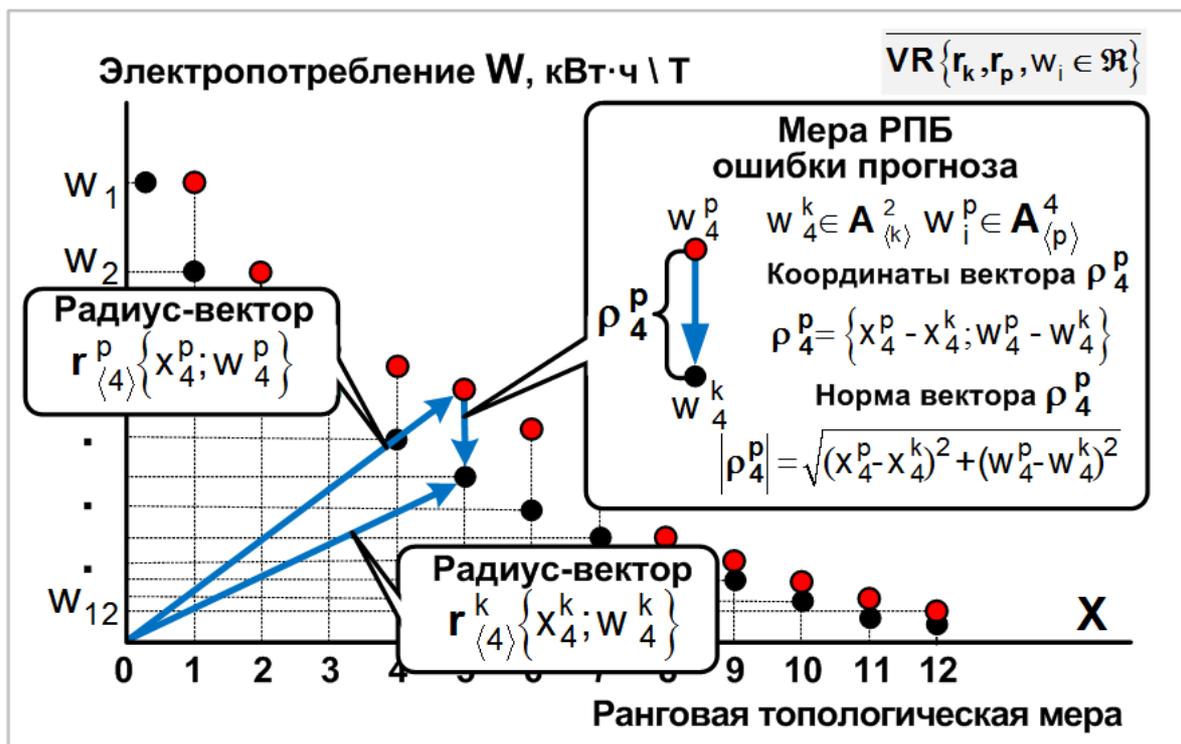


Рисунок 2.19 – Геометрические характеристики меры ранговой параметрической близости ошибки прогноза:

w_4^k – значение электропотребления для четвёртого ранга;
 w_4^p – значение ошибки прогноза для четвёртого ранга

Как и для предыдущего параметра, она представляет собой разность двух радиус-векторов $r_{(4)}^p$ и $r_{(4)}^k$. Причём $r_{(4)}^p$ принадлежит подмноже-

ству прогнозных значений $A_{\langle p \rangle}^4 \{w_1^p, w_2^p, \dots, w_k^p\}_{k=1}^n$, а $r_{\langle 4 \rangle}^k$ – подмножеству значений параметра электропотребления в единицу времени $A_{\langle k \rangle}^2 \{w_1, w_2, \dots, w_k\}_{k=1}^n$.

Анализ рисунка 2.19 показал, что для расчёта суммарного вектора значений меры ранговой параметрической близости ошибок прогноза следует воспользоваться выражением

$$|\rho_4^p| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_4^p - x_4^k)^2 + \sum_{j=1}^n (w_4^p - w_4^k)^2}, \quad (2.22)$$

где w_4^k – координата значения электропотребления для четвёртого ранга;
 w_4^p – координата значения ошибки прогноза для четвёртого ранга;
 x_4^k – координата ранговой топологической меры значения электропотребления для четвёртого ранга;
 x_4^p – координата ранговой топологической меры значения ошибки прогноза для четвёртого ранга.

Важным элементом С-матрицы является мера ранговой параметрической близости отклонения нормы электропотребления. Для четвёртого ранга она определяется величиной ранговой нормы $|\rho_4^n|$ вектора, представляющего собой разность двух радиус-векторов: $r_{\langle 4 \rangle}^n$, принадлежащего подмножеству значений норм электропотребления $A_{\langle m \rangle}^5 \{w_1^n, w_2^n, \dots, w_k^n\}_{k=1}^m$, и $r_{\langle 4 \rangle}^N$, принадлежащего подмножеству нижних допустимых значений $A_{\langle p \rangle}^3 \{w_1^N, w_2^N, \dots, w_p^N\}_{p=1}^n$ (рисунок 2.20).

Соответственно, аналитическое выражение для расчёта данного параметра можно представить выражением

$$|\rho_4^n| = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_4^n - x_4^N)^2 + \sum_{j=1}^m (w_4^n - w_4^N)^2}, \quad (2.23)$$

где w_4^n – координата значения нормы электропотребления для четвёртого ранга;

- W_4^N – координата нижнего допустимого значения для четвёртого ранга;
- x_4^n – координата ранговой топологической меры значения нормы электропотребления для четвёртого ранга;
- x_4^N – координата ранговой топологической меры нижнего допустимого значения для четвёртого ранга.

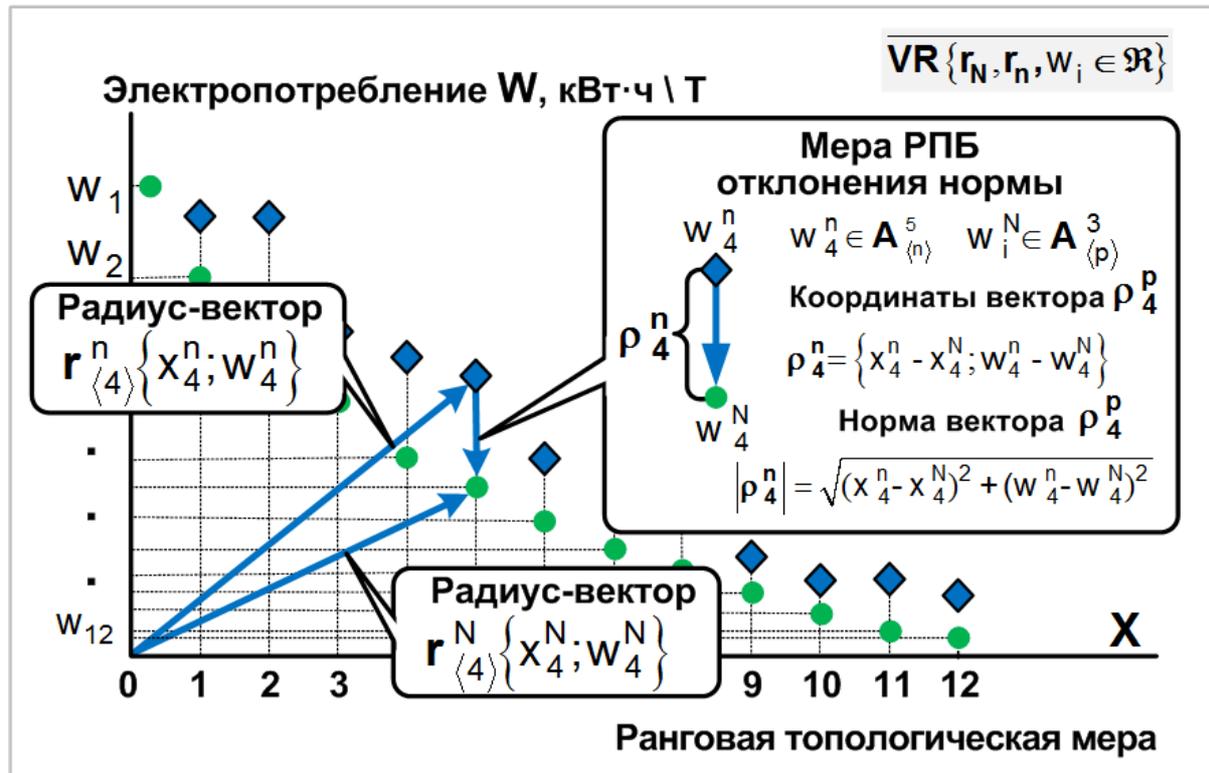


Рисунок 2.20 – Геометрические характеристики меры ранговой параметрической близости отклонения нормы электропотребления:

- W_4^n – значение нормы электропотребления для четвёртого ранга;
- W_4^N – нижнее допустимое значение для четвёртого ранга

На основе выражений (2.21), (2.22) и (2.23) формируется С-матрица, которая содержит ранговые нормы значений мер ранговой параметрической близости дифлекс-параметра, ошибки прогноза и отклонения норм [81-85]:

$$C_{[s,m]} = \left\| \rho_i^d, \rho_j^p, \rho_k^n \right\|_{i,j,k=1}^{s,m}, \tag{2.24}$$

- где ρ_i^d – значение ранговой нормы меры ранговой параметрической близости дифлекс-параметра;
- ρ_j^p – значение ранговой нормы меры ранговой параметрической близости ошибки прогноза;

- ρ_k^n – значение ранговой нормы меры ранговой параметрической близости отклонения нормы электропотребления;
- s – номера строк С-матрицы;
- m – номера столбцов С-матрицы.

Таким образом, сформированная С-матрица позволяет описать процесс мониторинга результатов процедур функционального рангового анализа: интервального оценивания, прогнозирования и нормирования электропотребления.

Важным показателем, который позволяет существенно уточнить процедуры рангового анализа, тем самым устранить или минимизировать ошибки и отклонения, является ранговый фазовый угол. Определение ранговых фазовых углов осуществляется для всех значений векторов С-матрицы. При определении рангового фазового угла дифлекс-параметра Φ_i^d из начала координат к точке w_i^k , принадлежащей подмножеству $A_{\langle k \rangle}^2 \{w_1, w_2, \dots, w_k\}_{k=1}^n$, проводится радиус-вектор $r_{\langle i \rangle}^d$. Ранговым фазовым углом дифлекс-параметра называется угол между радиус-вектором $r_{\langle i \rangle}^d$ и осью ранговой топологической меры (рисунок 2.21).

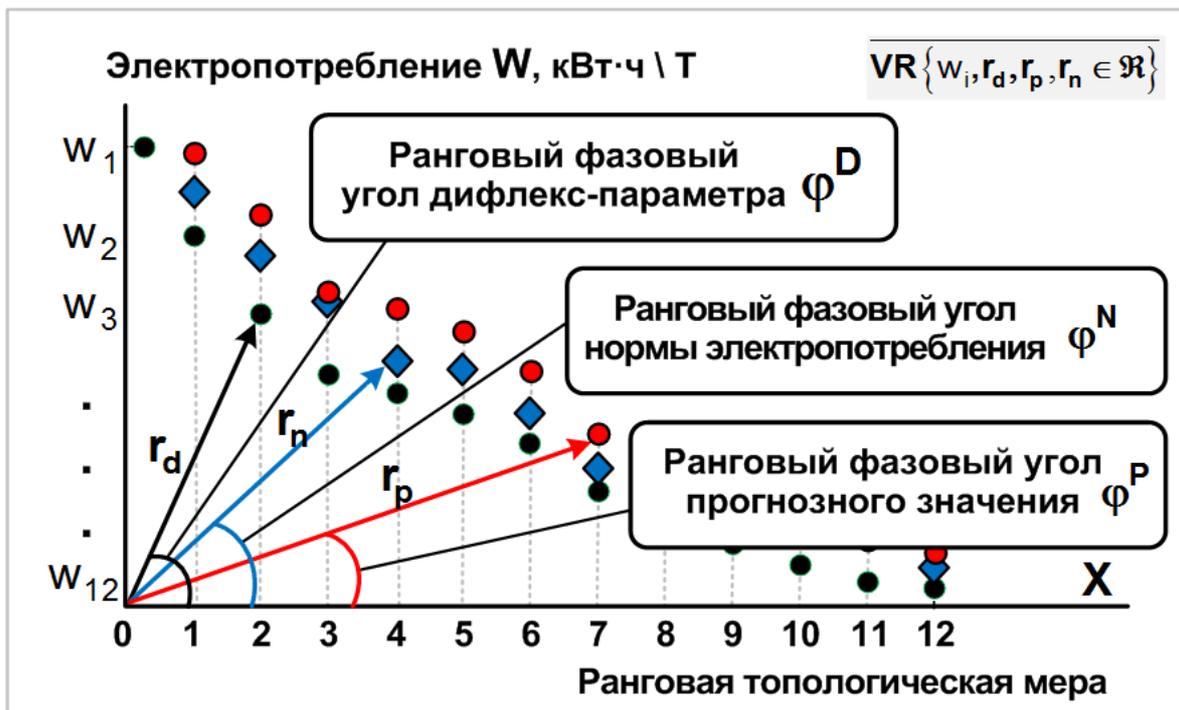


Рисунок 2.21 – Представление ранговых фазовых углов С-матрицы

Соответственно, для определения рангового фазового угла ошибки прогноза Φ_j^p из начала координат к точке w_n^p , принадлежащей подмноже-

ству $A_p^4 \{w_1^p, w_2^p, \dots, w_n^p\}_{j=1}^n$, проводится радиус-вектор $\mathbf{r}_{\langle j \rangle}^p$. Ранговым фазовым углом ошибки прогноза будет называться угол между радиус-вектором $\mathbf{r}_{\langle j \rangle}^p$ и осью ранговой топологической меры.

Аналогичным образом определяется ранговый фазовый угол отклонения нормы электропотребления Φ_k^n . Для этого из начала координат к точке w_k^n , принадлежащей подмножеству $A_{\langle m \rangle}^5 \{w_1^n, w_2^n, \dots, w_k^n\}_{k=1}^m$, проводится радиус-вектор $\mathbf{r}_{\langle k \rangle}^n$. Ранговым фазовым углом ошибки прогноза будет называться угол между радиус-вектором $\mathbf{r}_{\langle k \rangle}^n$ и осью, где отложена ранговой топологической меры.

Аналитические выражения, которые отражают порядок нахождения ранговых фазовых углов всех радиус-векторов элементов С-матрицы, можно представить в виде системы

$$\left\{ \begin{array}{l} \cos \Phi^d = \frac{w_d}{|\mathbf{r}_{\langle d \rangle}|}; \\ \cos \Phi^p = \frac{w_p}{|\mathbf{r}_{\langle p \rangle}|}; \\ \cos \Phi^n = \frac{w_n}{|\mathbf{r}_{\langle n \rangle}|}; \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \Phi^d = \arccos \frac{w_d}{|\mathbf{r}_{\langle d \rangle}|}; \\ \Phi^p = \arccos \frac{w_p}{|\mathbf{r}_{\langle p \rangle}|}; \\ \Phi^n = \arccos \frac{w_n}{|\mathbf{r}_{\langle n \rangle}|}, \end{array} \right. \quad (2.25)$$

где w_d, w_p, w_n – проекции значений векторов С-матрицы на ось \mathbf{x} ;

$|\mathbf{r}_{\langle d \rangle}|, |\mathbf{r}_{\langle p \rangle}|, |\mathbf{r}_{\langle n \rangle}|$ – длины радиус-векторов.

В результате определения ранговых фазовых углов формируется информационный массив, который можно применять в качестве исходных данных для мониторинга процедур рангового анализа. Однако после реализации расчётов необходимо восстановить значения параметров процедур на основе обратной операции восстановления [81-85].

Таким образом, подробное исследование С-матрицы в векторном ранговом пространстве позволило установить, что её элементами могут быть значения ранговых фазовых углов процедур интервального оценива-

ния, прогнозирования, нормирования и потенцирования. В результате определения ранговых фазовых углов формируется информационный массив, который можно применять в качестве исходных данных для их мониторинга. Однако после реализации расчётов необходимо восстановить значения параметров процедур на основе обратной операции восстановления.

Выводы

В результате всестороннего анализа основных положений фундаментальных научных теорий и методов рангового анализа впервые определена структура теории векторного рангового анализа, которая представляет собой совокупность методов, моделей и методик, нацеленных на решение проблемы управления электропотреблением объектов техноценоза.

Основой теории является метод векторного рангового анализа, который позволяет существенно упростить линейные операции при исследовании индивидуальных и системных свойств объектов, а также дополнить основные свойства теории управления: наблюдаемость, устойчивость, управляемость, оптимальность – методом синтеза процедур рангового анализа, а также методом управления электропотреблением при эксплуатации объектов на основе добавочного ресурса.

Важно подчеркнуть, что ключевой способ для реализации метода векторного рангового анализа – это представление упорядоченного множества значений одного или нескольких параметров объектов техноценоза в виде векторного рангового пространства. Исследование векторного рангового пространства позволяет создать методологическую основу для реализации методов, моделей и методик, позволяющих существенно оптимизировать управление электропотреблением объектов техноценозов и повысить его эффективность.

Анализ векторного рангового пространства дал возможность впервые представить ранговое параметрическое распределение в векторном виде с учётом того, что существуют два взаимосвязанных множества: значений исследуемого параметра и их радиус-векторов. Такое представление рангового параметрического распределения позволяет существенно упростить линейные операции при исследовании индивидуальных и системных свойств объектов техноценоза.

В результате исследования свойств векторного рангового пространства введены понятия его размерности и базиса, а также определены аксиомы, которым подчинены операции сложения и умножения его элементов. Даны определения бесконечномерным и конечномерным векторным ранговым пространствам.

Разработанный понятийный аппарат при анализе векторного рангового пространства позволил сформировать систему показателей, которая используется для реализации методов управления электропотреблением объ-

ектов техноценоза на основе векторного рангового анализа. Введены две группы показателей: статические и динамические. Статические показатели характеризуют состояние объекта в фиксированный момент времени и направлены на исследование его индивидуальных свойств. К ним относятся мера ранговой параметрической близости, ранговая норма и ранговый фазовый угол. Динамические показатели характеризуют процесс функционирования объекта в рамках заданного промежутка времени и направлены на исследование его системных свойств. Основными из них являются ранговая векторная функция, ранговая векторная скорость и ранговое ускорение.

Ключевым статическим показателем выступает мера ранговой параметрической близости, позволяющая характеризовать топологию векторного рангового параметрического распределения. Для её количественной оценки введён и обоснован показатель «ранговая норма», задающий на векторном ранговом пространстве метрику (функцию расстояния метрического пространства), порождая таким образом некоторое метрическое пространство, а значит, топологию, базой которой являются множества значений параметра и радиус-векторов. Ранговая норма позволяет определить величину параметрического ресурса процедур рангового анализа. Для процедуры интервального оценивания данный показатель даёт возможность определить величину дифлекс-параметров. При нормировании и потенцировании электропотребления ранговая норма также количественно характеризует их результаты.

Важным статическим показателем является ранговый фазовый угол, который представляет собой угол между двумя радиус-векторами в векторном ранговом пространстве, отложенными от одной точки, отражающий значение, на которое необходимо повернуть один из радиус-векторов вокруг своего начала до положения сонаправленности с другим радиус-вектором. Значение рангового фазового угла определяет величину, которая характеризует пространственные свойства двух ближайших радиус-векторов и позволяет определить степень их пространственной близости. Данный показатель целесообразно использовать для реализации прогнозирования, а также для анализа электропотребления на макроуровне.

Исследование динамических свойств векторного рангового пространства позволило впервые ввести и обосновать следующие динамические показатели: ранговую векторную функцию, ранговую векторную скорость и ранговое ускорение. Для этого впервые была построена прямоугольная система координат трёхмерного векторного рангового пространства, где по оси абсцисс отложены значения ранговой топологической меры, по оси ординат – значения дифференциального электропотребления и по оси аппликат – значения дифлекс-параметра.

Представление векторного рангового распределения в трёхмерном ранговом пространстве позволило впервые ввести понятие векторной ранговой функции, представляющее собой отображение, которое каждому

действительному числу временного интервала ставит в соответствие один и только один радиус-вектор. Подробно исследованы свойства векторной ранговой функции: непрерывность, производная и предел. Сформулированы основные правила нахождения пределов ранговой векторной функций.

Учитывая свойства ранговой векторной функции, впервые введён показатель векторной ранговой скорости, под которой следует понимать значение производной векторной ранговой функции, характеризующей перемещение значения электропотребления объекта техноценоза в векторном ранговом пространстве по годографу.

Введение показателя рангового ускорения, представляющего собой вторую производную от ранговой векторной функции в заданной точке временного интервала, позволило впервые создать инструмент для исследования управляющего воздействия индивидуально для каждого объекта.

Ключевое место в исследовании процессов управления электропотреблением техноценозов на основе векторного рангового анализа занимает операция построения ОДЗ. Её построение включает в себя три основных этапа: 1) построение вектора значений параметра; 2) аппроксимация его значений; 3) построение нижнего и верхнего допустимых значений диапазона электропотребления для каждого значения параметра. Отличительной особенностью построения ОДЗ является построение её верхних и нижних допустимых границ. Суть построения заключается в том, что для определения наименьшего и наибольшего допустимых значений строятся проекции их значений вектора на оси абсцисс и ординат. Соответственно, точка пересечений проекций соседних векторов ниже аппроксимационной кривой будет являться наименьшим допустимым значением для вектора высшего ранга, а выше аппроксимационной кривой – наибольшим допустимым значением для вектора высшего ранга.

Анализ процедур рангового анализа показал, что метод векторного рангового анализа позволяет обосновать научно-методологические предпосылки синтеза стандартных и тонких процедур рангового анализа, а также расчёта добавочного ресурса при исследовании динамики управления электропотреблением объектов техноценоза.

Основным инструментом для реализации данных предпосылок является S -матрица. В векторном ранговом пространстве для формирования S -матрицы введены следующие показатели: мера векторной ранговой параметрической близости для дифлекс-параметра; мера векторной ранговой параметрической близости ошибки прогноза и мера векторной ранговой параметрической близости отклонения нормы электропотребления.

Подробное исследование S -матрицы в векторном ранговом пространстве позволило установить, что её элементами могут быть значения ранговых фазовых углов процедур интервального оценивания, прогнозирования, нормирования и потенцирования. В результате этого формируется массив, который можно использовать в качестве исходных данных для мониторинга.

3. Метод управления электропотреблением техноценоза на основе синтеза процедур рангового анализа

3.1. Структура метода управления электропотреблением техноценоза на основе синтеза процедур рангового анализа

В разделе 2 подробно рассмотрены основные положения теории векторного рангового анализа, которая составляет основу методологии управления электропотреблением техноценозов. Подробное исследование основных положений теории векторного рангового анализа, а также необходимость повышения эффективности управления электропотреблением техноценозов позволили разработать метод управления электропотреблением техноценоза на основе синтеза процедур рангового анализа, общеметодологическая структура которого представлена на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Общеметодологическая структура метода управления электропотреблением техноценоза на основе синтеза процедур рангового анализа

Основой метода являются теоретические положения, научные методы и принципы рангового и векторного анализов, а также теории управления. Их подробное исследование позволило сформировать систему основных понятий, которые дают возможность достаточно полно описать процесс

синтеза процедур рангового анализа. Ключевые понятия – это S -матрица, S -индикатор, индикаторная функция, комплексный показатель системных свойств и коэффициент управляющего воздействия.

В работах В.И. Гнатюка [36-51], Д.В. Луценко [46; 48; 124-126; 266], П.Ю. Дюндика [59; 60; 62], А.А. Шейнина [235-238] подробно представлено описание процедур рангового анализа, которые составляют основу методологии оптимального управления электропотреблением техноценоза. Методика позволяет довольно хорошо решать задачи управления электропотреблением на небольших горизонтах прогнозирования, реализуя процедуры рангового анализа по отдельности. Однако она не позволяет осуществлять комплексное применение процедур рангового анализа. С учётом данного недостатка, используя систему основных понятий синтеза процедур рангового анализа, разработаны статическая модель управления электропотреблением техноценоза на основе синтеза процедур рангового анализа и методика управления электропотреблением техноценоза на основе комплексирования процедур рангового анализа.

Отличием рассматриваемого метода управления электропотреблением от других является применение основ теории векторного рангового анализа, которые позволили разработать алгоритмы, позволяющие упростить линейные операции при управлении электропотреблением. На базе данных алгоритмов реализуется мониторинг процедур рангового анализа на наличие ошибок и отклонений, осуществляются формирование комплексных алгоритмов для их устранения и процедура снижения электропотребления на основе управляющего воздействия.

Таким образом, метод управления электропотреблением техноценоза на основе синтеза процедур рангового анализа представляет собой совокупность новых понятий, сформулированных на основе теории векторного рангового анализа, позволяющих в полном объёме обосновать и аналитически описать задачу комплексирования процедур рангового анализа, критериальную систему для мониторинга результатов процедур рангового анализа и порядок выбора комплексных алгоритмов для их устранения, а также процедуру снижения электропотребления индивидуально для каждого объекта техноценоза.

Структурно метод управления электропотреблением техноценоза на основе синтеза процедур рангового анализа включает в себя следующие этапы: формирование S -матрицы, проверку корреляционной связи векторов S -матрицы, мониторинг S -матрицы на наличие ошибок и отклонений, формирование комплексных алгоритмов для их устранения и снижение электропотребления на основе управляющего воздействия (рисунок 3.2).

На первом этапе метода по результатам процедур рангового анализа формируются три множества: значений дифлекс-параметра, прогнозных значений и норм электропотребления. Для дальнейшей обработки их значения представляются в виде единичных векторов [81-85].



Рисунок 3.2 – Этапы метода синтеза процедур рангового анализа

На втором этапе формируется C-матрица, компонентами которой являются векторы, построенные по значениям множеств $W_D = \{w_i^D\}_{i=1}^n$, $W_P = \{w_j^P\}_{j=1}^m$ и $W_N = \{w_k^N\}_{k=1}^L$, принадлежащих векторному ранговому пространству. По сути, C-матрица представляет собой прямоугольную матрицу, векторы которой расположены в векторном ранговом пространстве и отражают результаты процедур интервального оценивания, прогнозирования и нормирования электропотребления [81-85].

Третий этап метода – процедура проверки корреляционной связи векторов C-матрицы. Смысл данной проверки заключается в выявлении причинно-следственных зависимостей между значениями её элементов, т.е. того, насколько изменение значений одних элементов зависит от изменения значений других элементов. Результат успешной проверки C-матрицы на наличие корреляционной связи доказывает взаимосвязанность процедур рангового анализа и даёт основание применять математический аппарат векторного рангового анализа [81-85].

Четвёртый и пятый этапы метода включают в себя элементы комплексирования процедур рангового анализа: мониторинг векторов C-матрицы на наличие ошибок и отклонений и формирование комплексных алгоритмов для их устранения. Важно подчеркнуть, что операции комплексирования процедур рангового анализа основаны на реализации индикаторных функ-

ций, которые позволяют определять ошибки и отклонения, а также осуществлять выбор комплексных алгоритмов для их устранения.

На заключительном этапе осуществляется снижение электропотребления техноценоза на основе управляющего воздействия. Причём учёт управляющего воздействия осуществляется на основе управляющего коэффициента, который вычисляется с помощью комплексных операций над векторами S -матрицы [81-85].

Таким образом, сформированная общеметодологическая структура метода управления электропотреблением техноценоза на основе синтеза процедур рангового анализа позволила определить этапы метода и создать научно-методические предпосылки для разработки статической модели управления электропотреблением техноценоза на основе синтеза процедур рангового анализа и методики управления электропотреблением техноценоза на основе комплексирования процедур рангового анализа.

3.2. Концептуальная модель управления электропотреблением техноценоза на основе синтеза процедур рангового анализа

В [36-51] достаточно полно описана методика оптимального управления электропотреблением техноценозов, в рамках которой была создана методика оптимального управления электропотреблением. Стандартными процедурами методики стали интервальное оценивание, прогнозирование, нормирование и потенширование, которые с целью уточнения были дополнены тонкими процедурами дифлекс-анализа, GZ-анализа, ASR-анализа и ZP-анализа. Данная методика позволяет результативно решать задачи управления электропотреблением на небольших горизонтах прогнозирования, однако обладает рядом недостатков, основными из которых являются необходимость упрощения линейных операций для процедур рангового анализа, отсутствие математического аппарата комплексирования процедур рангового анализа, неразвитость критериальной системы оценки мониторинга их результатов, а также выбора комплексных алгоритмов для устранения ошибок и отклонений, выявленных при мониторинге. Для устранения данных, необходимо концептуально представить основные этапы процесса управления электропотребления [147].

На рисунке 3.3. показана концепция процесса выработки управленческого решения. Первый этап моделирования предполагает импорт из БД множества входной информации Θ_v : значений дифлекс-параметра

$\mathbf{W}_D = \left\{ w_i^D \right\}_{i=1}^n$, прогнозных значений $\mathbf{W}_P = \left\{ w_j^P \right\}_{j=1}^m$ и норм электропотребления $\mathbf{W}_N = \left\{ w_k^N \right\}_{k=1}^L$. На основе данных подмножеств в векторном ранговом пространстве формируется S -матрица.

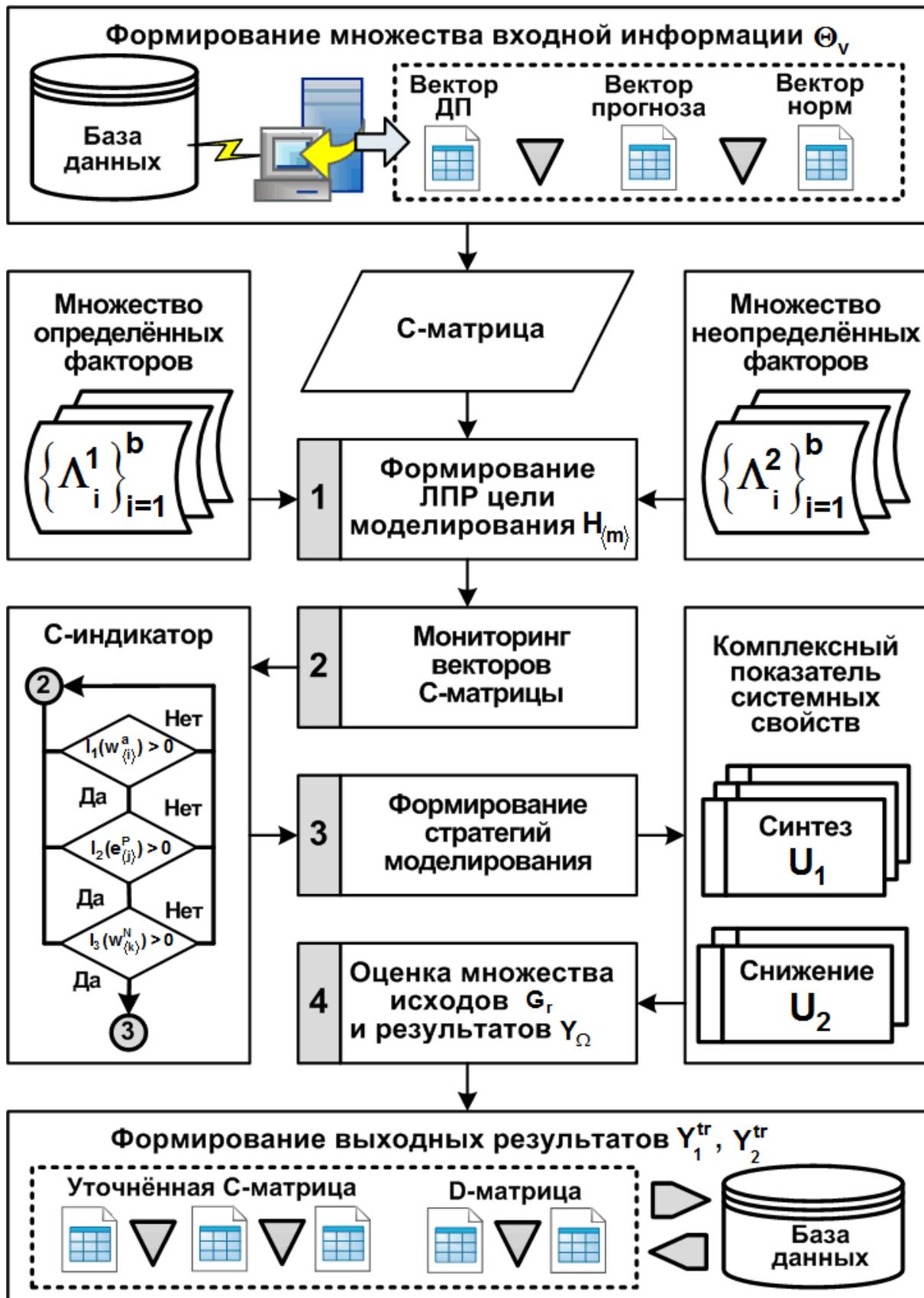


Рисунок 3.3 – Концепция управления электропотреблением техноценоза на основе синтеза процедур рангового анализа:

$\Theta_v = \left\{ q_k^v \right\}_{k=1}^a$ – множество входной информации; U_1 – стратегия ЛПР синтеза процедур рангового анализа; U_2 – стратегия ЛПР по снижению электропотребления техноценоза; $\Lambda_1 = \left\{ \lambda_i^1 \right\}_{i=1}^b$ – множество значений определённых факторов;

$\Lambda_2 = \left\{ \lambda_i^2 \right\}_{i=1}^b$ – множество значений неопределённых факторов;

$IN_F = \left\{ I_\tau^F \right\}_{\tau=1}^p$ – множество индикаторных функций;

$G_r = \left\{ g_e^r \right\}_{e=1}^t$ – множество исходов моделирования;

$Y_\Omega = \left\{ y_z^\Omega \right\}_{z=1}^d$ – множество результатов моделирования; IP_w – показатель эффективности; k – критерий эффективности; H – целевая функция статического моделирования.

Следующим этапом является определение ЛПР цели моделирования. При этом анализируется С-матрица и множества значений определённых Λ_1 и неопределённых факторов Λ_2 . Множество Λ_1 представляет собой совокупность внутренних факторов. Такие факторы заранее известны ЛПР и характеризуются полной и достоверной информацией о проблемной ситуации, целях, ограничениях и последствиях принимаемых решений [147; 148]. Соответственно, Λ_1 включает в себя следующие факторы: достоверность входных данных для формирования векторов С-матрицы, их формат и количество исследуемых временных интервалов (час, неделя, месяц, год и т.д.).

Второе множество, Λ_2 , представляет собой совокупность неопределённых факторов организационного воздействия: распорядительное воздействие, расстановка кадровых ресурсов, нормирование и регламентирование электропотребления. В целом организационное воздействие сводится к некоторой нормированной цифре или предельному диапазону [147;148]. Примером возникновения таких факторов может быть ситуация, когда получено устойчивое векторное ранговое параметрическое распределение, однако в рамках стратегического планирования руководящие органы приказывают снизить электропотребление на 3 %.

На основе анализа С-матрицы, а также определённых и неопределённых факторов целевую функцию модели можно представить системой

$$H = \langle \Theta_v, U_1, U_2, \Lambda_1, \Lambda_2, IN_F, G_r, Y_\Omega, IP_w, k \rangle. \quad (3.1)$$

Получая информацию о цели управления, ЛПР последовательно формирует множество стратегий синтеза процедур рангового анализа U_1 . Непосредственно это осуществляется на основе информации мониторинга S -матрицы с опорой на математический аппарат S -индикатора. Под S -индикатором понимается функционал, включающий в себя систему индикаторных функций, определённых на множестве значений векторов S -матрицы, полученных в результате процедур рангового анализа, которые определяют логику принятия решения. При значении вектора дифлекс-параметра $w_{\langle i \rangle}^a > 0$ функционалом IN_F осуществляется индикация о наличии объектов, аномально потребляющих электропотребление. В случае, если средняя относительная ошибка вектора прогнозных значений $e_{\langle i \rangle}^P$ больше 15 %, то S -индикатор фиксирует ошибку прогноза. Соответственно, при отклонении значений вектора норм электропотребления $w_{\langle k \rangle}^N$ от нижней допустимой границы ОДЗ больше 15 % происходит индикация отклонения нормы [147; 148].

Далее, используя информацию о наличии ошибок и отклонений, на следующем этапе ЛПР формирует две стратегии: синтез процедур рангового анализа U_1 и снижение электропотребления ОВИ на основе управляющего воздействия U_2 . Необходимо отметить, что стратегия U_2 реализуется после достижения требуемых результатов в первой стратегии или в случае воздействия неопределённых факторов множества Λ_2 . Кроме того, стратегия U_1 решает задачу устойчивости векторного рангового распределения по электропотреблению, а вторая стратегия нацелена на формирование оптимальных значений электропотребления техноценоза.

При реализации данных стратегий в результате применения аппарата индикаторных функций и с учётом множеств Λ_1 и Λ_2 оценивается множество исходов реализации стратегий $G_r = \left\{ g_e^r \right\}_{e=1}^t$, а также устанавливается следующая система соответствий [147; 148]:

$$\begin{cases} \mathbf{H}_1 : U_1 \times \Lambda_1 \rightarrow Y_{\Omega}^1(G_r^1); \\ \mathbf{H}_2 : U_2 \times \Lambda_2 \rightarrow Y_{\Omega}^2(G_r^2), \end{cases} \quad (3.2)$$

где \mathbf{H}_1 – целевая функция подмодели синтеза процедур рангового анализа;
 \mathbf{H}_2 – целевая функция подмодели снижения электропотребления;
 U_1 – стратегия ЛПР синтеза процедур рангового анализа;

- U_2 – стратегия ЛПР по снижению электропотребления техноценоза;
- Λ_1 – множество значений определённых факторов;
- Λ_2 – множество значений неопределённых факторов;
- Y_{Ω}^1 – величина результата первой подмодели;
- Y_{Ω}^2 – величина результата второй подмодели;
- G_r^1 – величина исхода моделирования первой подмодели;
- G_r^2 – величина исхода моделирования второй подмодели.

На основе (3.2) формируются величины требуемого результата Y_1^{tr} и Y_2^{tr} . Далее по информации Y_{Ω}^1, Y_1^{tr} и Y_{Ω}^2, Y_2^{tr} с помощью аппарата индикаторных функции в комплексном показателе системных свойств для показателя эффективности IP_w устанавливаются возможные виды метрики $\rho_1(Y_{\Omega}^1, Y_1^{tr})$ и $\rho_2(Y_{\Omega}^2, Y_2^{tr})$, на базе чего формируются модели Ψ_1, Ψ_2 «результат – показатель». По сути, метрика представляет собой ранговую норму, под которой следует понимать неотрицательный функционал, заданный в векторном ранговом пространстве и обобщающий понятие длины вектора или абсолютного значения параметра [147;148].

Одновременно формируются критерии k_1, k_2 по информации множества Θ_v , которая может использовать их в форме решающего правила. На основе суждения о степени достижения цели управления в блоке оценки множества исходов и результатов осуществляется либо выбор наилучшей альтернативы $U_1^* \in U_1$ и $U_2^* \in U_2$, либо возврат и коррекция элементов. Символом U^* обозначается подмножество «наилучших» стратегий управления, из которых окончательно выбирают реализуемое решение [147;148].

В общем виде задачи, соответствующие двум основным процессам принятия решений при исследовании эффективности, формируются на основе концептуальной модели и имеют следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Psi_1 : \left\{ Y_{\Omega}^1 \mid H_1 \times \Lambda_1 \xrightarrow{\Theta_v} Y_{\Omega}^1 (G_r^1) \right\}; \\ \Psi_2 : \left\{ Y_{\Omega}^2 \mid H_2 \times \Lambda_2 \xrightarrow{\Theta_v} Y_{\Omega}^2 (G_r^2) \right\}; \\ IN_F^1 \xrightarrow{\Theta_v} k : U_1 \xrightarrow{IP_w} U_1^*; \\ IN_F^2 \xrightarrow{\Theta_v} k : U_2 \xrightarrow{IP_w} U_2^*, \end{array} \right. \quad (3.3)$$

- где U_1^* – подмножество «наилучших» стратегий управления для первой подмодели;
- U_2^* – подмножество «наилучших» стратегий управления для второй подмодели;
- Ψ_1 – модель «результат – показатель» синтеза процедур рангового анализа;
- Ψ_2 – модель «результат – показатель» снижения электропотребления объектов техноценоза.

Первые два выражения системы (3.3) отражают процесс получения результатов, а вторые – процесс анализа результатов. При этом записи $Y_{\Omega}^1 | H_1 \times \Lambda_1 \xrightarrow{\Theta_v} Y_{\Omega}^1(G_r^1)$ и $Y_{\Omega}^2 | H_2 \times \Lambda_2 \xrightarrow{\Theta_v} Y_{\Omega}^2(G_r^2)$ означают множественность моделей, соответствующих системным уровням исследования. Исходя из концепции метациели, информация Θ_v для низших уровней иерархии может быть либо получена с верхнего уровня, либо сформирована на основе информации ЛПР рассматриваемого системного уровня.

Таким образом, для того чтобы математически описать управление электропотреблением техноценоза на основе синтеза процедур рангового анализа, необходимо концептуально представить её основные элементы. Представленная концептуальная модель управления электропотреблением техноценоза на основе синтеза процедур рангового анализа отображает взаимосвязи между основными элементами процесса выработки управленческого решения и последовательностью формирования частных задач управления. В ней реализуются две стратегии синтеза процедур рангового анализа: комплексирование процедур рангового анализа и снижение электропотребления на основе управляющего воздействия.

После реализации данных стратегий в результате применения аппарата индикаторных функций и с учётом множеств определённых и неопределённых факторов оценивается множество исходов реализации стратегий, а также устанавливается система соответствий, которые определяют конечный результат. Далее с помощью показателей и критериев эффективности формируются модели «результат - показатель», позволяющие определить наилучшее решение или указать на необходимость коррекции модели [147; 148].

3.3. Статическая модель управления электропотреблением техноценоза на основе синтеза процедур рангового анализа

3.3.1. Математическое описание стратегии комплексирования процедур рангового анализа

В пункте 3.2 представлена концептуальная модель управления электропотреблением техноценоза на основе синтеза процедур рангового ана-

лиза. Для более полного рассмотрения этапов статического моделирования на основе синтеза процедур рангового анализа необходимо подробно описать все стратегии данной модели, а также их суть и предназначение. В качестве основного инструмента для математического описания стратегий при моделировании использованы основные понятия и показатели теории векторного рангового анализа. Причём все действия будут описаны в векторном ранговом пространстве.

При формировании входных данных значения результатов процедур рангового анализа представляют в векторном ранговом пространстве \mathbf{VR} в виде трёх множеств: значений дифлекс-параметра $\mathbf{W}_D = \left\{ w_i^D \right\}_{i=1}^n$, прогнозных значений $\mathbf{W}_P = \left\{ w_j^P \right\}_{j=1}^m$ и норм электропотребления $\mathbf{W}_N = \left\{ w_k^N \right\}_{k=1}^L$, принадлежащих Θ_v [81 – 85]. Алгебраическая запись полученных множеств представлена системой

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{W}_D = \left\{ w_i^D \right\}_{i=1}^n = \left\{ w_1^D, w_2^D, \dots, w_n^D \right\} \in \mathfrak{R}; \\ \mathbf{W}_P = \left\{ w_j^P \right\}_{j=1}^m = \left\{ w_1^P, w_2^P, \dots, w_m^P \right\} \in \mathfrak{R}; \\ \mathbf{W}_N = \left\{ w_k^N \right\}_{k=1}^L = \left\{ w_1^N, w_2^N, \dots, w_L^N \right\} \in \mathfrak{R}; \\ \mathfrak{R} \in \mathbf{VR}; \\ \mathbf{W}_D \cup \mathbf{W}_P \cup \mathbf{W}_N; \mathbf{W}_D \cap \mathbf{W}_P \cap \mathbf{W}_N \notin \emptyset; \\ \mathbf{W}_D, \mathbf{W}_P, \mathbf{W}_N \in \Theta_v, \end{array} \right. \quad (3.4)$$

где \mathbf{W}_D – множество значений дифлекс-параметра;
 \mathbf{W}_P – множество прогнозных значений;
 \mathbf{W}_N – множество значений норм электропотребления;
 \mathfrak{R} – множество действительных чисел;
 \emptyset – знак пустого множества.

Первые три компонента системы (3.4) описывают состав трёх множеств, включающих в себя результаты стандартных процедур рангового анализа. Причём каждое множество представлено набором единичных векторов, принадлежащих множеству действительных чисел \mathfrak{R} . Четвёртое и пятое выражения системы показывают, что все три множества принадлежат векторному ранговому пространству и не образуют пустое множество [81-85].

Для дальнейшей обработки и подготовки к моделированию входных данных в **VR** формируются три вектора: значений дифлекс-анализа, прогнозных значений и норм электропотребления. Аналитические выражения для представления данных векторов образуют систему

$$\begin{cases} \mathbf{w}_{\langle i \rangle}^D = \langle w_1^D, w_2^D, \dots, w_i^D \rangle \in \mathbf{W}_D; \\ \mathbf{w}_{\langle j \rangle}^P = \langle w_1^P, w_2^P, \dots, w_j^P \rangle \in \mathbf{W}_P; \\ \mathbf{w}_{\langle k \rangle}^N = \langle w_1^N, w_2^N, \dots, w_k^N \rangle \in \mathbf{W}_N, \end{cases} \quad (3.5)$$

- где $\mathbf{w}_{\langle i \rangle}^D$ – вектор значений дифлекс-параметра;
 $\mathbf{w}_{\langle j \rangle}^P$ – вектор прогнозных значений;
 $\mathbf{w}_{\langle k \rangle}^N$ – вектор значений норм электропотребления.

Завершающим этапом формирования входных данных является формирование С-матрицы, элементами которой являются векторы системы (3.5). На рисунке 3.4 показано геометрическое представление процедуры формирования С-матрицы в векторном ранговом пространстве.

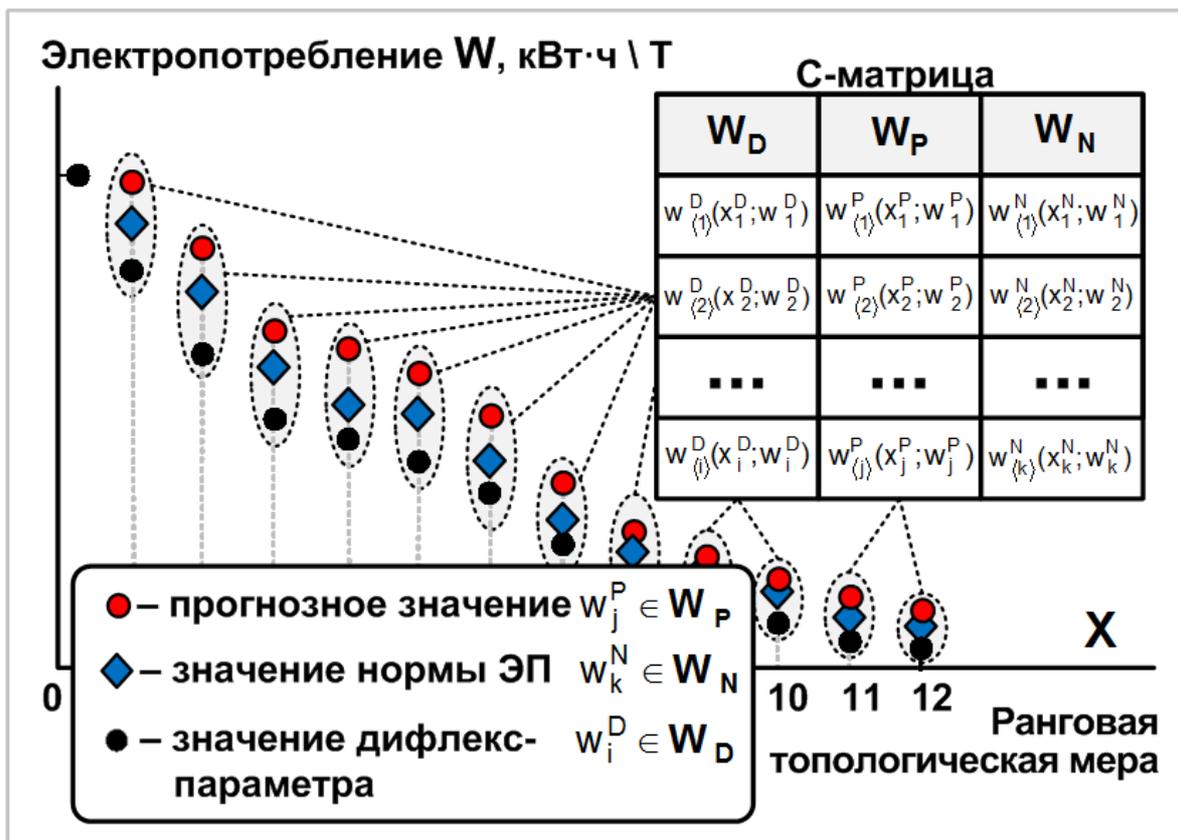


Рисунок 3.4 – С-матрицы в векторном ранговом пространстве

Столбец С-матрицы – это отдельное множество, в котором каждое значение имеет свои координаты. Соответственно, для каждого ранга, который на рисунке 3.4 представлен величиной \mathbf{X} , формируются точки значений результатов процедур рангового анализа. Для дифлекс-параметра – $\mathbf{w}_{\langle i \rangle}^D(x_i^D; w_i^D)$, прогнозных значений – $\mathbf{w}_{\langle j \rangle}^P(x_j^P; w_j^P)$ и норм электропотребления – $\mathbf{w}_{\langle k \rangle}^N(x_k^N; w_k^N)$. Далее по данным точкам вычисляются векторы результатов процедур рангового анализа согласно системе 3.5.

Таким образом, входные данные для моделирования можно описать аналогично (2.24) на с. 53 и представить в виде С-матрицы выражением

$$\mathbf{C}_{[n,m]} = \left\| \mathbf{w}_{\langle i \rangle}^D, \mathbf{w}_{\langle j \rangle}^P, \mathbf{w}_{\langle k \rangle}^N \right\|_{i,j,k=1}^{n,m}. \quad (3.6)$$

На начальных этапах моделирования осуществляется проверка корреляционной связи векторов С-матрицы. Перед проверкой производится ранжирование значений векторов С-матрицы с опорой на понятие случайной векторной функции. Случайная векторная функция – это функция, которая в результате опыта может принимать в векторном ранговом пространстве заранее неизвестный вид. Под опытом здесь понимается получение С-матрицы [81-85]. Важнейшей числовой характеристикой системы двух случайных векторов, позволяющей судить о зависимости между компонентами С-матрицы, является второй смешанный центральный момент, получивший название корреляционного (ковариационного) момента или момента связи и равный математическому ожиданию произведения центрированных случайных величин, образующих выражение

$$\begin{aligned} \mu_C &= \mathbf{M} \left[\sum_{i=1}^n \hat{\mathbf{w}}^D, \sum_{j=1}^n \hat{\mathbf{w}}^P, \sum_{k=1}^n \hat{\mathbf{w}}^N \right] = \\ &= \mathbf{M} \left[\sum_{i=1}^n (\hat{\mathbf{w}}^D - \mathbf{M}_{\hat{\mathbf{w}}^D}), \sum_{j=1}^n (\hat{\mathbf{w}}^P - \mathbf{M}_{\hat{\mathbf{w}}^P}), \sum_{k=1}^n (\hat{\mathbf{w}}^N - \mathbf{M}_{\hat{\mathbf{w}}^N}) \right] = \\ &= \mathbf{K}_{\hat{\mathbf{w}}^D \hat{\mathbf{w}}^P \hat{\mathbf{w}}^N} = \mathbf{K}_C, \end{aligned} \quad (3.7)$$

где $\hat{\mathbf{w}}^D$ – случайный центрированный вектор значений дифлекс-параметра;
 $\hat{\mathbf{w}}^P$ – случайный центрированный вектор прогнозных значений;
 $\hat{\mathbf{w}}^N$ – случайный центрированный вектор значений норм электропотребления;

- $M_{\hat{w}^D}$ – математическое ожидание случайного значения вектора дифлекс-параметра;
 $M_{\hat{w}^P}$ – математическое ожидание случайного значения вектора прогноза;
 $M_{\hat{w}^N}$ – математическое ожидание случайного значения вектора норм электропотребления;
 K_C – коэффициент корреляции С-матрицы.

В интегральной форме выражение для вычисления корреляционного момента представляется следующим образом:

$$\begin{aligned}
 K_C = & \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (\hat{\mathbf{w}}^D - M_{\hat{w}^D})(\hat{\mathbf{w}}^P - M_{\hat{w}^P})(\hat{\mathbf{w}}^N - M_{\hat{w}^N}) \times \\
 & \times \varphi_{\hat{w}}(\mathbf{w}^D, \mathbf{w}^P, \mathbf{w}^N) d\mathbf{w}^D d\mathbf{w}^P d\mathbf{w}^N,
 \end{aligned} \tag{3.8}$$

где $\varphi_{\hat{w}}(\mathbf{w}^D, \mathbf{w}^P, \mathbf{w}^N)$ – плотность распределения случайных векторов.

Подробное описание плотности распределения случайных векторов представлено в [172; 173]. Важно заметить, что размерность корреляционного момента равна произведению размерностей случайных величин, образующих С-матрицу. В связи с этим в качестве безразмерной числовой характеристики взаимосвязи случайных величин обычно применяется так называемый коэффициент корреляции, который определяется по выражению

$$r_C = \frac{K_C}{\sqrt{D_{\hat{w}^D} \cdot D_{\hat{w}^P} \cdot D_{\hat{w}^N}}} = \frac{K_C}{\sigma_{\hat{w}^D} \cdot \sigma_{\hat{w}^P} \cdot \sigma_{\hat{w}^N}}, \tag{3.9}$$

- где $D_{\hat{w}^D}$ – дисперсия случайного вектора значений дифлекс-параметра;
 $D_{\hat{w}^P}$ – дисперсия случайного вектора прогнозных значений;
 $D_{\hat{w}^N}$ – дисперсия случайного вектора значений норм электропотребления;
 $\sigma_{\hat{w}^D}$ – среднее квадратическое отклонение случайного значения вектора дифлекс-параметра;
 $\sigma_{\hat{w}^P}$ – среднее квадратическое отклонение случайного значения вектора прогноза;
 $\sigma_{\hat{w}^N}$ – среднее квадратическое отклонение случайного значения вектора норм электропотребления;
 K_C – корреляционный момент.

Таким образом, если при нахождении коэффициента корреляции r_c он принимает значимые значения, следовательно, элементы С-матрицы взаимосвязаны линейным соотношением, при котором изменение одних элементов влечёт изменение распределения других, и эти другие величины принимают некоторые значения с определёнными вероятностями. Значительная корреляция между элементами С-матрицы является свидетельством наличия существенной статистической связи в данной выборке. Следовательно, наличие корреляционной связи между элементами С-матрицы свидетельствует о возможности применения математического аппарата рангового анализа к данной матрице.

Для дальнейшей реализации стратегии U_1 осуществляется проверка достоверности и качества данных по электропотреблению с помощью С-индикатора. Под С-индикатором понимается функционал IN_F , включающий в себя систему индикаторных функций, определённых на множестве значений, полученных в результате процедур рангового анализа, которые определяют логику принятия решения. На рисунке 3.5 представлен алгоритм мониторинга результатов процедур рангового анализа на наличие ошибок и отклонений. На начальном этапе алгоритма осуществляется формирование исходных данных Θ_v , в частности С-матрицы, информация о которой хранится в базе данных по электропотреблению и постоянно обновляется и верифицируется [81-85].

Работа С-индикатора предполагает использование индикаторных функций, которые представлены в виде следующих систем [81-85]:

$$I_1(w_{\langle i \rangle}^a) = \begin{cases} 1, & \text{if } w_{\langle i \rangle}^a > 0; \\ 0, & \text{if } w_{\langle i \rangle}^a < 0; \end{cases} \quad I_2(e_{\langle j \rangle}^P) = \begin{cases} 1, & \text{if } e_{\langle j \rangle}^P > 15\%; \\ 0, & \text{if } e_{\langle j \rangle}^P < 15\%; \end{cases} \quad (3.10)$$

$$I_3(w_{\langle k \rangle}^N) = \begin{cases} 1, & \text{if } w_{\langle k \rangle}^N > 15\%; \\ 0, & \text{if } w_{\langle k \rangle}^N < 15\%, \end{cases}$$

- где $I_1(w_{\langle i \rangle}^a)$ – индикаторная функция определения аномальных объектов;
- $I_2(e_{\langle j \rangle}^P)$ – индикаторная функция определения прогнозных значений;
- $I_3(w_{\langle k \rangle}^N)$ – индикаторная функция определения норм.

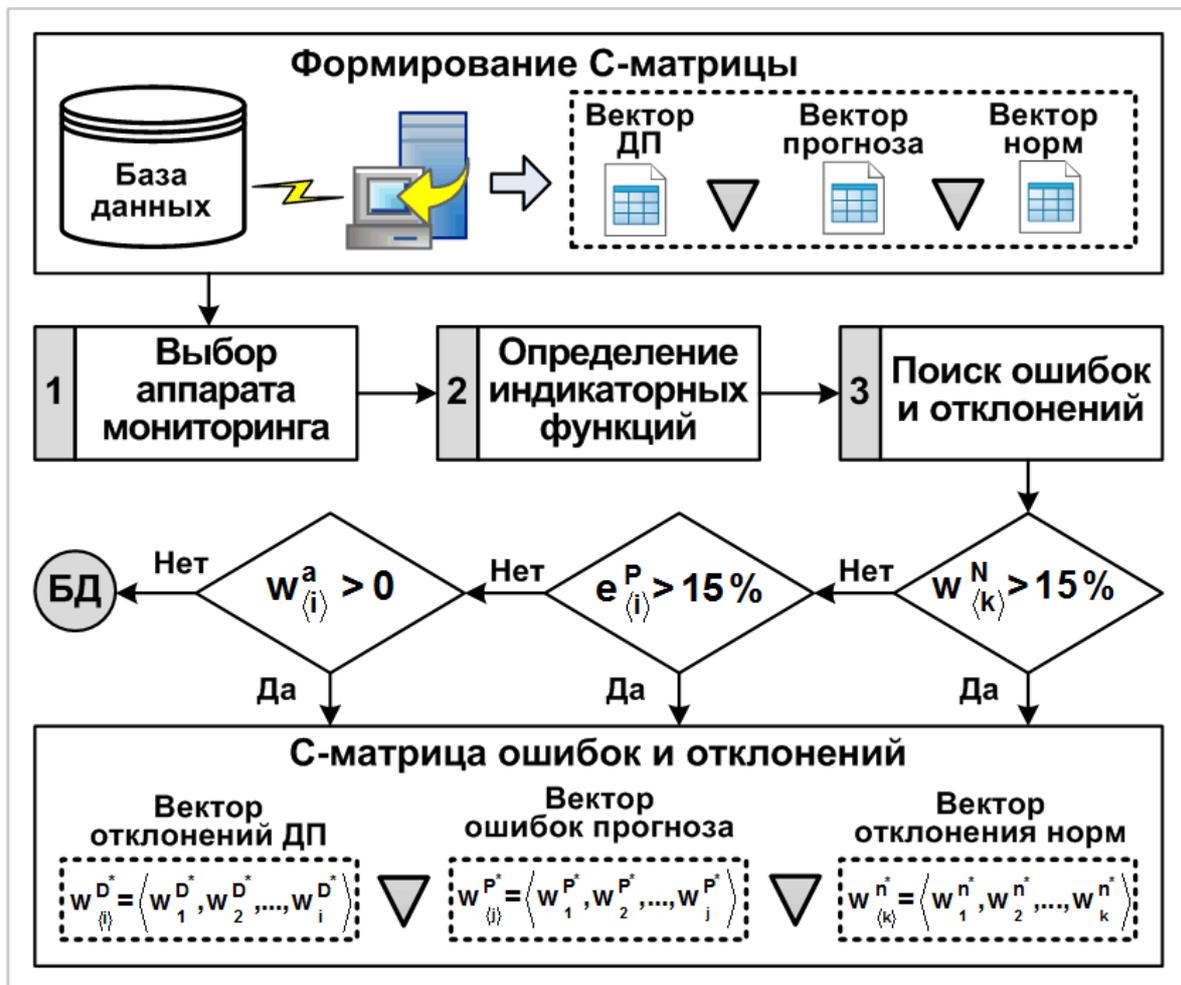


Рисунок 3.5 – Алгоритм мониторинга векторов С-матрицы с помощью С-индикатора

В формуле (3.10) для логического элемента С-индикатора заданы в векторном ранговом пространстве индикаторные функции мониторинга результатов интервального оценивания, прогнозирования и нормирования. Индикаторная функция стандартной процедуры интервального оценивания определяет логику принятия события $w_{(i)}^a > 0$ при обнаружении аномальных объектов, соответственно, при $w_{(i)}^a < 0$ событие отклоняется. Логика принятия и отклонения событий для процедуры прогнозирования построена на выявлении средних относительных ошибок. При обнаружении средней относительной ошибки больше 15 % событие $e_{(i)}^P > 15\%$ принимается, в случае отсутствия таких ошибок событие $e_{(i)}^P < 15\%$ отклоняется. Для процедуры нормирования принятие события индикаторной функцией $w_{(k)}^N > 15\%$ осуществляется при отклонении нормы объекта от нижней

границы ОДЗ больше 15 %, отклонение события $w_{\langle k \rangle}^N < 15\%$ – при отклонении нормы объекта от нижней границы ОДЗ меньше 15 % [81-85].

Для аналитического представления индикаторной функции нередко используется функция Хевисайда [7; 147; 148]. Функция Хевисайда (единичная ступенчатая функция, функция единичного скачка, включенная единица) – кусочно-постоянная функция, равная нулю для отрицательных значений аргумента и единице – для положительных. В нуле эта функция не определена, однако её обычно доопределяют в этой точке некоторым числом, чтобы область определения функции содержала все точки действительной оси. Чаще всего неважно, какое значение функция принимает в нуле, поэтому могут использоваться различные определения функции Хевисайда, например:

$$H(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x < 0; \\ \frac{1}{2}, & \text{if } x = 0; \\ 1, & \text{if } x > 0. \end{cases} \quad (3.11)$$

Другое распространённое определение:

$$H(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } < 0; \\ 1, & \text{if } \geq 0. \end{cases} \quad (3.12)$$

Для процедуры интервального оценивания мониторинг на наличие ошибок и отклонений заключается в определении с помощью индикаторной функции $I_1(w_{\langle i \rangle}^a)$ объектов, аномально потребляющих электроэнергию. Причём параметром, при котором индикаторная функция $I_1(w_{\langle i \rangle}^a)$ фиксирует аномальные объекты, является мера ранговой параметрической близости, которая представляет собой разность двух радиус-векторов: значений вектора дифлекс-параметра $\mathbf{r}_{\langle 4 \rangle}^k \{x_4^k; w_4^k\}$ и значений вектора верхней допустимой границы ОДЗ $\mathbf{r}_{\langle 4 \rangle}^V \{x_4^V; w_4^V\}$.

Аналитическое выражение для вычисления меры ранговой параметрической близости $|\rho_4^d|$ для четвёртого ранга имеет следующий вид:

$$|\rho_4^d| = \sqrt{(x_4^k - x_4^V)^2 + (w_4^k - w_4^V)^2}, \quad (3.13)$$

где $x_4^k; w_4^k$ – координаты радиус-вектора значения электропотребления для четвёртого ранга;

$x_4^V; w_4^V$ – координаты радиус-вектора значения верхней границы области допустимых значений для четвёртого ранга.

На рисунке 3.6 показано геометрическое представление в векторном ранговом пространстве процедуры определения аномальных объектов.

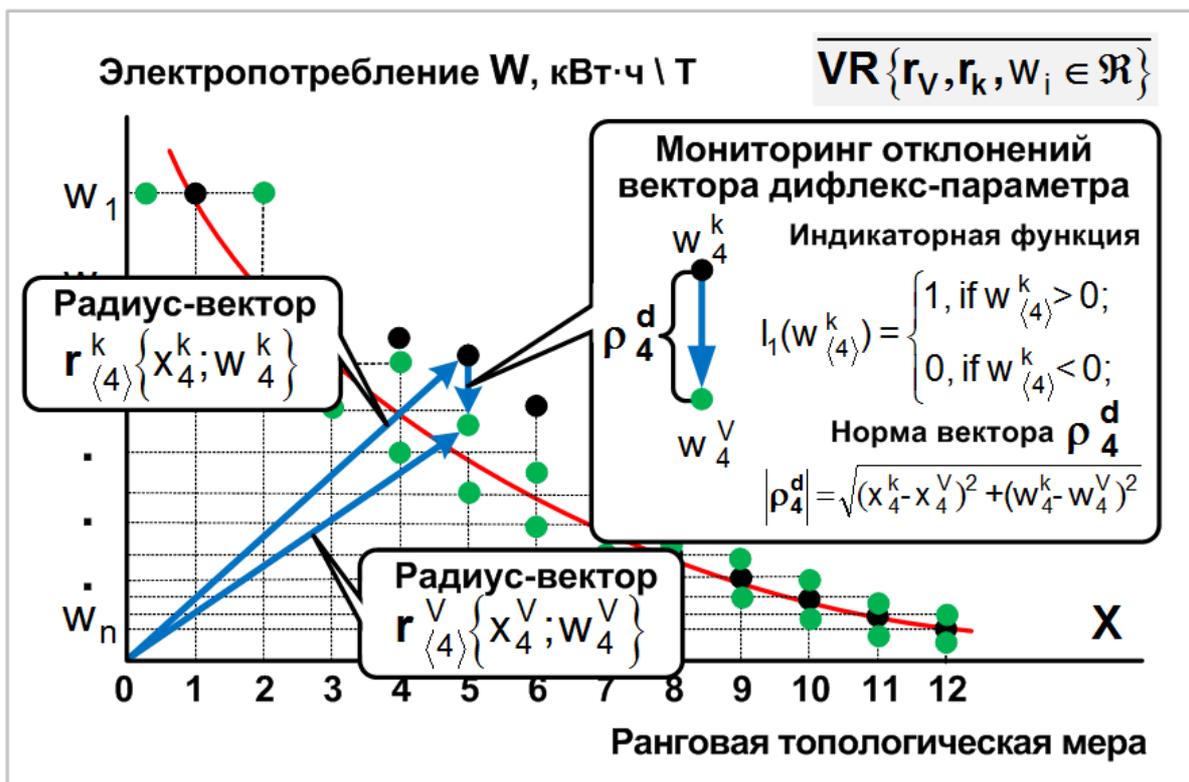


Рисунок 3.6 – Определение аномальных значений электропотребления в векторном ранговом пространстве

В данном случае с помощью индикаторной функции зафиксировано отклонение значения электропотребления от верхней границы ОДЗ в четвёртом ранге. При выявлении новых аномальных значений электропотребления в С-индикаторе с помощью индикаторной функции происходит сигнализация и формируется вектор абсолютных дифлекс-параметров, который содержит отклонения от верхней границы ОДЗ.

Параметром индикаторной функции, с помощью которого в С-индикаторе осуществляется сигнализация о точности прогноза, является мера ранговой параметрической близости средней относительной ошибки прогноза. В качестве примера она рассчитывается на основе разности двух радиус-векторов четвёртого ранга: прогнозных значений и значений фактически потреблённой электроэнергии по выражению

$$|\rho_4^p| = \sqrt{(x_4^p - x_4^k)^2 + (w_4^p - w_4^k)^2}, \tag{3.14}$$

где $x_4^k; w_4^k$ – координаты радиус-вектора электропотребления для четвёртого ранга;
 $x_j^p; y_j^p$ – координаты радиус-вектора прогнозных значений для четвёртого ранга.

Как показано на рисунке 3.7, погрешность прогнозирования электропотребления на год вперёд может составить от 4 до 15 %.

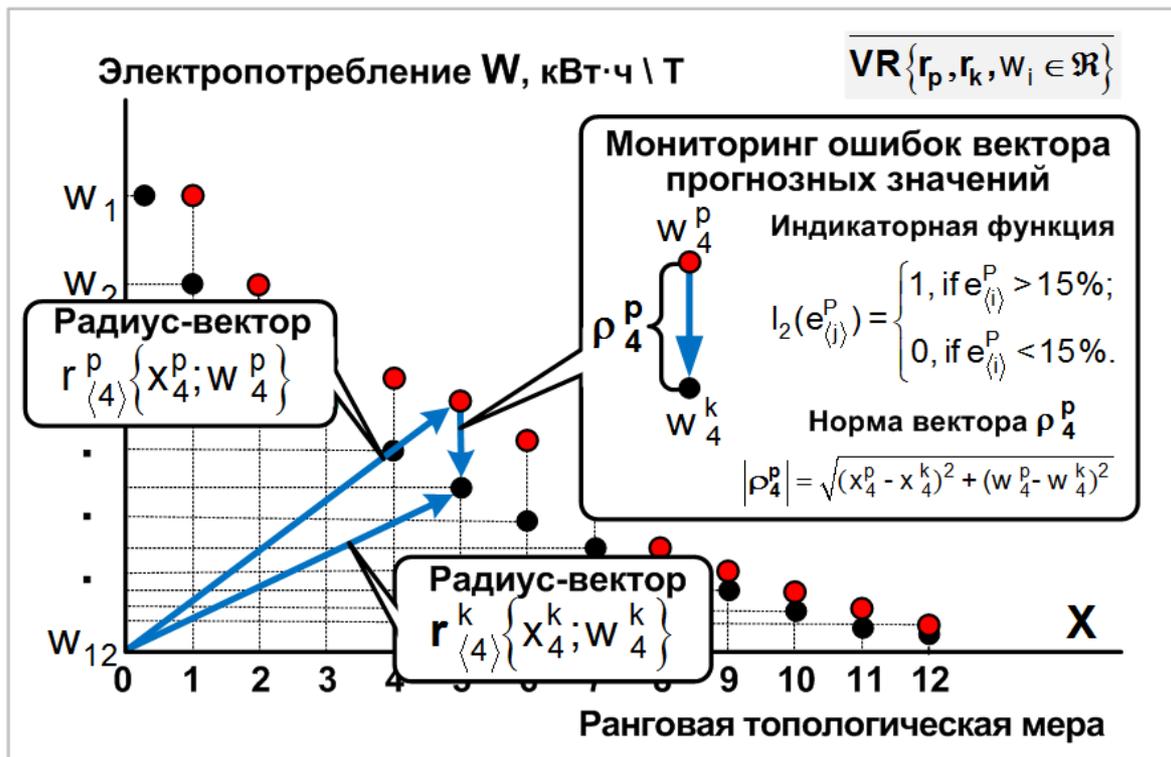


Рисунок 3.7 – Мониторинг ошибок прогноза

В случае если она превысит 15 %, происходит оповещение о наличии ошибки. Величина 15 % обоснована руководящими документами и теоретическими исследованиями [81-85].

Мониторинг значений вектора норм электропотребления заключается в определении с помощью индикаторной функции $I_3(w_{\langle k \rangle}^N)$ значений мер ранговой параметрической близости $|\rho_4^n|$ (показана в качестве примера также для четвёртого ранга), которая рассчитывается как разность двух радиус-векторов: значений норм электропотребления $r_{\langle 4 \rangle}^n \{x_4^n; w_4^n\}$ и нижнего допустимого значения ОДЗ $r_{\langle 4 \rangle}^{Ng} \{x_4^{Ng}; w_4^{Ng}\}$:

$$|\rho_4^n| = \sqrt{(x_4^n - x_4^{Ng})^2 + (w_4^n - w_4^{Ng})^2}, \tag{3.15}$$

где $x_4^n; w_4^n$ – координаты радиус-вектора значения нормы электропотребления;
 $x_4^{Ng}; y_4^{Ng}$ – координаты радиус-вектора нижнего значения границы области допустимых значений.

Если значение нормы превышает нижнее допустимое значение ОДЗ на 15 %, то в С-индикаторе происходит оповещение об отклонении (рисунок 3.8).

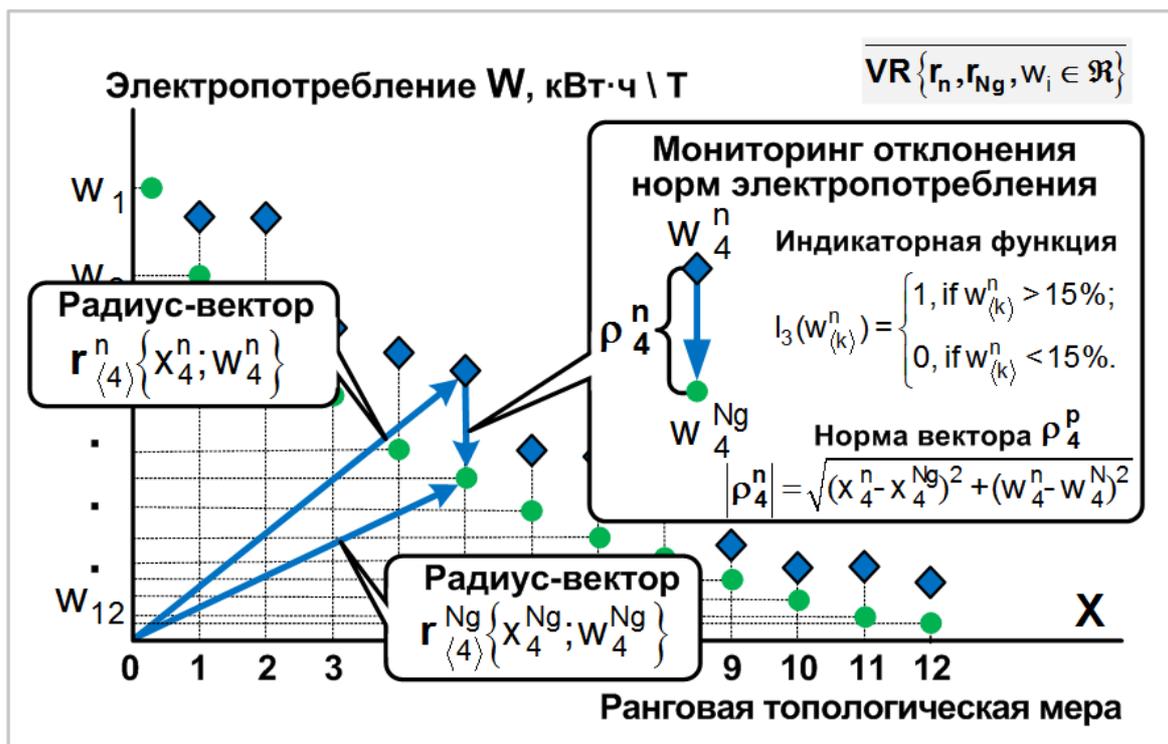


Рисунок 3.8 – Мониторинг отклонения норм электропотребления

Предел 15 % для средней относительной ошибки и отклонения норм выбран на основе проведённых исследований в работах [81 – 85], в которых доказано, что при превышении данного предела электропотребление объекта считается аномально большим и приводит к нарушению нормального технологического процесса.

Необходимо отметить, что норма должна понуждать объекты к снижению электропотребления, поэтому чем она ниже, тем лучше. Однако, с другой стороны, норма для объектов [81-85] не может опускаться ниже величины, соответствующей нижнему допустимому значению ОДЗ.

В результате мониторинга результатов процедур рангового анализа в векторном ранговом пространстве формируется С-матрица, которая содержит векторы с ошибками и отклонениями:

$$C_{[n,m]}^* = \left\| \mathbf{w}_{(i)}^{D^*}, \mathbf{w}_{(j)}^{P^*}, \mathbf{w}_{(k)}^{N^*} \right\|_{i,j,k=1}^{n,m}, \tag{3.16}$$

где $\mathbf{w}^{D^*}_{\langle i \rangle}$ – вектор значений дифлекс-параметра, содержащий в том числе отклонения от верхнего допустимого значения ОДЗ;
 $\mathbf{w}^{P^*}_{\langle j \rangle}$ – вектор прогнозных значений, содержащий в том числе значения, имеющие среднюю ошибку прогноза больше 15 %;
 $\mathbf{w}^{N^*}_{\langle k \rangle}$ – вектор значений норм электропотребления, содержащий в том числе значения, имеющие отклонения норм от нижнего допустимого значения ОДЗ больше 15 %.

Таким образом, при формировании стратегии \mathbf{U}_1 осуществляется проверка достоверности и качества данных по электропотреблению с помощью аппарата предпочтений, который представлен в виде С-индикатора. Для принятия решения об ошибках и отклонениях в С-индикаторе предусмотрены индикаторные функции, которые использует ЛПР. По результатам алгоритма мониторинга результатов стандартных процедур формируется С-матрица, которая включает вектор относительных дифлекс-параметров, вектор прогнозных значений и вектор норм, содержащие ошибки и отклонения.

Непосредственно перед формированием стратегии \mathbf{U}_1 ЛПР должно учесть совокупность внутренних факторов Λ_1 . Такие факторы принадлежат множеству определённых факторов Λ_F , которые заранее известны ЛПР и характеризуются полной и достоверной информацией о проблемной ситуации, целях, ограничениях и последствиях принимаемых решений. Соответственно, Λ_F включает в себя следующие факторы: достоверности входных данных для формирования векторов С-матрицы λ_D , точности обнаружения ошибок и отклонений λ_M для векторов С-матрицы и своевременности сигнализации об ошибке или отклонению λ_S [172; 173].

Тогда совокупность внутренних факторов для формирования стратегии \mathbf{U}_1 можно описать системой

$$\Lambda_1 = \langle \lambda_D, \lambda_M, \lambda_S \rangle. \quad (3.17)$$

ЛПР принимает решение об учёте фактора λ_D на этапе подготовки и верификации данных для реализации стандартных процедур рангового анализа. По результатам данного этапа ЛПР вносит поправки для индикаторных функций. Фактор точности обнаружения ошибок и отклонений λ_M учитывается в процессе выбора математического аппарата для выявления ошибок и отклонений. В данном случае выбрана мера ранговой параметрической близости как один из показателей векторного рангового анализа. Следующий

фактор λ_S учитывается перед началом реализации мониторинга на наличие ошибок и отклонений и представляет собой способ поиска ошибок и отклонений. В нашем случае ЛПР задаёт последовательный способ обнаружения: сначала осуществляется мониторинг вектора дифлекс-параметра, затем векторов прогнозных значений и норм электропотребления.

На окончательном этапе формирования стратегии U_1 формируются алгоритмы устранения ошибок и отклонений S -матрицы с помощью комплексного показателя системных свойств.

Комплексный показатель системных свойств – это система логических выражений, благодаря которым производится выбор алгоритмов стандартных и тонких процедур для устранения ошибок и отклонений, выявленных при мониторинге S -матрицы. Комплексные алгоритмы формируются ЛПР на основе стандартных и тонких процедур рангового анализа. На рисунке 3.9 представлена схема выбора алгоритма для устранения ошибок и отклонений с помощью комплексного показателя системных свойств [81-85].

Выбор стратегии U_1 осуществляется на основе того, что индикаторные функции I_{A1}, I_{A2}, I_{A3} фиксируют в векторном ранговом пространстве значения векторов $w_{\langle i \rangle}^{D^*}, w_{\langle j \rangle}^{P^*}, w_{\langle k \rangle}^{N^*}$ относительно границ ОДЗ. Соответственно, формируются три группы значений: выше, внутри и ниже ОДЗ.

В зависимости от того, какая группа проиндексирована для устранения ошибок и отклонений, создаётся свой комплексный алгоритм, который содержит необходимую комбинацию стандартных и тонких процедур рангового анализа.

Для того чтобы применить аппарат индикаторных функций, вводится понятие пространства индикаторных событий S_i , под которым понимается пространство, определяющее вероятность нахождения любого значения векторов $w_{\langle i \rangle}^{D^*}, w_{\langle j \rangle}^{P^*}, w_{\langle k \rangle}^{N^*}$, принадлежащего VR относительно границ ОДЗ. Аналитическое выражение, которое описывает S_i , можно записать в следующем виде:

$$S_i = [P_v, P_m, P_n]; P_v, P_n \notin \{A_k\}_{k=1}^3; P_m \in \{A_k\}_{k=1}^3, \quad (3.18)$$

где P_v – вероятность нахождения значения вектора выше верхнего допустимого значения ОДЗ;

P_m – вероятность нахождения значения вектора внутри ОДЗ;

P_n – вероятность нахождения значения вектора ниже нижнего допустимого значения ОДЗ.

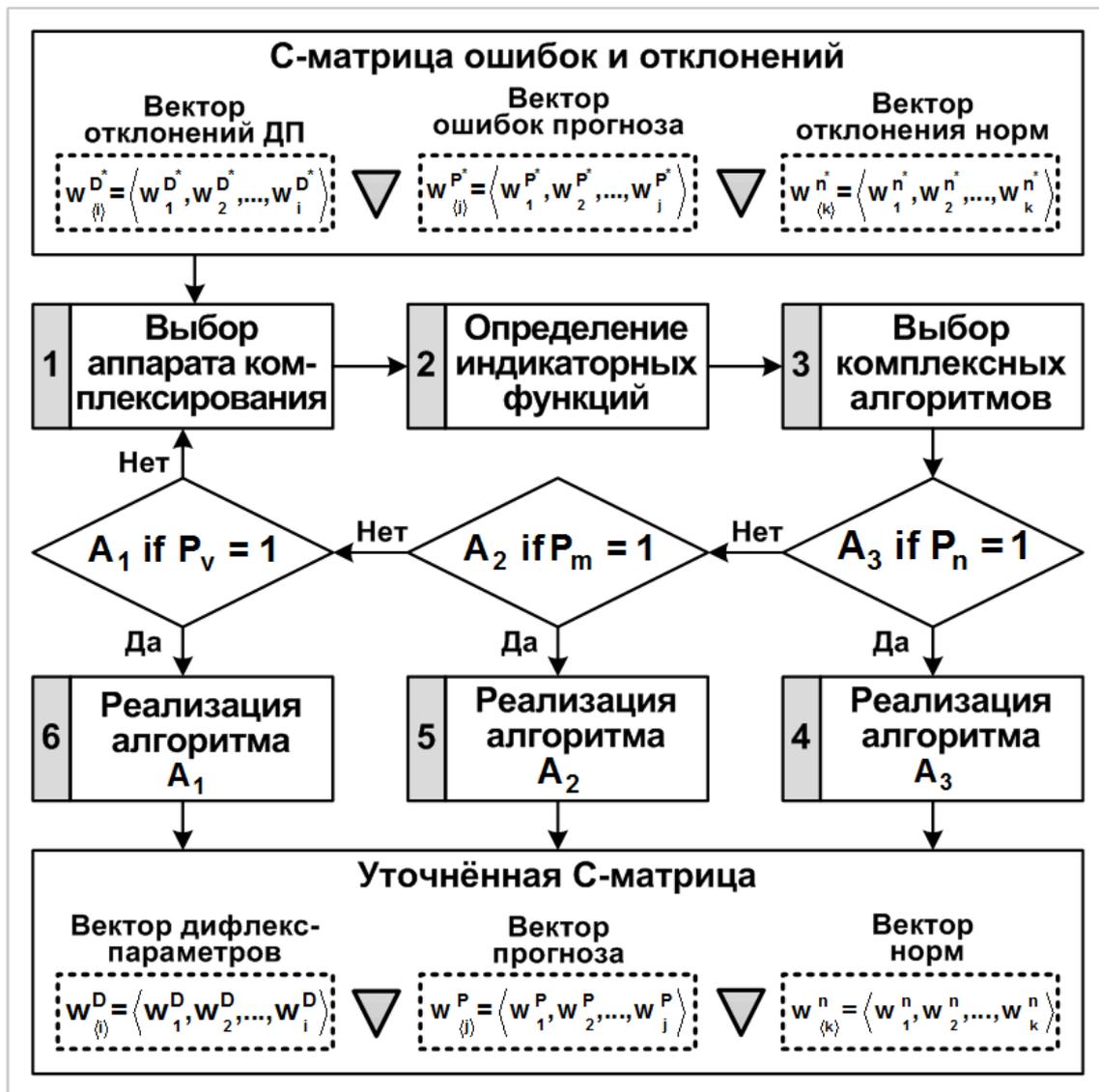


Рисунок 3.9 – Алгоритм выбора стратегии U_1 для устранения ошибок и отклонений с помощью комплексного показателя системных свойств

Далее можно определить индикаторную случайную величину X , связанную с нахождением объекта, то есть с событиями P_v, P_m, P_n . Эта величина подсчитывает количество объектов, находящихся выше, внутри и ниже ОДЗ. Если объект находится выше верхней границы ОДЗ, она равна 1, если внутри – то 0,5, ниже – 0. Запишем это с помощью следующих формальных математических обозначений [81-85]:

$$I(X) = \begin{cases} 1 \text{ if } P_v = 1; \\ 0,5 \text{ if } P_m = 1; \\ 0 \text{ if } P_n = 1, \end{cases} \quad (3.19)$$

где $I(X)$ – индикаторная случайная величина.

В интегральной форме события P_v, P_m, P_n относительно ОДЗ могут быть представлены системой

$$\left\{ \begin{array}{l} P_v = \int_{-\infty}^{w_i^v} f(w) dw; \\ P_m = \int_{w_i^{Ng}}^{w_i^v} f(w) dw; \\ P_n = \int_{-\infty}^{w_i^{Ng}} f(w) dw; \\ w_i^v, w_i^{Ng} \in \{A_k\}_{k=1}^3, \end{array} \right. \quad (3.20)$$

где w_i^v – значение вектора С-матрицы на верхней допустимой границе ОДЗ;

w_i^{Ng} – значение вектора С-матрицы на нижней границе ОДЗ.

В пункте 3.2 описана проблемная концепция моделирования на основе синтеза процедур рангового анализа. На основе анализа входной информации Θ_v и мониторинга векторов С-матрицы сформирована стратегия U_1 . Поэтапная реализация данной стратегии предполагает получение множества исходов G_r^1 , которое включает в себя подмножества значений векторов дифлекс-параметра, средней относительной ошибки и отклонения норм и представляет собой следующую систему:

$$\left\{ \begin{array}{l} G_r^1 = \{w_{\langle i \rangle}^a, e_{\langle j \rangle}^p, w_{\langle k \rangle}^N\} \in \mathfrak{R}; \\ w_{\langle i \rangle}^a = \{w_1^a, w_2^a, \dots, w_i^a\} \in \mathfrak{R}; \\ e_{\langle j \rangle}^p = \{e_1^p, e_2^p, \dots, e_j^p\} \in \mathfrak{R}; \\ w_{\langle k \rangle}^N = \{w_1^N, w_2^N, \dots, w_k^N\} \in \mathfrak{R}; \\ w_{\langle i \rangle}^a \cup e_{\langle j \rangle}^p \cup w_{\langle k \rangle}^N; w_{\langle i \rangle}^a \cap e_{\langle j \rangle}^p \cap w_{\langle k \rangle}^N \neq \emptyset; \\ w_{\langle i \rangle}^a, e_{\langle j \rangle}^p, w_{\langle k \rangle}^N \in G_r^1 \in VR, \end{array} \right. \quad (3.21)$$

где $w_{\langle i \rangle}^a$ – вектор значений дифлекс-параметра, содержащий аномальные объекты;

$e_{\langle j \rangle}^p$ – вектор значений средних относительных ошибок прогноза;

$w_{\langle k \rangle}^N$ – вектор значений отклонения норм электропотребления.

По сути, множество G_r^1 представляет собой совокупность возможных состояний значений векторов, определённых с помощью индикаторных функций в векторном ранговом пространстве относительно ОДЗ.

В результате анализа G_r^1 относительно ОДЗ создаются алгоритмы для устранения ошибок и отклонений, каждый из которых имеет целью сформировать итоговый результат $Y_{\Omega}^1(G_r^1)$, причём областью определения результата является $\{A_k\}_{k=1}^3$. Пространство событий S_i определяет три возможных состояния значений G_r^1 [81-85; 147].

Первое состояние определяется, если значение $w_{\langle i \rangle}^a$ находится выше верхней допустимой границы ОДЗ, средняя относительная ошибка прогноза $e_{\langle j \rangle}^p > 15\%$ и отклонение нормы электропотребления от нижней допустимой границы $w_{\langle k \rangle}^N > 15\%$. Такое состояние означает, что в системе управления самого объекта либо во внешней системе управления имеет место организационный фактор, дестабилизирующий нормальный процесс функционирования. Именно на устранение этого фактора в первую очередь и должны быть направлены меры по энергосбережению. В связи с этим индикаторная случайная величина указывает на необходимость формирования комплексного алгоритма A_1 (рисунок 3.9).

С учётом необходимости более точного и качественного устранения ошибок и отклонений в состав алгоритма включены тонкие процедуры рангового анализа: дифлекс-анализ, GZ-анализ и ASR-анализ [36-51]. Реализация каждой тонкой процедуры осуществляется, соответственно, для каждого вектора С-матрицы и выполняется до тех пор, пока значения не будут удовлетворять необходимым индикаторам. В первую очередь реализуется процедура дифлекс-анализа для аномальных объектов, значения которых выше верхнего значения ОДЗ. По результатам дифлекс-анализа формируется очерёдность обследования объектов для проведения энергоаудита и принятия организационных мер по регулированию управления электропотреблением объектов.

В случае если с помощью дифлекс-анализа не удалось достичь требуемого результата, то реализуется следующая тонкая процедура – ASR-

анализ. В результате более точного нормирования рассчитываются нормы, которые не превышают отклонение от нижнего допустимого значения ОДЗ больше 15 %. Далее осуществляется прогнозирование значений электропотребления с помощью GZ-анализа до тех пор, пока средняя относительная ошибка прогноза не будет меньше 15 %.

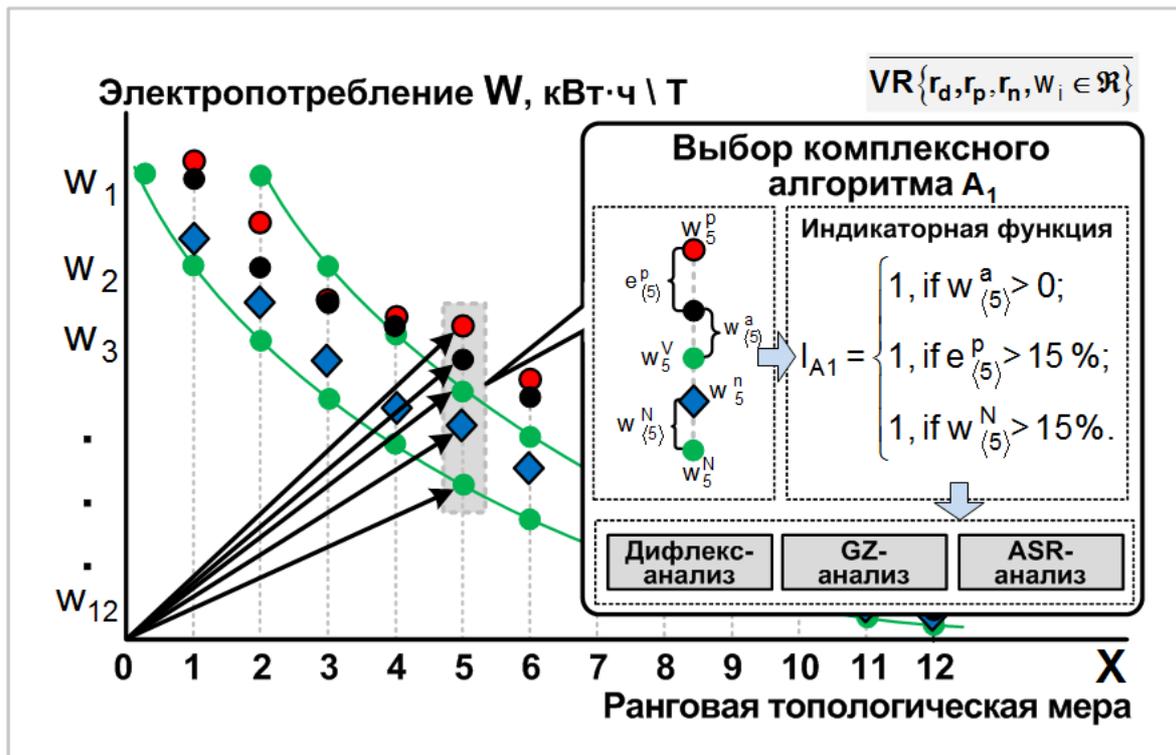


Рисунок 3.9 – Выбор комплексного алгоритма A_1 для устранения ошибок и отклонений

Второе вероятное состояние возникает при индикации значений электропотребления, которые находятся ниже нижней допустимой границы ОДЗ, тогда формируется комплексный алгоритм A_3 , реализующий стандартные процедуры рангового анализа: интервальное оценивание, прогнозирование и нормирование электропотребления (рисунок 3.10).

При этом следует провести индивидуальное обследование каждого объекта и выявить причины столь низкого электропотребления. Окончательным результатом выполнения алгоритма A_3 является отсутствие значений ниже нижнего допустимого значения ОДЗ без ущерба для функционирования нормального технологического процесса.

Третье вероятное состояние определяется, если значения векторов S -матрицы находятся внутри границ ОДЗ. В этом случае осуществляется процедура мониторинга на наличие ошибок и отклонений, по результатам которой формируется комплексный алгоритм A_2 (рисунок 3.11).

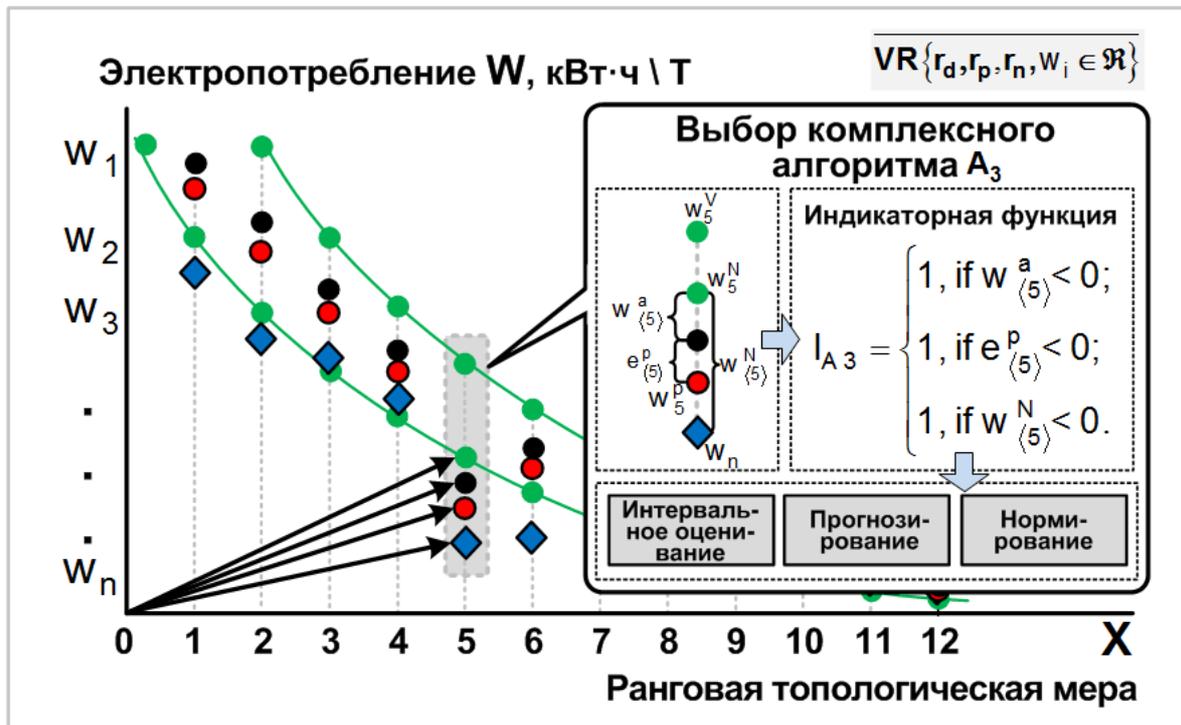


Рисунок 3.10 – Выбор комплексного алгоритма A_3 для устранения ошибок и отклонений

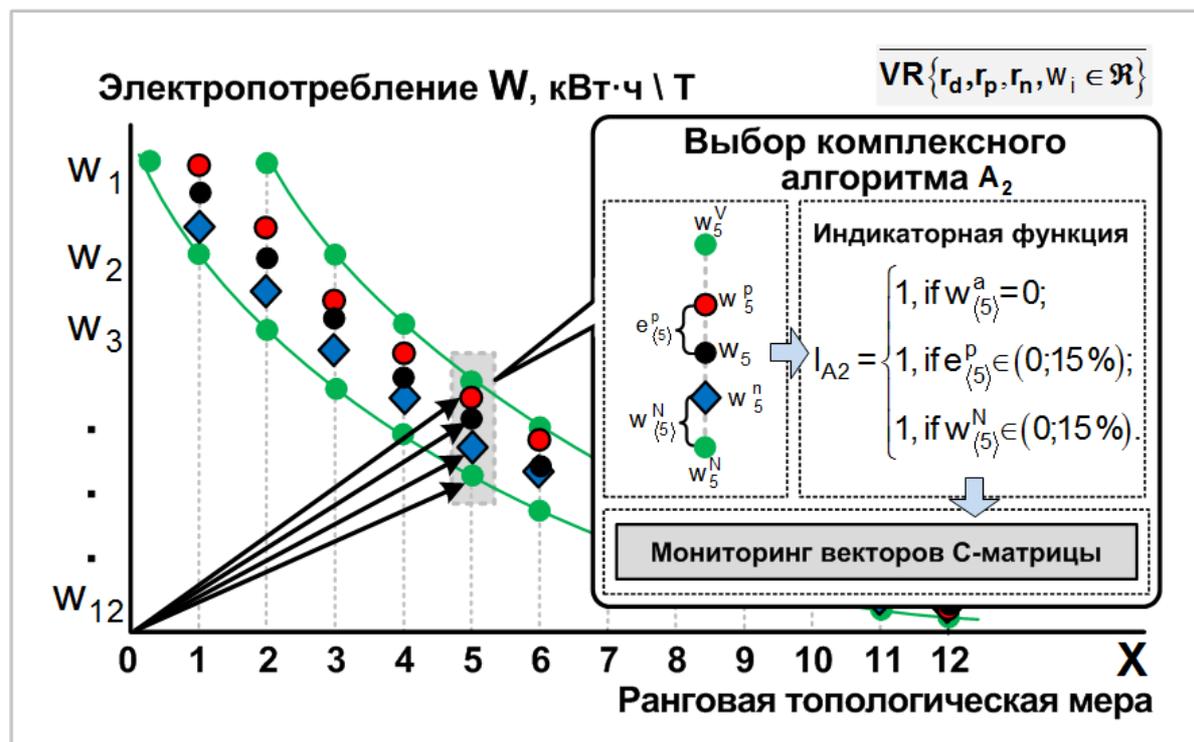


Рисунок 3.11 – Выбор комплексного алгоритма A_2 для устранения ошибок и отклонений

На основе выражений (3.20) и (3.22) выбор алгоритмов для устранения ошибок и отклонений, полученных по результатам мониторинга, можно записать в виде системы на основе индикаторной случайной величины

$$I(X) = \begin{cases} A_1 & \text{if } P_v = 1; \\ A_2 & \text{if } P_m = 1; \\ A_3 & \text{if } P_n = 1, \end{cases} \quad (3.22)$$

где A_1 – комплексный алгоритм для значений выше верхней допустимой границы ОДЗ;
 A_2 – комплексный алгоритм для значений внутри границ ОДЗ;
 A_3 – комплексный алгоритм для значений ниже нижней границы ОДЗ.

Комплексный показатель системных свойств с помощью индикаторной случайной величины в векторном ранговом пространстве осуществляет распределение значений векторов S -матрицы на три группы (выше верхней допустимой границы, внутри границ и ниже нижней допустимой границы ОДЗ), а также выбор комплексных алгоритмов на основе стандартных и тонких процедур рангового анализа для устранения выявленных в результате мониторинга ошибок и отклонений.

Таким образом, комплексный показатель системных свойств формирует величину требуемого результата. Далее с помощью S -индикатора в виде показателя эффективности устанавливается вид метрики $\rho_1(\mathbf{Y}_\Omega^1, \mathbf{Y}_1^{\text{tr}})$. В качестве метрики в данной стратегии используется ранговая норма, которая характеризует допустимый диапазон ОДЗ. Для этого через каждое значение $w_{\langle i \rangle} \in \mathbf{W}_{\langle k \rangle}$ между значениями $w_{\langle i \rangle}^v \in \mathbf{W}_{\langle k \rangle}^v$ и $w_{\langle i \rangle}^n \in \mathbf{W}_{\langle k \rangle}^n$ соответственно определённому значению меры ранговой параметрической близости строится D -вектор, который является допустимым диапазоном. Аналитически метрику, характеризующую \mathbf{Y}_1^{tr} можно записать в следующем виде:

$$|\rho_1(\mathbf{Y}_\Omega^1, \mathbf{Y}_1^{\text{tr}})| = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i^v - x_i^n)^2 + \sum_{j=1}^p (w_j^v - w_j^n)^2}, \quad (3.23)$$

где $x_i^v; w_j^v$ – координаты радиус-вектора верхнего допустимого значения области допустимых значений;
 $x_j^n; w_j^n$ – координаты радиус-вектора нижнего допустимого значения области допустимых значений.

На основе (3.23) формируется модель Ψ_1 «результат - показатель». Одновременно формируется критерий \mathbf{k}_1 по информации множества Θ_v с помощью индикаторных функций, который может использоваться в форме решающего правила. Он будет записан следующим образом:

$$\mathbf{k}_1 = \begin{cases} 1, \text{ if } w_{\langle i \rangle}^a = 0; \\ 1, \text{ if } e_{\langle i \rangle}^p \in (0; 15\%); \\ 1, \text{ if } w_{\langle k \rangle}^N \in (0; 15\%); \\ \mathbf{U}_1 \xrightarrow{\Theta_v} |\rho_1(\mathbf{Y}_\Omega^1, \mathbf{Y}_1^{\text{tr}})| \in \{A_k\}_{k=1}^3; \\ \mathbf{U}_1^* \in \mathbf{U}_1 \in \{A_k\}_{k=1}^3. \end{cases} \quad (3.24)$$

Первые три выражения системы означают, что в результате моделирования отсутствуют значения, которые определяют объекты, аномально потребляющие электроэнергию, средняя относительная ошибка прогнозных значений находится в интервале от 0 до 15 % и отклонение значений норм электропотребления также находится в интервале от 0 до 15 %. Четвёртое выражение показывает, что все значения вектора электропотребления полученного в результате моделирования результатов стратегии \mathbf{U}_1 , должны находиться внутри ОДЗ. Шестое выражение отражает суждение о степени достижения цели управления, которое заключается в выборе наилучшей альтернативы либо осуществлении возврата и коррекция модели.

Таким образом, для формирования стратегии \mathbf{U}_1 осуществляется проверка достоверности и качества данных по электропотреблению с помощью С-индикатора. Для принятия решения об ошибках и отклонениях в С-индикаторе предусмотрены индикаторные функции, которые использует ЛПР. После реализации алгоритма мониторинга результатов стандартных процедур формируется С-матрица, которая включает вектор относительных дифлекс-параметров, вектор прогнозных значений и вектор норм, содержащие ошибки и отклонения.

Устранение ошибок и отклонений осуществляется в комплексном показателе системных свойств, который с помощью индикаторной случайной величины в векторном ранговом пространстве осуществляет распределение значений векторов С-матрицы на три группы (выше верхней допустимой границы, внутри границ и ниже нижней допустимой границы ОДЗ), а также выбор комплексных алгоритмов на основе стандартных и тонких процедур рангового анализа для устранения выявленных в результате мониторинга ошибок и отклонений.

Кроме того, комплексный показатель системных свойств формирует величину требуемого результата. Далее с учётом S -индикатора, который представлен множеством индикаторных функций, по виду показателя эффективности устанавливается вид метрики. В качестве метрики в данной стратегии используется ранговая норма, которая характеризует допустимый диапазон ОДЗ и позволяет сформировать модель «результат – показатель».

3.3.2. Математическое описание стратегии снижения электропотребления на основе управляющего воздействия

Формирования стратегии U_2 осуществляется после реализации стратегии U_1 , когда получены векторы дифлекс-параметра, прогнозных значений и норм электропотребления, удовлетворяющие условию (3.24). Важно подчеркнуть, что входными данными для этой стратегии является именно эти векторы. Целесообразность применения стратегии U_2 полностью обусловлена множеством Λ_2 , которое представляет собой множество факторов организационного воздействия: распорядительное воздействие λ_r , расстановка кадровых ресурсов λ_k , нормирование и регламентирование электропотребления λ_n . В целом организационное воздействие сводится к некоторой нормированной цифре или предельному диапазону. В качестве примера можно привести ситуацию, когда в результате реализации стратегии U_1 получено устойчивое векторное ранговое параметрическое распределение, однако в рамках стратегического планирования руководящих органов необходимо осуществить оптимальную стратегию управления и снизить электропотребление на 3 %. С этой целью реализуется стратегия U_2 . На рисунке 3.13 показан алгоритм реализации стратегии U_2 для снижения электропотребления на основе управляющего воздействия [81-85].

На первом этапе стратегии U_2 реализуется проверка корреляционной связи векторов $\mathbf{w}_{\langle i \rangle}^D, \mathbf{w}_{\langle j \rangle}^P, \mathbf{w}_{\langle k \rangle}^N$, полученных по результатам стратегии U_1 . Данная проверка осуществляется на основе выражений (3.7 – 3.9). Положительный результат проверки доказывает взаимосвязанность значений векторов $\mathbf{w}_{\langle i \rangle}^D, \mathbf{w}_{\langle j \rangle}^P, \mathbf{w}_{\langle k \rangle}^N$ и даёт основание применять математический аппарат векторного рангового анализа [81-85].

На втором этапе реализации стратегии U_2 производится формирование вектора значений относительного дифлекс-параметра (ОДП) для нижнего допустимого значения ОДЗ. ОДП показывает, какую часть от электро-

потребления объекта составляет отклонение от нижней допустимой границы ОДЗ. Для этого в векторном ранговом пространстве с помощью ранговой нормы определяется ОДП.

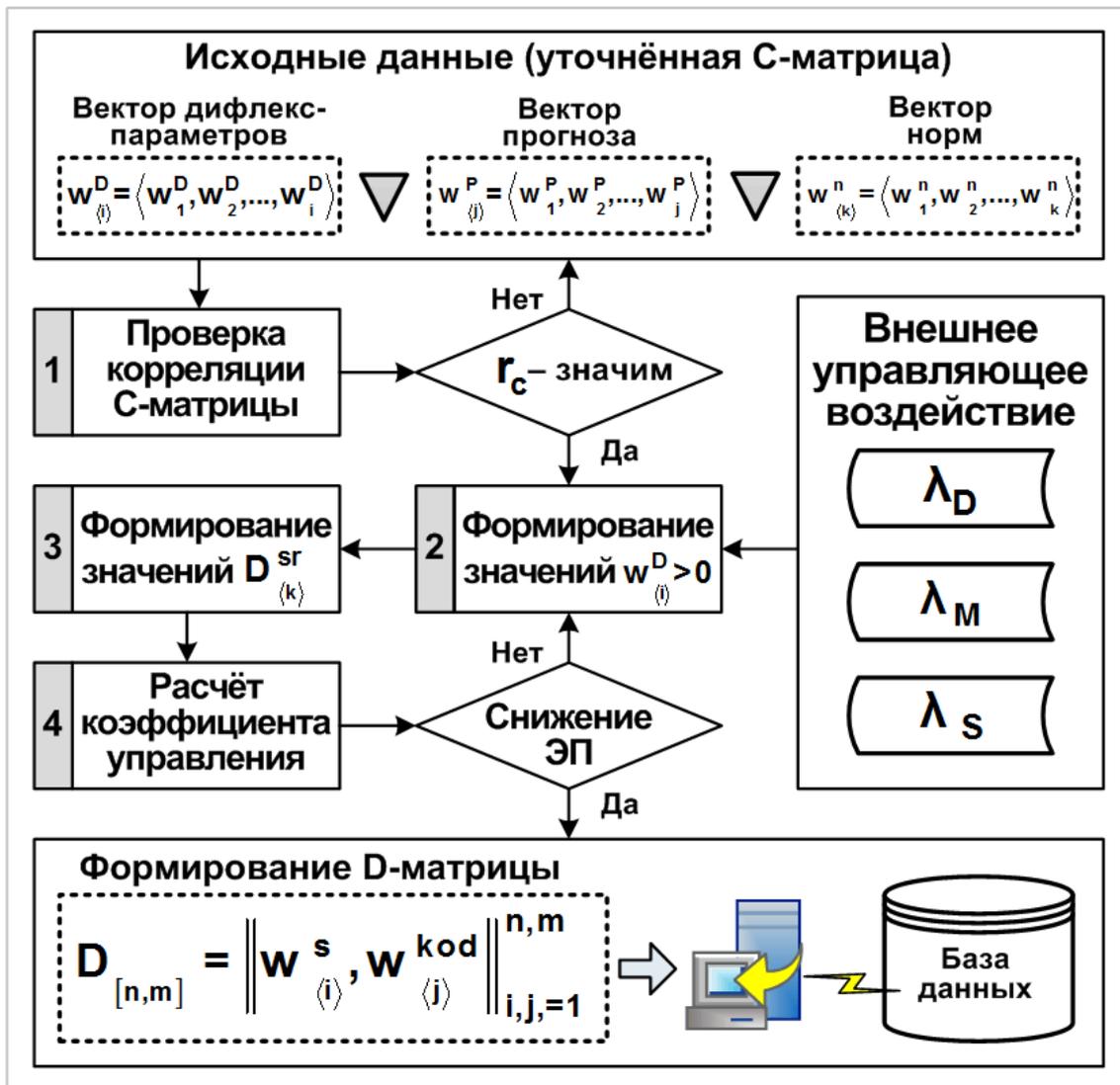


Рисунок 3.13 – Алгоритм стратегии снижения электропотребления на основе управляющего воздействия

На рисунке 3.14 показан пример определения ранговой нормы относительно нижнего значения ОДЗ для пятого ранга. Далее на основе полученных ранговых норм дифлекс-параметра для каждого значения вектора $w_{(i)}^D$ рассчитываются относительные дифлекс-параметры по выражению

$$W_{ODP} = \left\{ w_i^{odp} \right\}_{i=1}^n = \sum_{i=1}^n \frac{|w_{(i)}^{odp}|}{|r_{(i)}^k|}; w_{(i)}^{odp}, r_{(i)}^k \in VR, \quad (3.24)$$

где $\left| \mathbf{w}_{\langle i \rangle}^{\text{odp}} \right|$ – ранговая норма i -го значения дифлекс-параметра относительно нижнего допустимого значения ОДЗ;
 $\left| \mathbf{r}_{\langle i \rangle}^k \right|$ – ранговая норма i -го значения радиус-вектора значения электропотребления выше нижнего допустимого значения ОДЗ.

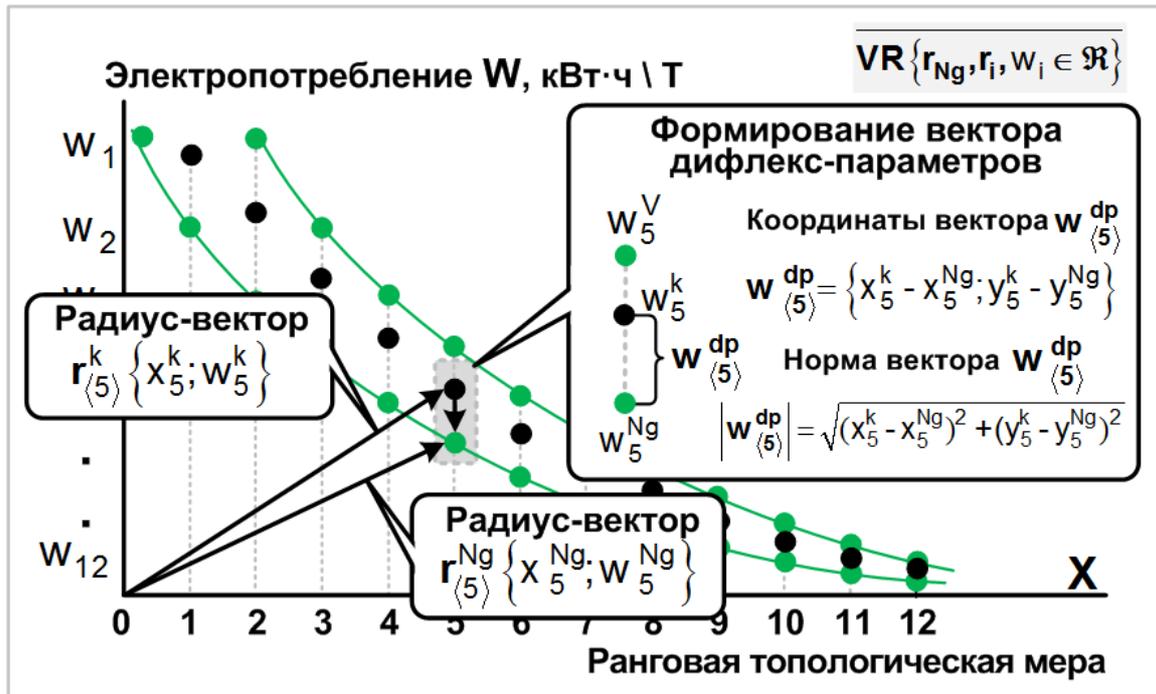


Рисунок 3.14 – Определение значений дифлекс-параметра для пятого ранга

Обоснование выбора ОДП для расчётов объясняется тем, что процедура снижения реализуется для множества значений параметра. Если бы она реализовалась только для одного значения, то расчёты были бы точнее при использовании абсолютного дифлекс-параметра [81-85].

Важным параметром для расчёта коэффициента управления снижением электропотребления объектов техноценоза является среднее прогнозных значений и норм, для расчёта которого необходимо сначала определить ранговые нормы соответствующих векторов. В качестве примера они определяются также для пятого ранга (рисунок 3.15).

Тогда выражение для расчёта среднего прогнозных значений и норм можно записать в виде

$$\left\{ \begin{aligned} \mathbf{d}_{\langle i \rangle}^{\text{sr}} &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{\left| \mathbf{r}_{\langle i \rangle}^p \right|}{\left| \mathbf{r}_{\langle i \rangle}^n \right|}; \\ \mathbf{d}_{\langle i \rangle}^{\text{sr}} &\in \mathbf{D}_{\text{sr}}; \mathbf{r}_{\langle i \rangle}^p, \mathbf{r}_{\langle i \rangle}^n \in \mathbf{VR}, \end{aligned} \right. \quad (3.25)$$

где $\left| \mathbf{r}_{\langle i \rangle}^p \right|$ – ранговая норма i -го радиус-вектора прогнозных значений;
 $\left| \mathbf{r}_{\langle i \rangle}^n \right|$ – ранговая норма i -го радиус-вектора значений норм электропотребления;
 \mathbf{D}_{sr} – множество среднего прогнозных значений и норм.

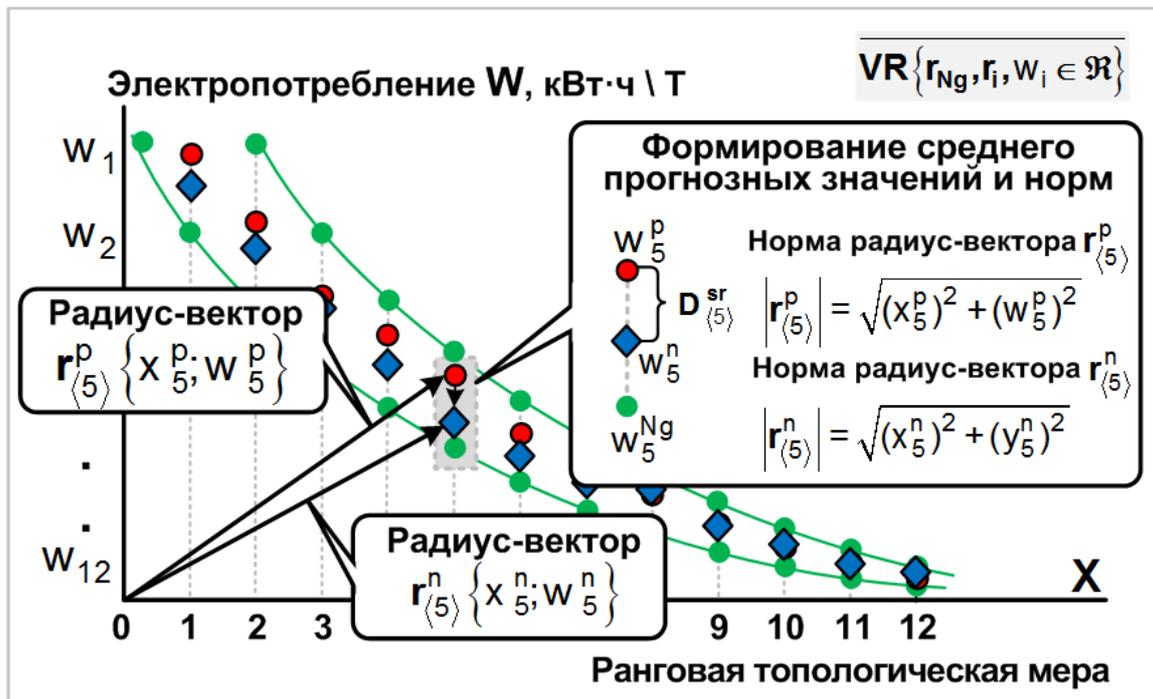


Рисунок 3.15 – Определение ранговых нормы ошибки прогноза для пятого ранга

Множество \mathbf{D}_{sr} обеспечивает возможность корректировки управляющего воздействия при снижении электропотребления. При этом корректная реализация управляющего воздействия достигается только путём совместного использования множества значений относительных дифлексопараметров и множества среднего прогнозных значений и норм.

На следующем этапе алгоритма осуществляется снижение электропотребления. Основным инструментом данной операции является коэффициент управления. Он отражает степень воздействия на значения, находящиеся выше нижней допустимой границы ОДЗ. Величина коэффициента управления выступает обобщающим показателем управляющего воздействия Λ_2 и предполагает снижение электропотребления за счёт комплексирования векторов С-матрицы. Следует отметить, что величину критерия управляющего воздействия \mathbf{k}_2 определяет ЛПР. В данном случае выражение, характеризующее Λ_2 , можно записать в следующем виде:

$$\Lambda_2 = \langle \lambda_r, \lambda_k, \lambda_n \rangle = \mathbf{k}_2 = 3 \%. \tag{3.26}$$

Таким образом, в результате определения основных показателей стратегии U_2 : множества значений относительных дифлекс-параметров W_{ODP} и множества среднего прогнозных значений и норм D_{sr} , а также учёта внешнего управляющего воздействия формируется целевая функция H_2 . Для того чтобы результат снижения был достигнут, необходимо определить целевую функцию так, чтобы зависимость результатов стратегии и её исходов удовлетворяла критерию внешнего управляющего воздействия Λ_2 . В аналитическом виде целевая функция определяется следующим выражением:

$$H_2 : U_2 \times \Lambda_2 \rightarrow Y_2(G_2). \quad (3.26)$$

Анализ (3.25) и (3.26) показал, что зависимость результатов стратегии U_2 от её исходов $Y_2(G_2)$ будет характеризоваться критерием k_2 : коэффициентом управления снижением электропотребления [81-85]. По результатам вычисления выражений (3.24) и (3.25) аналитическое выражение для получения значений коэффициента управления снижением электропотребления можно записать в виде

$$\frac{\left(\mathbf{w}_{\langle i \rangle} \right)^T - \left(\mathbf{d}_{\langle i \rangle}^{sr} \right)^T \cdot \left(E_1 - k_2 \cdot \mathbf{w}_{\langle i \rangle}^{ODP} \right) + \left(\mathbf{d}_{\langle i \rangle}^{srn} \right)^T \cdot E_2}{\left(\mathbf{w}_{\langle i \rangle}^D \right)^T} = 0,03; \quad (3.27)$$

$$\mathbf{w}_{\langle i \rangle} \in \mathbf{W}; \mathbf{d}_{\langle i \rangle}^{sr} \in \mathbf{D}_{sr}; \mathbf{w}_{\langle i \rangle}^{ODP} \in \mathbf{W}_{ODP}; \mathbf{d}_{\langle i \rangle}^{srn} \in \mathbf{D}_{srn},$$

- где $\mathbf{w}_{\langle i \rangle}$ – вектор фактических значений электропотребления;
 $\mathbf{d}_{\langle i \rangle}^{sr}$ – вектор среднего прогнозных значений и норм выше нижнего допустимого значения ОДЗ;
 $\mathbf{d}_{\langle i \rangle}^{srn}$ – вектор среднего прогнозных значений и норм ниже нижнего допустимого значения ОДЗ;
 E_1, E_2 – векторы единиц;
 k_2 – коэффициент управления снижением электропотребления;
 \mathbf{W} – множество фактических значений электропотребления;
 \mathbf{D}_{sr} – множество среднего прогнозных значений и норм;
 \mathbf{W}_{ODP} – множество значений относительных дифлекс-параметров;
 \mathbf{D}_{srn} – множество среднего прогнозных значений и норм ниже нижнего допустимого значения ОДЗ;
 $\mathbf{w}_{\langle i \rangle}^{ODP}$ – вектор ОДП для объектов выше нижней границы ПДИ.

Упростив (3.27), получим выражение для расчёта коэффициента управления снижением электропотребления в векторной форме:

$$\mathbf{k}_2 = \frac{\left(\mathbf{d}_{\langle i \rangle}^{\text{sr}}\right)^T \cdot \mathbf{E}_1 + \left(\mathbf{d}_{\langle i \rangle}^{\text{srn}}\right)^T \cdot \mathbf{E}_2 - 0,97 \cdot \mathbf{w}_{\langle i \rangle}}{\left(\mathbf{d}_{\langle i \rangle}^{\text{sr}}\right)^T \cdot \mathbf{w}_{\langle i \rangle}^{\text{ODP}}}. \quad (3.28)$$

На заключительном этапе реализации стратегии производится моделирование исходов операции снижения. Далее осуществляется проверка правильности расчёта коэффициента управления по выражению (3.27), корректировка электропотребления всего техноценоза на заданную величину (в данном случае 3 %) и формирование матрицы результатов [81 – 85]. Такая матрица называется итоговой D-матрицей сниженных значений электропотребления и представляет собой следующий вид:

$$\mathbf{D}_{[n,m]} = \left\| \mathbf{w}_{\langle i \rangle}^s, \mathbf{w}_{\langle j \rangle}^{\text{kod}} \right\|_{i,j=1}^{n,m}, \quad (3.29)$$

где $\mathbf{w}_{\langle i \rangle}^s$ – вектор сниженных значений электропотребления;
 $\mathbf{w}_{\langle j \rangle}^{\text{kod}}$ – вектор кодов сниженных значений электропотребления.

Таким образом, рассмотрен математический аппарат реализации стратегии \mathbf{U}_2 статической модели управления электропотреблением на основе синтеза процедур рангового анализа. При описании целевой функции стратегии сформированы и описаны множества внешних факторов, исходов и результатов моделирования. Осуществлён обоснованный выбор критерия оценивания стратегии \mathbf{U}_2 в виде коэффициента управления снижением электропотребления. Вывод данного коэффициента осуществлялся в результате операции комплексирования.

Итоговым результатом стратегии следует считать D-матрицу сниженных значений, которая представляет собой прямоугольную таблицу, включающую в себя векторы сниженных значений электропотребления и их кодов, принадлежащих векторному ранговому пространству.

Данную стратегию целесообразно использовать для принятия мер по техническому регулированию, направленных на повышение энергетической и экологической эффективности в электроэнергетике. Последовательная реализация снижения электропотребления на основе управляющего воздействия позволит каждый раз целенаправленно воздействовать на наиболее «слабые» объекты, при этом средства, направленные на проведение энергетических обследований, будут расходоваться наиболее эффективно, а общее электропотребление техноценоза будет постоянно снижаться.

Выводы

Подробное исследование основных положений теории векторного рангового анализа, а также необходимость повышения эффективности управления электропотреблением техноценозов позволили разработать метод управления электропотреблением техноценоза на основе синтеза процедур рангового анализа.

Метод управления электропотреблением техноценоза на основе синтеза процедур рангового анализа представляет собой совокупность новых понятий, сформулированных на основе метода векторного рангового анализа и позволяющих в полном объёме обосновать и аналитически описать задачу комплексирования процедур рангового анализа, критериальную систему для мониторинга результатов процедур рангового анализа и выбора комплексных алгоритмов для их устранения, а также процедуру снижения электропотребления техноценоза.

Основа метода – теоретические положения, научные методы и принципы рангового и векторного анализов, а также теории управления. Их подробное исследование позволило сформировать систему основных понятий, которые позволяют достаточно полно описать процесс синтеза процедур рангового анализа. Ключевыми понятиями являются S -матрица, S -индикатор, индикаторная функция, комплексный показатель системных свойств и коэффициент управляющего воздействия.

Для того чтобы математически описать управление электропотреблением техноценоза на основе синтеза процедур рангового анализа, необходимо концептуально представить её основные элементы. Представленная концептуальная модель управления электропотреблением техноценоза на основе синтеза процедур рангового анализа отображает взаимосвязи между основными элементами процесса выработки управленческого решения и последовательностью формирования частных задач управления. В ней реализуются две стратегии синтеза процедур рангового анализа: комплексирование процедур рангового анализа и снижение электропотребления на основе управляющего воздействия.

После реализации данных стратегий в результате применения аппарата индикаторных функций и с учётом множеств определённых и неопределённых факторов оценивается множество исходов реализации стратегий, а также устанавливается следующая система соответствий, которые определяют конечный результат. Далее на основе показателей и критериев эффективности формируются модели «результат - показатель», позволяющие определить наилучшее решение или указать на необходимость коррекции модели.

При реализации первой стратегии осуществляется проверка достоверности и качества данных по электропотреблению с помощью S -индикатора. Для принятия решения об ошибках и отклонениях в нём предусмотрены индикаторные функции, которые использует ЛПР. Устранение ошибок и отклонений

осуществляется в комплексном показателе системных свойств, который с помощью индикаторной случайной величины в векторном ранговом пространстве осуществляет распределение значений векторов S -матрицы на три группы, а также выбор комплексных алгоритмов. В качестве метрики в данной стратегии используется ранговая норма, которая характеризует допустимый диапазон ОДЗ и позволяет сформировать модель «результат – показатель».

При описании целевой функции второй стратегии сформированы и описаны множества внешних факторов, исходов и результатов моделирования. Осуществлён обоснованный выбор критерия оценивания в виде коэффициента управления снижением электропотребления. Вывод данного коэффициента осуществлялся в результате комплексирования векторов процедур ранга.

Итоговым результатом стратегии следует считать D -матрицу сниженных значений, которая представляет собой прямоугольную таблицу, включающую в себя векторы сниженных значений электропотребления и их коды, принадлежащих векторному ранговому пространству.

Заключение

В настоящее время Российская Федерация находится на переходном этапе к цифровой энергетике. Анализ государственных программных документов, дорожных карт национальных технологических платформ, стратегических документов институтов развития показывает, что логично обратить внимание на то, как будет построена и математически описана система управления электропотреблением цифровой энергосистемы. Для этого необходима разработка научно обоснованной теории управления процессом производства, передачи, сбыта электроэнергии и других ресурсов. При этом теоретической основой для такой системы должны стать совершенно новые методы и методики из различных областей теории управления, использующие потенциал информационных ресурсов.

Теория управления представляет собой область прикладной математики, которая релевантна управлению процессами, происходящими в природе и обществе. Однако она имеет глубокие связи с классическими областями математики, например такими, как исчисления конечных разностей и теория дифференциальных уравнений.

Системы и процессы, к которым теория управления применяется, имеют особенности, связанные с их исследованием, заключающиеся в решении проблем прикладной области. С помощью анализа принципов и проблем теории управления разработано достаточно большое количество прикладных методов управления системами, процессами и объектами различных видов. К основным относятся методы из таких ключевых областей, как ситуационное управление, теория катастроф, адаптивное управление, теория игр, техноэкономическая теория.

В результате всестороннего анализа положений фундаментальных научных теорий и методов техноэкономической теории впервые предложена структура теории векторного рангового анализа, которая представляет собой совокупность методов, моделей и методик, нацеленных на решение проблемы управления электропотреблением объектов техноэкономического пространства.

Основой теории является метод векторного рангового анализа, который позволяет существенно упростить линейные операции при исследовании индивидуальных и системных свойств объектов, а также дополнить свойства теории управления: наблюдаемость, устойчивость, управляемость, оптимальность – методом синтеза процедур рангового анализа.

Важно подчеркнуть, что ключевой способ реализации метода векторного рангового анализа – это представление упорядоченного множества значений одного или нескольких параметров объектов техноэкономического пространства в виде векторного рангового пространства.

При исследовании векторного рангового пространства удалось впервые представить ранговое параметрическое распределение в векторном

виде и определить два взаимосвязанных множества: значений исследуемого параметра и их радиус-векторов. В результате исследования свойств векторного рангового пространства введены понятия его размерности и базиса, а также определены аксиомы, которым подчинены операции сложения и умножения его элементов. Даны определения бесконечномерным и конечномерным векторным ранговым пространствам.

Разработанный понятийный аппарат при исследовании векторного рангового пространства позволил сформировать систему показателей, которая используется для реализации методов управления электропотреблением объектов техноценоза на основе векторного рангового анализа. Введены две группы показателей: статические и динамические. Статические показатели характеризуют состояние объекта в фиксированный момент времени и направлены на исследования его индивидуальных свойств. К ним относятся мера ранговой параметрической близости, ранговая норма и ранговый фазовый угол. Динамические показатели характеризуют процесс функционирования объекта в рамках заданного промежутка времени и направлены на исследование его системных свойств. Основными из них являются: ранговая векторная функция, ранговая векторная скорость и ранговое ускорение.

Ключевым статическим показателем является мера ранговой параметрической близости, позволяющая характеризовать топологию векторного рангового параметрического распределения. Для её количественной оценки введён и обоснован показатель «Ранговая норма», который задаёт на векторном ранговом пространстве метрику (функцию расстояния метрического пространства), порождая, таким образом, некоторое метрическое пространство, а значит, топологию, базой которой являются множества значений параметра и радиус-векторов. Ранговая норма позволяет определить величину параметрического ресурса процедур рангового анализа. Для процедуры интервального оценивания данный показатель позволяет определить величину дифлекс-параметров. При нормировании и потенцировании электропотребления ранговая норма также количественно характеризует их результаты.

Важным статическим показателем является ранговый фазовый угол. Значение рангового фазового угла определяет величину, которая характеризует пространственные свойства двух ближайших радиус-векторов и позволяет определить степень их пространственной близости. Данный показатель целесообразно использовать для реализации прогнозирования электропотребления техноценоза, а также для анализа электропотребления на макроуровне.

Представление векторного рангового распределения в трёхмерном ранговом пространстве дало возможность впервые ввести понятие векторной ранговой функции, представляющее собой отображение, которое каждому действительному числу временного интервала ставит в соответствие один и только один радиус-вектор. Подробно исследованы свойства векторной ран-

говой функции: непрерывность, производная и предел. Сформулированы основные правила нахождения пределов ранговой векторной функций.

С учётом свойств ранговой векторной функции впервые введён показатель векторной ранговой скорости, под которой следует понимать значение производной векторной ранговой функции, характеризующей перемещение значения электропотребления объекта техноценоза в векторном ранговом пространстве по годографу.

Введение показателя рангового ускорения, представляющего собой вторую производную от ранговой векторной функции в заданной точке временного интервала, позволило впервые создать инструмент для исследования управляющего воздействия индивидуально для каждого объекта техноценоза.

При исследовании процессов управления электропотреблением техноценозов на основе векторного рангового анализа реализована операция построения ОДЗ. Она включает в себя три основных этапа: 1) построение вектора значений параметра; 2) аппроксимация его значений; 3) построение нижнего и верхнего допустимых значений диапазона электропотребления для каждого значения параметра. Отличительной особенностью построения ОДЗ является построение её верхних и нижних допустимых границ. Суть построения заключается в том, что для определения наименьшего и наибольшего допустимых значений строятся проекции их значений вектора на оси абсцисс и ординат. Соответственно, точка пересечений проекций соседних векторов ниже аппроксимационной кривой будет наименьшим допустимым значением для вектора высшего ранга, а выше аппроксимационной кривой – наибольшим допустимым значением для вектора высшего ранга.

Анализ процедур рангового анализа показал, что метод векторного рангового анализа позволяет обосновать научно-методологические предпосылки синтеза стандартных и тонких процедур рангового анализа, а также расчёта добавочного ресурса при исследовании динамики управления электропотреблением объектов техноценоза.

Подробное исследование основных положений теории векторного рангового анализа, а также необходимость повышения эффективности управления электропотреблением техноценозов позволили разработать метод управления электропотреблением техноценоза на основе синтеза процедур рангового анализа.

Метод управления электропотреблением техноценоза на основе синтеза процедур рангового анализа представляет собой совокупность новых понятий, сформулированных на основе теории векторного рангового анализа и позволяющих в полном объёме обосновать и аналитически описать задачу комплексирования процедур рангового анализа, критериальную систему для мониторинга результатов процедур рангового анализа и выбора комплексных алгоритмов для их устранения, а также процедуру снижения электропотребления техноценоза.

Основой метода стали теоретические положения, научные методы и принципы рангового и векторного анализов, а также теории управления. Их подробное исследование позволило сформировать систему основных понятий, которые позволяют достаточно полно описать процесс синтеза процедур рангового анализа. Ключевыми понятиями являются S -матрица, S -индикатор, индикаторная функция, комплексный показатель системных свойств и коэффициент управляющего воздействия.

В ходе описания процесса управления электропотреблением технoценoза разработана концептуальная модель, отображающая взаимосвязи между основными элементами процесса выработки управленческого решения и последовательностью формирования частных задач управления.

Разработанная на основе концептуальной модели статическая реализует две стратегии синтеза процедур рангового анализа: комплексирование процедур рангового анализа и снижение электропотребления на основе управляющего воздействия. После реализации данных стратегий в результате применения аппарата индикаторных функций и с учётом множеств определённых и неопределённых факторов оценивается множество исходов реализации стратегий, а также устанавливается следующая система соответствий, которые определяют конечный результат. Далее на основе показателей и критериев эффективности формируются модели «результат – показатель», позволяющие определить наилучшее решение или указать на необходимость коррекции модели.

При реализации первой стратегии осуществляется проверка достоверности и качества данных по электропотреблению с помощью S -индикатора. Для принятия решения об ошибках и отклонениях в нём предусмотрены индикаторные функции, которые использует ЛПР. Устранение ошибок и отклонений осуществляется в комплексном показателе системных свойств, который с помощью индикаторной случайной величины в векторном ранговом пространстве осуществляет распределение значений векторов S -матрицы на три группы, а также выбор комплексных алгоритмов. В качестве метрики в данной стратегии используется ранговая норма, которая характеризует допустимый диапазон ОДЗ и позволяет сформировать модели «результат – показатель».

При описании целевой функции второй стратегии сформированы и описаны множества внешних факторов, исходов и результатов моделирования. Осуществлён обоснованный выбор критерия оценивания в виде коэффициента управления снижением электропотребления. Вывод данного коэффициента осуществлялся в результате комплексирования векторов процедур ранга.

Итоговым результатом стратегии следует считать D -матрицу сниженных значений, которая представляет собой прямоугольную таблицу, включающую в себя векторы сниженных значений электропотребления и их кодов, принадлежащих векторному ранговому пространству.

Список литературы

1. Авсеенко А.И., Гнатюк В.И., Дорофеев С.А., Кивчун О.Р. Снижение электропотребления объектов регионального электротехнического комплекса на основе синтеза процедур рангового анализа // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2017. № 658. С. 93 – 101.
2. Авсеенко А.И., Дорофеев С.А., Кивчун О.Р. Концептуальная модель управления электропотреблением энергетических комплексов на основе оценки потенциала энергосбережения с учетом динамики факторов, влияющих на электропотребление // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2017. № 659. С. 98 – 104.
3. Акоф Р., Сасиени М. Основы исследования операций. Fundamentals of Operations Research / пер. с англ.; под ред. И. А. Ушакова. – М.: Мир, 1971. – 533 с.
4. Акофф Р.Л. Менеджмент в XXI веке. Преобразование корпорации / пер. с англ. Ф.П. Тарасенко. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2006.
5. Андриевский Б.Р. Анализ систем в пространстве состояний. СПб.: ИПМаш РАН, 1997. – 206 с.
6. Андриевский Б.Р. Метод исследования многочастотных цифровых систем управления // Новые информационные технологии в управлении. Научно-технический сборник / под ред. С.Н. Шарова и Н.Н. Смирновой. СПб.: БГТУ. 1998. С. 43 – 46.
7. Антоненков Д.В., Луценко Д.В., Двойрис Л.И. и др. Прогнозирование электропотребления методом анализа главных компонент (Опыт применения пакета MathCad-2001) // Электропотребление судов и электроэнергетики: сб. науч. тр. – Калининград, 2006. – С. 31 – 44.
8. Антоненков Д.В., Луценко Д.В., Дюндик П.Ю. Перспективное прогнозирование электропотребления техноценоза на основе GZ-анализа // Матер. XX межвуз. науч.-практ. конф. «Совершенствование образовательный технологий»: научно-методический сборник. 2006. № 20. Ч. I, кн. 1. – С. 68 – 71.
9. Антоненков Д.В., Южанников А.Ю. Ценологические параметры электропотребления горного предприятия // Известия вузов. Горный журнал. – 2009. – №6. – С. 19 – 22.
10. Арнольд В.И. Геометрия комплексных чисел, кватернионов и спинов. – М.: МЦНМО, 2002. – 40 с.
11. Арнольд В.И. Дополнительные главы теории обыкновенных дифференциальных уравнений. – М.: Наука, 1978.
12. Арнольд В.И. Математические методы классической механики. – 3-е изд. – М.: Наука, 1989. – 472 с.
13. Арнольд В.И. Что такое математика? – М.: МЦНМО, 2008. – 104 с.
14. Берёзкина С.Ю. Анализ и прогнозирование регионального промышлен-

- ленного потребления энергоресурсов с применением информационно-аналитической системы: автореф. дис. ... канд. тех. наук. – Новочеркасск, 2008. – 19 с.
15. Берёзкина С.Ю. Анализ и прогнозирование регионального промышленного потребления энергоресурсов с применением информационно-аналитической системы: дис. ... канд. тех. наук. – Новочеркасск, 2008. – 180 с.
 16. Берёзкина С.Ю., Надтока И.И. Анализ и моделирование потребления энергоресурсов в Ростовской области // *Электрика*. – 2006. – № 4. – С. 10-12.
 17. Бертран, Жозеф Луи Франсуа // Википедия. [2018 - 2018]. Дата обновления: 26.10.2018. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=95826702> (дата обращения: 26.10.2018).
 18. Бесекерский В.А., Попов Е.Н. Теория систем автоматического управления: учеб. пособие. – СПб.: Профессия, 2007. – 752 с.
 19. Бир Ст. Кибернетика и управление производством / пер. с англ. В.Я. Алтаева. – М.: Наука, 1963. – 276 с.
 20. Блюмин И.Г. Теория Курно // *Критика буржуазной политической экономии*: В 3 томах. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – Т. I. Субъективная школа в буржуазной политической экономии. – С. 491-532.
 21. Борель Эмиль // Википедия. [2019 – 2019]. Дата обновления: 20.02.2019. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=98219772> (дата обращения: 20.02.2019).
 22. Бородакий Ю.В., Лободинский Ю.Г. Основы теории систем управления. – М.: Радио и связь, 2004. – 256 с.
 23. Бородин В.А, Нагаева Е.А. Инновационные модели в оценке экономического состояния организации // *Проблемы управления в сложных экономических и социальных системах*: сб. науч. ст. – М.: Русайнс, 2015.
 24. Векторный анализ // Википедия. [2018—2018]. Дата обновления: 23.11.2018. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=96461119> (дата обращения: 23.11.2018).
 25. Варшавский В.И., Поспелов Д.А. Оркестр играет без дирижера. – М.: Наука, 1984.
 26. Взаимоотношения потребителей с субъектами электроэнергетики на розничных рынках электроэнергии / Ю.В. Матюнина и др. // *Электрика*. – 2007. – № 1.– С. 3-9.
 27. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. – М.: Советское радио, 1968. – 325 с.
 28. Винер Н. Я - математик. – М.: Наука, 1967. – 353 с.
 29. Вишняков Е.П., Авсеенко А.И., Шуневич Н.А. Модель функционирования системы электроснабжения сложных объектов // *Современные проблемы науки и образования*. – 2015. – № 2-2. – С. 172-173.

30. Вишняков Е.П., Швайковский М.А., Ильин А.В. Работа реле сопротивления при несинусоидальном сигнале в дистанционной защите линии // Известия Тульского государственного университета. Сер. Технические науки. – 2018. – № 10. – С. 473 – 479.
31. Вишняков, Е.П., Горин В.А., Карагодин В.В. Математические основы построения оптимального по быстродействию управления возбуждением синхронного генератора // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2013. – № 134 (3). – С. 3 – 8.
32. Волобуева О.П. Основы теории управления: учебник. – 2-е. изд., перераб. и доп. – Алматы: КазНТУ, 2015. – 308 с.
33. Геллер Б.Л. Сопряжение исполнительного двигателя с аналоговой системой автоматического регулирования // Известия КГТУ. – 2012. – № 25. – С. 215 – 219.
34. Геллер Б.Л., Гнатюк В.И., Копылов В.А. Снижение коммерческих потерь электроэнергии на основе реализации процедур рангового анализа // Балтийский морской форум: матер. IV Междунар. Балтийского морского форума. – Калининград, 2016. – С. 1568 – 1573.
35. Геллер Б.Л., Кивчун О.Р., Дорофеев С.А. Автоматизированная система управления электропотреблением техноценологического типа // Балтийский морской форум: матер. VI Междунар. Балтийского морского форума: в 6 т. – Калининград, 2018. – С. 319 – 328.
36. Гнатюк В.И. Закон оптимального построения техноценозов: монография. – 3-е изд., перераб. и доп. [Электронный ресурс]. – Калининград: [Изд-во КИЦ «Техноценоз»], [2019]. URL: <http://gnatukvi.ru/ind.html>.
37. Гнатюк В.И. и др. Мониторинг электропотребления регионального электротехнического комплекса ОАО «Янтарьэнерго». – Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2015. – 241 с.
38. Гнатюк В.И. и др. Потенциал энергосбережения регионального электротехнического комплекса. – Калининград: Издательство КГТУ, 2015. – 106 с.
39. Гнатюк В.И. и др. Потенцирование в методике управления электропотреблением техноценоза // Журнал Сибирского федерального университета. Серия «Техника и технологии». 2014. Т. 7, № 1. С. 116 – 124.
40. Гнатюк В.И. Потенциал энергосбережения техноценоза: трактат. Электронные текстовые данные. – Калининград: [КИЦ ТЦ], [2013]. URL: <http://gnatukvi.ru/index.files/potential.pdf>.
41. Гнатюк В.И. Философские основания техноценологического подхода: монография]. – Электронные текстовые данные. – Калининград: [Изд-во КИЦ «Техноценоз»], [2014]. URL: http://gnatukvi.ru/mono_pdf/text.pdf.
42. Гнатюк В.И., Дорофеев С.А., Кивчун О.Р. Имитационное моделирование объектов системы технического обеспечения регионального электротехнического комплекса // Вестник БФУ им. И. Канта. Сер.: Физико-математические и технические науки. 2017. № 1. С. 59 – 69.

43. Гнатюк В.И., Дорофеев С.А., Кивчун О.Р. Методика управления электропотреблением при эксплуатации объектов регионального электротехнического комплекса калининградской области на основе системных свойств потенциала энергосбережения // Промышленная энергетика. 2017. № 10. С. 58 – 65.
44. Гнатюк В.И., Кивчун О.Р. Интеллектуальные технологии мониторинга электропотребления припортового электротехнического комплекса // Морские интеллектуальные технологии. – 2017. – № 3 (37), т. 1. – С. 130 – 135.
45. Гнатюк В.И., Кивчун О.Р. Техноценологический подход к оценке эффективности техники // III Балтийский морской форум: матер. Междунар. морского форума. – Калининград, 2015. – С. 513 – 522.
46. Гнатюк В.И., Кивчун О.Р., Луценко Д.В. Динамическая модель управления электропотреблением объектов припортового электротехнического комплекса // Морские интеллектуальные технологии. – 2017. – № 4 (38), т. 2. – С. 112 – 117.
47. Гнатюк В.И., Кивчун О.Р., Луценко Д.В., Морозов Д.Г. Режимное нормирование электропотребления при эксплуатации объектов регионального электротехнического комплекса // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – № 4 (42), т. 3. – С. 116 – 121.
48. Гнатюк В.И., Кивчун О.Р., Луценко Д.В., Никитин М.А. Модели и методы прогнозирования электропотребления при управлении объектами регионального электротехнического комплекса // Математическое моделирование. 2017. Т. 29, вып. 5. С. 109 – 121.
49. Гнатюк В.И., Кивчун О.Р., Яфасов А.Я. Определение потенциала энергосбережения объектов припортового электротехнического комплекса в рамках развития интеллектуальных энергетических систем // Морские интеллектуальные технологии. – 2017. – № 3 (37), т. 1. – С. 142 – 149.
50. Гнатюк В.И., Луценко Д.В. Прогнозирование электропотребления регионального электротехнического комплекса на инерционном этапе развития: Экономические проблемы энергетического комплекса. – М.: ИНП РАН, 2009. – 92 с.
51. Гнатюк В.И., Меркулов А.А., Яфасов А.Я. Универсальная модель организации как инструмент реализации целостного подхода в управлении социально-экономическими системами // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – № 2 (40), т. 2. – С. 143 – 155.
52. Годограф [Электронный ресурс]: Материал из Википедии – свободной энциклопедии: Версия 99784235, сохранённая в 13:41 UTC 14 мая 2019 / Авторы Википедии // Википедия, свободная энциклопедия. – Электрон. дан. – Сан-Франциско: Фонд Викимедиа, 2019. – URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=99784235>.

53. Городецкий В.И., Иоффе А.Я. и др. Статистические методы в прикладной кибернетике: учебное пособие / под общ. ред. Р.М. Юсупова. – Л.: МО СССР, 1980. – 377 с.
54. Горшенин В.П. Управление инновационным потенциалом персонала корпорации: монография / М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Южно-Уральский гос. ун-т. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 287 с.
55. Дмитриевский В.А., Меркулов А.А., Майтаков Ф.Г. Модель данных «Категории операций, сущностей и связей» // Балтийский морской форум: матер. V Междунар. Балтийского морского форума. – Калининград, 2017. – С. 1632 – 1639.
56. Докучаев А.В. и др. Анализ ранговой динамики систем техноценологического типа // Труды XI междунар. науч. конф. 2013. – Калининград: КГТУ, 2013. – С. 324 – 327.
57. Докучаев А.В. и др. Анализ энтропии ранговой динамики систем техноценологического типа // Труды XI междунар. науч. конф. – Калининград. КГТУ, 2013. – С. 328 – 331.
58. Докучаев А.В. и др. Об эффективности // Матер. V междунар. Балтийского морского форума. – Калининград: КГТУ, 2013. – С. 1576 – 1582.
59. Дорофеев С.А., Дюндик П.Ю., Кивчун О.Р. Z-потенширование как процедура определения потенциала энергосбережения техноценоза с учетом системных свойств объектов // Труды XI международной научной конференции. Калининград: КГТУ, 2013. – С. 312 – 314.
60. Дорофеев С.А., Дюндик П.Ю., Проскурнин Е.Д. ZP-потенширование как процедура определения потенциала энергосбережения техноценоза с учетом индивидуальных свойств объектов // Труды XI международной научной конференции. Калининград. КГТУ, 2013. – С. 315 – 317.
61. Дорофеев С.А., Кивчун О.Р. Снижение электропотребления при эксплуатации объектов припортового электротехнического комплекса на основе оценки системного и объектного потенциалов энергосбережения // Морские интеллектуальные технологии. 2017. № 24 (38). С. 117-121.
62. Дюндик П.Ю., Луценко Д.В. Применение рангового анализа для исследования электропотребления объектов Балтийского флота // Электрооборудование судов и электроэнергетика: сб. науч. тр. Калининград: Калининградский государственный технический университет, 2006. С. 80 – 88.
63. Емельянов С.В. Системы автоматического управления с переменной структурой. – М.: Наука, 1967. – 421 с.
64. Жилин Б.В. Выявление условий применения индивидуальной компенсации реактивной мощности // Фёдоровские чтения – 2017: матер. XLVII Междунар. науч.-практ. конф. с элементами научной школы. – М., 2017. – С. 99 – 102.

65. Жилин Б.В. Использование моделей N - i -распределения как развитие ценологического подхода. Ценологическое моделирование: теоретические основания и практические результаты // Ценологические исследования: матер. XV конф. по философии техники и технетике и семинара по ценологии. – М.: Технетика, 2011. С.120 – 130.
66. Жилин Б.В. Прогнозирование производства электроэнергии на основе структурных закономерностей // Известия Тульского государственного университета. Сер. Технические науки. – 2017. – № 12-1. – С. 70 – 74.
67. Жилин Б.В., Исаев А.С., Кобулов В.А. Определение потерь электроэнергии эквивалентирующими методами // Известия Тульского государственного университета. Сер. Технические науки. – 2012. – № 12. – С. 49 – 55.
68. Жилин Б.В., Кобулов В.А. Анализ информативности констант и показателей описания структуры техноценозов на примере производства электроэнергии в Российской Федерации // Известия Тульского государственного университета. Сер. Технические науки. – 2012. – № 12. – С. 99 – 108.
69. Жилин Б.В., Кобулов В.А. Выявление индикаторов динамики ценоза // Ценологические исследования: матер. XVI конф. по философии техники и технетике и семинара по ценологии. – М.: Технетика, 2012. С. 297 – 306.
70. Жилин Б.В., Кобулов В.А. Соответствие структуры электропотребления крупного электротехнического комплекса гиперболическим распределениям // Известия Тульского государственного университета. Сер. Технические науки. – 2012. – № 12. – С. 56 – 61.
71. Заименко А.А., Гнатюк В.И. Потенциал энергосбережения техноценоза // Электрика. – 2011. – № 2. – С. 17 – 19.
72. Заименко, А.А., Гнатюк В.И., Седнёв В.А. Предельный алгоритм нормирования электропотребления объектов техноценоза // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2014. – № 6(59). – С. 12 – 22.
73. Ильин В.А., Садовничий В. А., Сендов Бл. Х. Математический анализ / под ред. А. Н. Тихонова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Проспект, 2006. – 353 с.
74. Исаев А. С. Разработка метода определения объемов и периодичностей регионального электроремонта: На примере Новомосковского промышленного узла: автореф. дис. ... канд. тех. наук. – М., 1999. – 20 с.
75. Исаев А.С., Жилин Б.В., Андреев Д.Е. Краткосрочное прогнозирование электропотребления сетевой компании // Известия ТЛГУ. Сер. Технические науки. – 2012. – № 12-2. – С. 319 – 325.
76. Карагодин В.В. Особенности оптимального по быстродействию управления интегрирующим звеном с присоединенным гармоническим осциллятором // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2013. – Т. 56, № 10. – С. 49 – 53.

77. Карагодин В.В., Зубарев А.В., Полянский К.А. Совершенствование математической модели оптимизации структуры системы бесперебойного электроснабжения ответственных потребителей объектов космических войск // Труды военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2017. – № 656. – С. 159 – 165.
78. Карагодин В.В., Полянский К.А. Задача оптимизации структуры системы бесперебойного электроснабжения ответственных потребителей объектов Министерства обороны // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2016. – № 12(1). – С. 20-27.
79. Квакернаак Х., Сиван Р. Линейные оптимальные системы управления. – М.: Мир, 1977. – 637 с.
80. Кибернетика и менеджмент = Cybernetics and Management / Стаффорд Бир; пер. с англ. В. Алтаев. – [М.]: КомКнига, 2011. – 280 с.
81. Кивчун О.Р. Алгоритм снижения электропотребления объектов регионального электротехнического комплекса // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Физико-математические и технические науки. – 2014. – № 10. – С. 102 – 108.
82. Кивчун О.Р. Исследование объектов техноценологического типа на основе векторного рангового анализа // Фёдоровские чтения – 2018: матер. XLVIII Междунар. науч.-практ. конф. с элементами научной школы. – М., 2018. – С. 18 – 26.
83. Кивчун О.Р. Метод векторного рангового анализа при управлении электропотреблением объектов военной инфраструктуры // Известия Тульского государственного университета. Сер. Технические науки. – 2018. – № 11. – С. 550 – 560.
84. Кивчун О.Р. Метод векторного рангового анализа электропотребления объектов региональной инфраструктуры // Промышленная энергетика. – 2018. – № 5. – С. 36 – 43.
85. Кивчун О.Р., Дорофеев С.А. Снижение электропотребления при эксплуатации объектов припортового электротехнического комплекса на основе оценки системного и объектного потенциалов энергосбережения // Морские интеллектуальные технологии. – 2017. – № 2-4 (38). – С. 117 – 121.
86. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2016. – 440 с.
87. Клыков Ю.И. Ситуационное управление большими системами. – М.: Энергия, 1974. – 213 с.
88. Колесников А.В. Листопад С.В., Майтаков Ф.Г. Метаязык для гибридных интеллектуальных систем визуального управления электрическими сетями: иерархии, структуры, ситуации и состояния // Вестник БФУ им. И. Канта. Сер.: Физико-математические и технические науки. – 2018. – № 2. – С. 47 – 58.

89. Колесников А.В. Функциональные гибридные интеллектуальные системы визуального управления // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: матер. IV Всероссийской Поспеловской конф. с междунар. участием. – Калининград, 2018. – С. 18 – 81.
90. Колесников А.В., Клачек П.М., Корягин С.И., Минкова Е.С. Гибридные адаптивные интеллектуальные системы: монография. – Калининград: БФУ им. И. Канта, 2011. – Ч. 1 – 374 с.
91. Колесников А.В., Листопад С.В., Майтаков Ф.Г. Инструментальное средство разработки функциональных гибридных интеллектуальных систем с гетерогенным визуальным полем // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Физико-математические и технические науки. – 2018. – № 4. – С. 49 – 61.
92. Колесников А.В., Румовская С.Б., Листопад С.В., Майтаков Ф.Г. Анализ методов гетерогенного мышления и перспектив их реализации гибридными интеллектуальными многоагентными системами // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Физико-математические и технические науки. – 2018. – № 2. – С. 59 – 71.
93. Колесников, А.В. Решение сложных задач коммивояжера методами функциональных гибридных интеллектуальных систем: монография. – М.: ИПИ РАН, 2011. – 295 с.
94. Кошелева И.Л., Дорофеев С.А., Кивчун О.Р., Вахитов А.Р. Повышение эффективности использования электрической энергии при эксплуатации объектов регионального электротехнического комплекса калининградской области за счет учета системных свойств потенциала энергосбережения // Матер. V междунар. Балтийского морского форума. – Калининград. КГТУ, 2017. С. 1601 – 1610.
95. Кронгауз Д.Э. Методы и средства регулирования активной и реактивной мощности в городской электрической сети // Промышленная энергетика. – 2011. – № 3 – С. 45 – 48.
96. Кронгауз Д.Э. Повышение качества электроэнергии в городских распределительных сетях посредством управления режимами реактивной мощности // Промышленная энергетика. – 2010. – № 10 – С. 39 – 43.
97. Кронгауз Д.Э. Ранжирование регуляторов реактивной мощности в городской распределительной сети // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2011. – № 6 – С. 36 – 45.
98. Кудрин Б.И. Античность. Символизм. Технетика. – М.: Электрика, 1995. – 120 с.
99. Кудрин Б.И. Введение в технетику. – Томск: ТГУ, 1993. – 552 с.
100. Кудрин Б.И. Выделение и описание электрических ценозов // Электромеханика. – 1985. - № 7. – С. 49 – 54.
101. Кудрин Б.И. Зачем технарию Платон. – М.: Электрика, 1996. – 216 с.
102. Кудрин Б.И. Очерки полевого учета. – Вып. 6. Ценологические исследования. – М.: Центр системных исследований, 1998. – 192 с.

103. Кудрин Б.И. Проблемы создания и управления ценозами искусственного происхождения // Кибернетические системы ценозов: Синтез и управление. – М.: Наука, 1991. – С. 5 – 17.
104. Кудрин Б.И. Символизм и основы технетики (становление неклассического мышления). – Томск: Изд-во ТГУ, 1993. – 43 с.
105. Кудрин Б.И. Технетика: новая парадигма философии техники (третья научная картина мира). – Томск: Изд-во ТГУ, 1998. – 40 с.
106. Кудрин Б.И. Электрика как развитие электротехники и электроэнергетики. – 3-е изд., испр., перер. – Томск: Издательство ТГУ, 1998. – 40 с.
107. Кудрин Б.И., Жилин Б.В. и др. Ценологическое определение параметров электропотребления многономенклатурных производств. – Тула: Приокск. кн. изд-во, 1994. – 122 с.
108. Кудрин Б.И., Крылов Ю.К. Целочисленное аппроксимирование ранговых распределений и идентификация техноценозов. – Вып. 11. Ценологические исследования. – М.: Центр системных исследований, 1999. – 79 с.
109. Кудрин Б.И., Мозгалин А.В. Методика обеспечения почасового прогнозирования электропотребления предприятий с учетом погодных факторов // Вестник МЭИ. – 2007. – № 2. – С. 45 – 47.
110. Кудрин Б.И., Федяев Д.М. Техническая реальность в XXI веке: матер. Конф. (Омск, 21 – 22 января 1999 года). – Омск: Изд-во Омского ГПУ, 1999. – 68 с.
111. Курно, Антуан Огюстен // Википедия. [2016 – 2016]. Дата обновления: 23.02.2016. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=76659165> (дата обращения: 23.02.2016).
112. Лагранж Ж.Л. Аналитическая механика: в 3 т. – М.: ГТТИ, 1950. – Т. 1. – 594 с.
113. Лагранж Жозеф Луи [Электронный ресурс]: Материал из Википедии – свободной энциклопедии: Версия 97699226, сохранённая в 06:55 UTC 25 января 2019 / Авторы Википедии // Википедия, свободная энциклопедия. – Электрон. дан. – Сан-Франциско: Фонд Викимедиа, 2019. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=97699226>.
114. Лагуткин О.Е. Прогнозирование параметров электропотребления многономенклатурных химических производств: автореф. дис. ... канд. тех. наук. – М., 1995. – 20 с.
115. Лагуткин О.Е. Терминологическое обеспечение прогнозирования электропотребления и организации энергосбережения по регионам // Известия Тульского государственного университета. Сер. Технические науки. – 2014. – № 2. – С. 205 – 209.
116. Лагуткин, О.Е., Лагуткин П.О. Закон сохранения структуры электрического хозяйства // Известия Тульского государственного университета. Сер. Технические науки. – 2012. – № 12-3. – С. 242 – 247.

117. Лакруа Сильвестр Франсуа [Электронный ресурс]: Материал из Википедии – свободной энциклопедии: Версия 91962545, сохранённая в 13:54 UTC 7 апреля 2018 / Авторы Википедии // Википедия, свободная энциклопедия. – Электрон. дан. – Сан-Франциско: Фонд Викимедиа, 2018. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=91962545>.
118. Лаплас П.С. Изложение системы мира. – Л.: Наука, 1982. – 376 с.
119. Лаплас Пьер-Симон [Электронный ресурс]: Материал из Википедии – свободной энциклопедии: Версия 96238989, сохранённая в 17:44 UTC 11 ноября 2018 / Авторы Википедии // Википедия, свободная энциклопедия. – Электрон. дан. – Сан-Франциско: Фонд Викимедиа, 2018. – URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=96238989>.
120. Ласкер Эмануэль // Википедия. [2019 – 2019]. Дата обновления: 20.09.2019. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=102258032> (дата обращения: 20.09.2019).
121. Лукьяненко С.Ф., Сизганова Е.Ю. О возможности внедрения методики оптимального управления электропотреблением техноценоза в электрохозяйство предприятий разделительно-сублиматного комплекса атомной отрасли России // Энергосбережение и водоподготовка. – 2012. – № 1. – С. 58 – 60.
122. Лукьяненко С.Ф., Сизганова Е.Ю. Системные исследования статической модели электропотребления объектов вспомогательных систем и дополнительных производств ОАО «ПО «ЭХЗ» // Энергосбережение и водоподготовка. – 2012. – № 5. – С. 66 – 68.
123. Лукьяненко С.Ф., Сизганова Е.Ю., Реализация динамической модели электропотребления ОАО «ПО «ЭХЗ» // Энергосбережение и водоподготовка. – 2013. – № 2. – С. 72 – 74.
124. Луценко Д.В. Комбинаторная теория ранговой динамики: трактат. – Калининград: КИЦ «Техноценоз», 2018. – 113 с. URL: <http://gnatukvi.ru/ktrd.pdf>.
125. Луценко Д.В. Основы применения комбинаторной теории ранговой динамики в исследовании функционирования припортового регионального электротехнического комплекса // Морские интеллектуальные технологии. 2017. № 2-4 (38). С. 122 – 127.
126. Луценко Д.В., Гнатюк В.И. Комбинаторный анализ ранговой динамики // Матер. IV междунар. Балтийского морского форума. – Калининград: КГТУ, 2016. – С. 1561 – 1568.
127. Ляпунов А.М. Собрание сочинений. Т. 1. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – 446 с.
128. Ляпунов А.М. Собрание сочинений. Т. 2. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. – 472 с.
129. Ляпунов А.М. Собрание сочинений. Т. 3. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 374 с.

130. Мазер Д.Н. «Устойчивость C-отображений. VI. Хорошие размерности», УМН, 29:1(175) (1974), 129 – 158 mathnet mathscinet zmath.
131. Майтаков Ф.Г., Яфасов А.Я., Петренко Е.В., Меркулов А.А. Единая модель хранения данных различных предметных областей для систем поддержки принятия решений // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – № 3-4 (42). – С. 127 – 133.
132. Майтаков Ф.Г., Яфасов А.Я., Петренко Е.В., Меркулов А.А. Технология создания системы распределенных ситуационных центров // Морские интеллектуальные технологии. – 2017. – № 24 (38). – С. 159 – 166.
133. Майтаков Ф.Г., Яфасов А.Я., Петренко Е.В., Меркулов А.А. Технология синтеза виртуальной рабочей среды для гетерогенных территориально распределенных коллективов // Балтийский морской форум: матер. VI Междунар. Балтийского морского форума: в 6 т. – Калининград, 2018. – С. 381 – 390.
134. Мальгранж Б. Аналитические пространства // УМН. 1972. 27:1(163). С. 159 – 184.
135. Марков А.А. Избранные труды. – Л.: 1-я тип. Изд. АН СССР, 1951. – 720 с.
136. Марков Андрей Андреевич (старший) [Электронный ресурс]: Материал из Википедии – свободной энциклопедии: Версия 94978132, сохранённая в 12:35 UTC 9 сентября 2018 / Авторы Википедии // Википедия, свободная энциклопедия. – Электрон. дан. – Сан-Франциско: Фонд Викимедиа, 2018. – URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=94978132>.
137. Матюнина Ю.В. Неэффективная энергоэффективность // Электрика. – 2009. – № 4.– С. 3–10.
138. Меркулов А.А. VSM-ценоз в решении задач повышения жизнеспособности организационных систем // Электрика. – 2006. – №8. – С. 22-28.
139. Меркулов А.А. Ситуационный центр VSM Cenose. Холистический подход // Ситуационные центры 2009: матер. науч.-практ. конф. РАГС / под общей ред. А.Н. Данчула. – М., 2009. – С.125 – 131.
140. Меркулов, А.А. Ситуационный центр VSM Cenose: монография. – Калининград: Техноценоз, 2014. – 330 с.
141. Методы робастного, нейро-нечёткого и адаптивного управления: учебник / под ред. Н.Д. Егупова; МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 744 с.
142. Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. – СПб.: Наука, 2000. – 549 с.
143. Моргенштерн О., Нейман Дж. Теория игр и экономическое поведение. – М.: Наука, 1970 – 347 с.
144. Моргенштерн, Оскар // Википедия. [2018 – 2018]. Дата обновления: 22.08.2018. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=94654769> (дата обращения: 22.08.2018).

145. Морозов Д.Г., Геллер Б.Л., Галев К.Д. Система управления электропотреблением при эксплуатации объектов техноценологического типа на основе регионального электротехнического комплекса // Балтийский морской форум: матер. VI Междунар. Балтийского морского форума: в 6 т. – Калининград, 2018. – С. 329 – 335.
146. Наблюдаемость (теория управления) [Электронный ресурс]: Материал из Википедии – свободной энциклопедии: Версия 99864422, сохранённая в 03:20 UTC 19 мая 2019 / Авторы Википедии // Википедия, свободная энциклопедия. – Электрон. дан. – Сан-Франциско: Фонд Викимедиа, 2019. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=99864422>.
147. Надёжность и эффективность в технике: справочник: в 10 т. / ред. совет: В.С. Авдуевский (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1988. – Т. 3. Эффективность технических систем / под общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. – 328 с.
148. Надёжность и эффективность в технике: справочник: в 10 т. / ред. совет: В.С. Авдуевский (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1988. – Т. 2. Математические методы в теории надёжности и эффективности / под общ. ред. Б.В. Гнеденко. – 280 с.
149. Надтока И.И. Методы расчета электрических нагрузок многоквартирных домов с электрическими плитами, основанные на данных о средних нагрузках // Результаты исследований – 2016: матер. II Национальной конф. профессорско-преподавательского состава и научных работников. – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова, 2016. С. 96 – 97.
150. Надтока И.И., Павлов А.В., Новиков С.И. Проблемы расчёта электрических нагрузок коммунально-бытовых потребителей микрорайонов мегаполисов // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2013. – № 1. – С. 136 – 139.
151. Надтока, И.И., Павлов А.В. Расчёты электрических нагрузок жилой части многоквартирных домов с электрическими плитами, основанные на средних нагрузках квартир // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2014. – № 3. – С. 36 – 39.
152. Нейман, Джон фон // Википедия. [2019 – 2019]. Дата обновления: 17.08.2019. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=101659456> (дата обращения: 17.08.2019).
153. Нечёткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука, 1986. – 312 с.
154. Новиков С.С. Задачи потребителей в новой модели рынка // Электрификация металлургических предприятий Сибири. – 2007. – № 12. – С. 212 – 216.
155. Новиков С.С. К вопросу о задачах потребителей в условиях новой модели рынка электроэнергии // Электрификация металлургических предприятий Сибири. – 2007. – № 13. – С. 216 – 220.

156. Новиков С.С. Перспективы работы большегрузных ДСП на оптовом рынке электроэнергии // Электрификация металлургических предприятий Сибири. – 2005. – № 12. – С. 80 – 85.
157. Нэш Дж. С1-изометрические вложения (рус.) // Математика. 1957. Т. 1, № 2. – С. 3 –16.
158. Нэш Дж. Аналитичность решений задач о неявной функции с аналитическими исходными данными // УМН. – 1971. – Т. 26, № 4(160). – С. 217–226.
159. Нэш Дж. О непрерывности решений параболических и эллиптических уравнений // Математика. – 1960. – Т. 4, № 1. – С. 31–52.
160. Нэш Дж. Проблема вложений для римановых многообразий // УМН. – 1971. – Т. 26, № 4(160). – С. 173 –216.
161. Олейник В.С., Кириллов М.Н., Луценко Д.В. Методика идентификация тренда в задачах ситуационного управления // Матер. Междунар. конф. «Инновации в науке, образовании и бизнесе-2012». – Калининград: КГТУ, 2012. – С. 458 – 461.
162. Оптимальная система [Электронный ресурс]: Материал из Википедии – свободной энциклопедии: Версия 53303251, сохранённая в 02:43 UTC 13 марта 2013 / Авторы Википедии // Википедия, свободная энциклопедия. – Электрон. дан. – Сан-Франциско: Фонд Викимедиа, 2013. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=53303251>.
163. Ошурков М.Г. Понятийное, модельное и математическое обеспечение задач электрики // Электрика. – 2008. – № 12. – С. 40 – 45.
164. Ошурков М.Г. Теоретическое и практическое значение выделения уровней системы электроснабжения // Известия Тульского государственного университета. Сер. Технические науки. – 2012. – № 12-3. – С. 270 – 280.
165. Ошурков М.Г. Терминологическое обеспечение прогнозирования электропотребления и организации энергосбережения по регионам // Известия Тульского государственного университета. Сер. Технические науки. – 2014. – № 2. – С. 215 – 220.
166. Панасюк В.Н., Вязников А.В., Моисеенков П.И. Развитие средств обеспечения качества электрической энергии // Военный инженер. – 2016. – № 1. – С. 5 – 9.
167. Панасюк В.Н., Парахин Ю.Н., Сухарь Г.А. Определение границ технико-экономической эффективности применения резервного и автономного электроснабжения // Энерго- и ресурсосбережение. XXI век: сб. матер. X Междунар. науч.-практ. интернет-конференции. – Орёл, 2012. – С. 101 – 105.
168. Панасюк В.Н., Тишков А.А., Колесник И.В. Создание системы контроля состояния изоляции кабельных сетей на объектах МО РФ // Военный инженер. – 2017. – № 1(3). – С. 40 – 47.

169. Пантелеев В.И., Гнатюк В.И., Заименко А.А. Потенширование в методике управления электропотреблением техноценоза // Журнал Сибирского федерального университета. Сер.: техника и технологии. – 2014. – № 1. – С. 116 – 124.
170. Пантелеев В.И., Туликов А.Н. Методы искусственного интеллекта в управлении режимами систем электроснабжения предприятий // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2008. – № 1(17). – С. 91 – 93.
171. Пантелеев В.И., Филатов А.Н. Управление режимами реактивной мощности и напряжения промышленного предприятия: монография. – Красноярск: КГТУ, 2005. – 125 с.
172. Петухов Г.Б., Иоффе А.Я. и др. Вероятностные методы в прикладной кибернетике: учеб. пособие / под общ. ред. Р.М. Юсупова. – Л.: ВИКИ им. А.Ф. Можайского, 1976. – 424 с.
173. Петухов Г.Б., Морозов Л.М., Сидоров В.Н. Методологические основы теории эффективности: учеб. пособие. – Л.: ВИКИ им. А.Ф. Можайского, 1982. – 238 с.
174. Пospelов Д. А. Вероятностные автоматы. - М.: Энергия, 1970. – 88 с.
175. Пospelов Д. А. Ситуационное управление: Теория и практика. – М.: Наука. – Гл. ред. физ.-мат. Лит., 1986. – 288 с.
176. Пospelов Д.А. Десять «горячих точек» в исследованиях по искусственному интеллекту // Интеллектуальные системы (МГУ). 1996. Т. 1, вып. 1-4. С. 47 – 56.
177. Пospelов Д.А. Инженерия знаний // Наука и жизнь. 1987. № 6.
178. Пospelов Д.А. Информатика. Энциклопедический словарь. М.: Просвещение, 1994.
179. Пospelов Д.А. Новые информационные технологии – это те ключи, которые откроют нам путь в новое общество // Новости искусственного интеллекта. 1994. № 2. С. 57 – 76.
180. Предел функции [Электронный ресурс]: Материал из Википедии – свободной энциклопедии: Версия 99545697, сохранённая в 10:42 UTC 2 мая 2019 / Авторы Википедии // Википедия, свободная энциклопедия. – Электрон. дан. – Сан-Франциско: Фонд Викимедиа, 2019. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=99545697>.
181. Рабочая группа «Энерджинет» [Электронный ресурс] // Национальная технологическая инициатива. М., 2016 – 2019. URL: <https://energynet.ru/?p=whoisit> (дата обращения: 03.08.2019).
182. Розенберг И.Н., Булгаков С.В. Проектная модель информационной безопасности ГИС // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2010. № 2. С. 113 – 115.
183. Розенберг И.Н., Вознесенская М.Е. Геознания и геореференция // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2010. № 2. С. 116 – 118.

184. Рутковский В.Ю., Суханов В.М., Глумов В.М. Некоторые вопросы управления свободнолетающим космическим манипуляционным роботом // Автоматика и телемеханика. 2013. №11. С. 62 – 83.
185. Сарры С.В. Оценка возможностей выполнения защиты ближнего резервирования трансформаторных подстанций с упрощенными схемами соединений // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Сер.: технические науки. – 1997. – № 2. – С. 48 – 52.
186. Сарры С.В. Повышение надежности функционирования и разработка быстродействующих устройств релейной защиты элементов подстанций, выполненных по упрощенным схемам: автореф. дис. ... канд. тех. наук. – Новочеркасск, 1999. – 17 с.
187. Сарры С.В. Повышение надежности функционирования и разработка быстродействующих устройств релейной защиты элементов подстанций, выполненных по упрощенным схемам: дис. ... канд. тех. наук. – Новочеркасск, 1999. – 223 с.
188. Северин А.Е. Ранговый анализ в прогнозировании // Автоматизация технологических процессов. – Калининград: Издательство КГТУ, 2002. – С. 118 – 122.
189. Северин А.Е. Результаты оптимизации электропотребления инфраструктурного объекта в Калининградском регионе // Электрика. – 2002. - № 2. – С. 21 – 24.
190. Седов А.В. Усовершенствованные математические методы и модели прогнозирования электропотребления на основе применения декомпозиционного подхода: автореф. дис. ... д-ра тех. наук. – Новочеркасск, 2005. – 35 с.
191. Седов А.В. Усовершенствованные математические методы и модели прогнозирования электропотребления на основе применения декомпозиционного подхода: дис. ... д-ра тех. наук. – Новочерк, 2005. – 473 с.
192. Система управления [Электронный ресурс]: Материал из Википедии – свободной энциклопедии: Версия 101374308, сохранённая в 17:08 UTC 1 августа 2019 / Авторы Википедии // Википедия, свободная энциклопедия. – Электрон. дан. – Сан-Франциско: Фонд Викимедиа, 2019. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=101374308>.
193. Соколов Б.В., Охтилев М.Ю., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов: монография. – М.: Наука, 2006. – 317 с.
194. Соколов Б.В., Охтилев М.Ю., Юсупов Р.М. Методология и интеллектуальные информационные технологии ситуационного управления в чрезвычайных ситуациях // Перспективные направления развития отечественных информационных технологий: матер. IV межрег. науч.-практ. конф. ФГАОУ ВО СГУ (Севастополь) / под науч. ред. Б.В. Соколова. – Севастополь, 2018. – С. 11 – 16.

195. Соколов Б.В., Салухов В.И. Информационно-методические основы формирования системы распределенных ситуационных центров и центров компетенций // Модели мышления и интеграция информационно-управляющих систем (ММИИУС-2018): матер. второй Международ. науч. конф., посвящённой 25-летию юбилею Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук. – Нальчик, 2018. – С. 72-76.
196. Степанов А.Г. Ценологическая оценка результатов хроматографического контроля трансформаторного масла // Электроэнергия и будущее цивилизации: матер. Междунар. науч.-тех. конф. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – С. 187 – 189.
197. Степанов А.Г., Сизганова Е.Ю., Южанников А.Ю. Методы оценки технического состояния силовых маслонаполненных трансформаторов: монография. – Красноярск: СФУ, 2018. – 165 с.
198. Степанов, А.Г. Об использовании техноценологического подхода в диагностике трансформаторов / А.Г. Степанов // Электрика. – 2005. – №1. – С. 23 – 30.
199. Стирлинг Джеймс [Электронный ресурс]: Материал из Википедии – свободной энциклопедии: Версия 90989634, сохранённая в 17:53 UTC 17 февраля 2018 / Авторы Википедии // Википедия, свободная энциклопедия. – Электрон. дан. – Сан-Франциско: Фонд Викимедиа, 2018. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=90989634>.
200. Тейлор Брук [Электронный ресурс]: Материал из Википедии – свободной энциклопедии: Версия 98118948, сохранённая в 01:14 UTC 15 февраля 2019 / Авторы Википедии // Википедия, свободная энциклопедия. – Электрон. дан. – Сан-Франциско: Фонд Викимедиа, 2019. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=98118948>.
201. Теория игр [Электронный ресурс]: Материал из Википедии – свободной энциклопедии: Версия 100503034, сохранённая в 23:17 UTC 18 июня 2019 / Авторы Википедии // Википедия, свободная энциклопедия. – Электрон. дан. – Сан-Франциско: Фонд Викимедиа, 2019. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=100503034>.
202. Теория управления [Электронный ресурс]: Материал из Википедии – свободной энциклопедии: Версия 92826610, сохранённая в 08:11 UTC 23 мая 2018 / Авторы Википедии // Википедия, свободная энциклопедия. – Электрон. дан. – Сан-Франциско: Фонд Викимедиа, 2018. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=92826610>.
203. Тимченко А.В. и др. Способ совершенствования номенклатурного состава регионального электротехнического комплекса // Матер. V междунар. Балтийского морского форума. – Калининград: КГТУ, 2017. С. 1616 – 1622.
204. Тимченко А.В. и др. Учет номенклатурных ограничений регионального электротехнического комплекса при решении задач энергосбе-

- режения // Матер. XLVI Междунар. науч.-практ. конф. с элементами научной школы. – М.: МЭИ, 2016. – С. 86 – 93.
205. Тироль Ж. Теория корпоративных финансов: в 2 кн. – М.: Издательский дом «Дело», РАНХиГС, 2017. – Кн. 1 – 672 с.; Кн. 2 – 640 с.
206. Том Р. Математические модели морфогенеза. – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2006. – 136 с.
207. Том Р. Структурная устойчивость и морфогенез. – М.: Логос, 2002.
208. Управляемость (теория управления) [Электронный ресурс]: Материал из Википедии – свободной энциклопедии: Версия 81475715, сохранённая в 22:39 UTC 22 октября 2016 / Авторы Википедии // Википедия, свободная энциклопедия. – Электрон. дан. – Сан-Франциско: Фонд Викимедиа, 2016. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=81475715>.
209. Устойчивость (динамические системы) [Электронный ресурс]: Материал из Википедии – свободной энциклопедии: Версия 101357115, сохранённая в 18:23 UTC 31 июля 2019 / Авторы Википедии // Википедия, свободная энциклопедия. – Электрон. дан. – Сан-Франциско: Фонд Викимедиа, 2019. – URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=101357115>.
210. Фоминич Э.Н., Курьяков Е.В. Разработка современных устройств защиты систем электроснабжения от электромагнитных воздействий сверхвысокой интенсивности // Современное состояние эксплуатационного содержания казарменно-жилищного фонда министерства обороны России и инновационные пути перспектив его развития: сб. докладов круглого стола. – СПб., 2018. – С. 105 – 110.
211. Фоминич Э.Н., Ольховский А.Е. Современное состояние устройств защиты систем электроснабжения от импульсных перенапряжений естественного и искусственного происхождения // Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях: тр. науч.-практ. конф. Военной академии связи. – СПб., 2016. – С. 276 – 280.
212. Фоминич Э.Н., Ревякина Е.В., Колесник И.В., Тишков А.А. Система контроля состояния электрической изоляции в сетях напряжением до 1000 в с глухозаземленной нейтралью // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер.: технические науки. – 2018. – № 2(58). – С. 152 – 161.
213. Фрадков А.Л. Адаптивное управление в сложных системах: беспоисковые методы. – М.: Наука, 1990. – 296 с.
214. Фуфаев В.В. Структурно-топологическая устойчивость динамики ценозов // Кибернетические системы ценозов: Синтез и управление. – М.: Наука, 1991. – С. 18 – 26.
215. Фуфаев В.В. Ценологическое влияние на электропотребление предприятия. – Абакан: Центр системных исследований, 1999. – 124 с.
216. Фуфаев В.В. Ценологическое определение параметров электропотребления, надежности, монтажа и ремонта электрооборудования предпри-

- ятий региона. – М.: Центр системных исследований, 2000. – 320 с.
217. Фуфаев В.В., Кучинская О.А. Учет разнообразия электрических двигателей промышленных предприятий при организации электроремонта // Промышленная энергетика. - 1995. – № 9. – С. 41 – 48.
218. Хайтун С.Д. Механика и необратимость. – М.: Янус, 1996. – 448 с.
219. Хайтун С.Д. Проблемы количественного анализа науки. – М.: Наука, 1989. – 280 с.
220. Цветков В.Я. Информационные технологии в управлении. - М.: Московский государственный университет геодезии и картографии, 2008. – 110 с.
221. Цветков В.Я. Об опыте применения ИКТ при управлении вузом в рамках международной программы Tempus JER 27081 -2006 // Современные проблемы науки и образования. 2009. № 6. С. 40 – 41.
222. Цветков В.Я. Транзакционные издержки при внедрении информационных технологий и систем // Современные проблемы науки и образования. 2008. №4. С. 114 – 116.
223. Цветков В.Я., Воинов А.И. Управление и антропоэнтропия // Современные наукоемкие технологии. 2008. №5. С. 39 – 41.
224. Цермело Эрнст // Википедия. [2019 – 2019]. Дата обновления: 29.06.2019. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=100714566> (дата обращения: 29.06.2019).
225. Цыганов В.В. Дальновидный прогрессист // Труды конф. «Управление в технических, эргатических, организационных и сетевых системах. – СПб., 2012. С. 1112 – 1115.
226. Цыганов В.В., Искоростинский А.И., Проневич О.Б. Автоматизированная комплексная оценка пожарной безопасности на железнодорожном транспорте / Труды XXXX межд. конф. «Информационные технологии в науке, социологии, экономике и бизнесе. – Гурзуф, 2012. С. 28 – 31.
227. Цыкунов А.М. Робастное управление линейными сингулярно-возмущенными объектами // Проблемы управления. 2010. № 2. С. 2 – 10.
228. Цыпкин Я.З. Оптимальные адаптивные системы управления объектами с запаздыванием // Автоматика и телемеханика. 1986. №8. С. 5 – 24.
229. Цыпкин Я.З. Скользящая аппроксимация и принцип поглощения // Доклады академии наук. 1997. Т. 357, № 6. С. 750 – 751.
230. Чебышёв П.Л. Разложение в ряды при помощи непрерывных дробей // Математический сборник. – М., 1866. – С. 291 – 296.
231. Чебышев П.Л. Полное собрание сочинений П.Л. Чебышева: в 5 т. / АН СССР. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1944–1951. – Т. 4. Теория механизмов. – 1948. – 255 с.
232. Чебышёв Пафнутий Львович [Электронный ресурс]: Материал из Википедии – свободной энциклопедии: Версия 99247010, сохранённая в 10:15 UTC 16 апреля 2019 / Авторы Википедии // Википедия,

- свободная энциклопедия. – Электрон. дан. – Сан-Франциско: Фонд Викимедиа, 2019. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=99247010>.
233. Чупак Т.М., Сизганова Е.Ю., Южанников А.Ю. Модель техноценоза и числа Фибоначчи // *Фундаментальные исследования*. – 2006. – № 11. – С. 65 – 67.
234. Чупак Т.М., Сизганова Е.Ю., Южанников А.Ю. Ценологическая модель оценки состояния трансформатора на основе чисел Фибоначчи // *Фундаментальные исследования*. – 2007. – № 9. – С. 75 – 76.
235. Шейнин А.А., Гнатюк В.И. Методы нормирования номенклатуры и ресурсопотребления инфраструктурных объектов // *Промышленная энергетика*. – 2017. – № 6. – С. 31 – 33.
236. Шейнин А.А., Гнатюк В.И. Методика определения оптимальных норм электропотребления // *Прикладная информатика*. – 2014. – № 3 (51). – С. 68 – 78.
237. Шейнин А.А., Гнатюк В.И. Нормирование электропотребления инфраструктурных объектов с учетом системных свойств // *Известия высших учебных заведений. Электромеханика*. – 2010. – № 4. – С. 50 – 52.
238. Шейнин А.А., Гнатюк В.И. Нормирование электропотребления регионального электротехнического комплекса: Экономические проблемы энергетического комплекса. – М.: Изд-во ИНП РАН, 2012. – 102 с.
239. Шишкин Г.Б., Бородин В.А., Цыганов В.В., Копытин Е.В. Адаптивные механизмы управления научно-производственными комплексами в условиях конкурентной среды // *Новые материалы и технологии: инновации XXI века: тр. конф. / ИПХФ РАН. Черноголовка, 2001. С. 83 – 85.*
240. Шишкин Г.Б., Цыганов В.В. Прогрессивные адаптивные механизмы программной оценки и ранжирования // *Теория активных систем: Тр. междунар. конф. / ИПУ РАН. – М., 2001. Т. 1. – С. 65 – 66.*
241. Эйлер Леонард [Электронный ресурс]: Материал из Википедии – свободной энциклопедии: Версия 99100555, сохранённая в 16:12 UTC 8 апреля 2019 / Авторы Википедии // *Википедия, свободная энциклопедия*. – Электрон. дан. – Сан-Франциско: Фонд Викимедиа, 2019. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=99100555>.
242. Южанников А.Ю. Моделирование электрических ценозов и числа Фибоначчи // *Фундаментальные исследования*. – 2006. – № 11. – С. 83-86.
243. Южанников А.Ю., Сизганова Е.Ю., Чупак Т.М. Потенциал энергосбережения образовательного учреждения // *Качество науки – качество жизни*. – 2011. – № 2. – С. 64 – 65.
244. Южанников А.Ю. и др. Техноценозы в электротехнических системах и комплексах: монография. – Красноярск: СФУ, 2012. – 270 с.
245. Юсупов Р.М., Заболотский В.П., Наумов В.Б., Демидов А.А. Концептуальные основы региональной информационной политики. – СПб.: Анатолия, 2006. – 84 с.

246. Юсупов Р.М., Розенвассер Е.Н. Чувствительность систем управления. – М.: Наука, 1981. – 464 с.
247. Юсупов, Р.М., Розенвассер Е.Н. Методы теории чувствительности в автоматическом управлении: монография. – СПб.: Энергия, 1971. – 544 с.
248. Amelin K.S., Andrievsky B.R., Tomashevich S.I., Fradkov A.L. Data exchange with adaptive coding between quadrotors in a formation // Autom. Remote Control. 2019. 80:1, 150–163.
249. Anderson P.M., Fouad A.A. Power System Control and Stability. Iowa State University Press, Ames, Iowa, 1977. – 464 p.
250. Astolfi A., Galaz M., Ortega R., Shen T., Sun Y. Transient stabilization of multimachine power systems with nontrivial transfer conductances // IEEE Trans. On Automatic Control. 2005. Vol. 50, no. 1. P. 60-75.
251. Aumann R. Mixed and behavior strategies in infinite extensive games // Dresher M., Shapley L., Tucker W.W. (eds.) Advances in games theory. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1964. P. 627–650.
252. Aumann R.J. Almost strictly competitive games // J Soc Indust Appl Math 9. 1961. 4: P. 544–550.
253. Bandal V., Bandyopadhyay B., Kulkarni F.M. Decentralized sliding mode technique based power system stabilizer for multimachine power systems // Proc. of the 2005 IEEE Conf. on Control Applications. Toronto, Canada, 2005. P. 55-60.
254. Bertrand J. Book review of theorie mathematique de la richesse sociale and of recherches sur les principes mathematiques de la theorie des richesses // Journal de Savants. 1883. vol. 67. P. 499 – 508.
255. Bruce J. W. On families of symmetric matrices // Mosc. Math. J. 2003. 3:2. P. 335–360.
256. Burns T., Stalker G.M. The Management of Innovation. Tavistock, L., 1961.
257. Checkland P., Tsouvalis C. Reflecting on SSM: the dividing line between «real world» and «systems thinking world» // Systems research. 1996. Vol. 13, №1. P. 36.
258. Checland P.B. Systems thinking, systems practice. Chichester, 1981.
259. Cohen M., March J., Olsen J. A Garbage Can Model of Organizational Choice // Administrative Science Quarterly, 1972. Vol. 17. P. 1-25.
260. Cyert R., March J.G. The Behavioural Theory of the Firm, Englewood din's NJ: Prentice Hall, 1963.
261. De Broghe L. Notices et Discours. – Acad. Sc., 1957, 4, 1 – 4, Жизнь и труды Эмиля Бореля // Де Бройль. По тропам науки / пер. с фр. С. Ф. Шушурина. М., 1962, С. 66 – 83.
262. Druker P.F. Management Tasks, Responsibilities, Practices. N.Y.: Harper & Row, 1974.
263. Finkel B.F. Biography – Leonard Euler // The American Mathematical Monthly. 1897. 4 (12). P. 300.

264. Forrester, Jay W., 1971. *World Dynamics* (1973 second ed.). Portland, OR: Productivity Press. 144 pp. Second edition has an added chapter on physical vs. social limits.
265. Forrester J.W. *Collected Papers of Jay W. Forrester*. Portland OR: Productivity Press. 1975, 284 pp.
266. Gnatyuk V., Kretinin G. V., Kivchun O. R., Lutsenko D. V. Potential of energy saving as a tool for increasing the stability // *International journal of energy economics and policy*. 2018. № 8 (1). P. 137 – 143.
267. Greiner L. *Evolution and Revolution as Organization Grows* // *Harvard Business Review*, 1972. Vol. 50. July-August. P. 37-46.
268. Hall R.H. *Intra-Organizational Structural Variation* // *Administrative Science Quarterly*. 1962. № 3, 7.
269. Heims S. *John Von Neumann and Norbert Wiener: from mathematics to the technologies of life and death*. – MIT Press, 1980. – 568 p.
270. Home R.W. Leonhard Euler's 'Anti-Newtonian' Theory of Light // *Annals of Science*. 1988. 45 (5). P. 521–533.
271. Hurwicz L. On allocations attainable through Nash equilibria // *Journal of Economic Theory*. 1979. Vol. 21, iss. 1. P. 140-165.
272. Lasker E. Zur Theorie der Moduln und Ideale (неопр.) // *Math. Ann.* – 1905. – Т. 60. – С. 19 – 116.
273. Lippitt G.L. *Growth of Organizations* // *Organizational Renewal*. N.Y., 1969.
274. Lorsch J. W., and Thomas J. T. *Aligning the Stars: How to Succeed When Professionals Drive Results*. Boston, MA: Harvard Business School Press, 2002.
275. Lorsch J. W., ed. *The Future of Boards: Meeting the Governance Challenges of the Twenty-First Century*. Boston, MA: Harvard Business Review Press, 2012.
276. Lorsch W, Jay & Berlowitz, Leslie & Zelleke, Andy (2005). *Restoring Trust in American Business*: Cambridge, 2005.
277. Ludwig von Bertalanffy. *The Theory of Open Systems in Physics and Biology* // *Science*. 1950. 13 January. 111: 23-29.
278. Malgrange B. On the polynomials of I. N. Bernstein, *Russian Math. Surveys*. 1974. 29:4. P. 81 – 88.
279. Mather J.N. (2004) *Arnold Diffusion. I: Announcement of Results* // *Journal of Mathematical Sciences*. 2004. 124:5. P. 5275–528.
280. McGregor D. *An Uneasy Look at Performance Appraisal*. N.Y., 1957.
281. McGregor D. *The Human Side of Enterprise*. N. Y.: McGraw-Hill, 1960.
282. Monopoli R.V. Model reference adaptive control with an augmented signal // *IEEE Trans. Automat. Control*. 1974. Vol. 19, no. 5. P. 474-484.
283. Morse A.S. High-order parameter tuners for adaptive control on nonlinear system // Isidori A., Tarn T. I. (eds). *Systems, Models and Feedback: Theory and Applications*. Birkhanser, 1992. P. 339-364.

284. Myerson R.B. Optimal auction design // *Mathematics of Operations Research*. 1981. Vol. 6, № 1. P. 58 – 73.
285. Odiorne G.S. *Management Decisions by Objectives* // Englewood Cliffs. N.Y., 1969.
286. Ortega R., Van der Schaft A., Maschke I., Escobar G. Interconnection and damping assignment passivity-based control of port-controlled Hamiltonian systems // *Automatica*. 2002. Vol. 38, no. 4. P. 585-596.
287. Paul R. Lawrence, Jay W. Lorsch. Differentiation and Integration in Complex Organizations. Article in *Administrative Science Quarterly* 12(1):1-47 August 1967 with 7,064 Reads. doi: 10.2307/2391211.
288. Paul R. Lawrence. A Career of Rigor, Relevance, and Passi // *The Palgrave Handbook of Organizational Change Thinkers*. Continuously updated ed. Edited by David Szabla, William Pasmore, Mary Barnes, and Asha Gipson. Springer, 2017.
289. Perrow Ch. A Framework for the Comparative Analysis of Organizations. // *American Sociological Review*. 1967. Vol. 32. Apr. P. 194-204.
290. Porter L.W., Lawler E.E. *Managerial Attitudes and performance*. Homewood, IL, 1968.
291. Roth A.E. Deferred Acceptance Algorithms: History, Theory, Practice, and Open Questions // *International Journal of Game Theory*. – 2008. – T. 36. – C. 537–569.
292. Rutkovsky V.Yu., Sukhanov V.M., Glumov V.M., On Control Theory of Large Space Structures Assembled in Orbit // *Space Technology*. Lister Science Publisher, Oxford, 2010. P. 35 – 46.
293. Sedov A.V. The concept and the principle of the diagnostic observability of the object in problems of monitoring and non-destructive testing // *Iop conference series: materials science and engineering: 10. Iss. «International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2016»*. – Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2017. P. 012 – 034.
294. Selten R. Spieltheoretische Behandlung eines Oligopolmodells mit Nachfragerträgeit // *Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft*. 1965. 121. P. 301 – 324, 667 – 689.
295. Shapley L.S. The St. Petersburg Paradox: A Con Game? // *Journal of Economic Theory*. – 1977. – Vol. 14. – P. 439 – 442.
296. Simon H.A. *Administrative Behavior: A Study of Decision Making Processes in Administrative Organization*. N.Y.: The Free Press, 1947.
297. Simon H.A. *Models of Man*. N. Y.: Wiley, 1957.
298. Thompson J.D., McEwen W. Organizational Goals and Environment: Goalsetting as an Interaction Process // *American Sociological Review*, 1958. Vol. 23. P. 23-31.
299. Tsyganov V. Control of Evolution under Limits of Global Growth // *Reports of the 18th IFAC Conference International Stability & Technology*. Waterford, Ireland, 2012. P. 63-68.

300. Udy S.H. Technical and Institutional Factors in Production Organization // American Journal of Sociology. 1961. Vol. 67.
301. Vickrey W.S. Metastatics and macroeconomics. Oxford, 1964. P. 201-304.
302. Woodward J. Industrial Organizations: Theory and Practice. London, Oxford: University Press, 1965.
303. Yoshioka C., Namerikawa T. Observed-based consensus control strategy for multiagent system with communication time delay // 17 IEEE Int. Conf. Control Appl. San Antonio, 2008. P. 1037-1042.
304. Zeeman E.C. A catastrophe machine // Towards a theoretical biology. 1972. Press 4. P. 275-282.
305. Zeeman E.C. Applications of catastrophe theory // Manifolds-Tokyo 1973 (Proc. Internat. Conf., Tokyo, 1973), 11-23. Univ. Tokyo Press, 1975.
306. Zermelo E., Obereine Anwendung der Mengenlehre attfdie Theorie des Schachspiels, Proceedings of the Fifth International Congress of Mathematicians (Cambridge, 1912), Cambridge University Press, 1913. P. 501 – 504.

Основные термины и определения

ДС-анализ – процедура рангового анализа по электропотреблению объектов техноценоза, предполагающая с целью его уточнения использование статистической информации об электропотреблении доминирующего, иерархически более старшего, технологически определяющего техноценоза.

МС-прогнозирование – процедура прогнозирования электропотребления, предполагающая, с целью уточнения прогноза использование статистической информации об электропотреблении техноценоза в целом как точки на ранговой параметрической поверхности, построенной для МС-ценоза.

Базис векторного рангового пространства – набор векторов $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \dots, \mathbf{e}_n$, которые удовлетворяют свойствам системы образующих векторного рангового пространства и являются линейно независимой системой векторов.

Бесконечномерное векторное ранговое пространство – пространство, в котором для любого натурального числа \mathbf{n} существует хотя бы одна линейно независимая система, состоящая из \mathbf{n} векторов. Примером такого пространства является векторное ранговое распределение техноценоза как пространство непрерывных и трансцендентных гиперболических функций.

Векторное ранговое пространство – двумерное или n -мерное пространство, в котором для любых его элементов, являющихся векторами, и любого действительного числа определены операции сложения друг с другом и умножения на число.

Векторное ранговое распределение – упорядоченная в невозрастающей последовательности совокупность радиус-векторов $\{\mathbf{r}_j\}_{j=1}^m$, соответствующих значениям исследуемого параметра $\{w_i\}_{i=1}^n$.

Конечномерное векторное ранговое пространство – пространство, в котором существует такое натуральное число \mathbf{n} , при котором любая система векторов из данного пространства, содержащая $\mathbf{n} + 1$ или более элементов, линейно зависима. В качестве примера можно привести систему радиус-векторов одного ранга, с помощью которой исследуются индивидуальные свойства объекта техноценоза и которая образует в данный временной момент линейное векторное ранговое пространство.

Макроценоз (МС-ценоз) – «материнская» взаимосвязанная совокупность техноценозов более высокого системного уровня, обладающая техноценологическими свойствами, в состав которой входит исследуемый

техноценоз как единичный организационно подчиненный «дочерний» объект (МС-объект).

Мера ранговой параметрической близости – форма, отражающая свойства непрерывности и связанности между элементами векторного рангового пространства.

Объект – пространственно-технологический кластер, подсистема техноценоза, взаимосвязанная, отграниченная и обладающая целостностью с точки зрения общности управления, технологии, территории, потребления ресурсов (город в стране, предприятие в регионе, школа или больница в городе, цех на заводе, магазин в торговой сети и т.д.).

Оптимальное управление электропотреблением – направленное на энергосбережение обязательное для исполнения организационно-техническое воздействие на объекты техноценоза посредством методов интервального оценивания, прогнозирования, нормирования и потенцирования с учетом ТЦ-критерия (техноценологического критерия).

Пространство индикаторных событий S_i – пространство, определяющее вероятность нахождения любого значения векторов $\mathbf{w}_{\langle i \rangle}^{D^*}$, $\mathbf{w}_{\langle j \rangle}^{P^*}$, $\mathbf{w}_{\langle k \rangle}^{N^*}$, принадлежащих \mathbf{VR} , относительно границ области допустимых значений.

Ранговая векторная скорость – вектор, направленный по касательной к траектории перемещения объекта между рангами и равный производной от радиус-вектора по времени. Данный показатель в управлении электропотреблением отражает промежуток времени, через который исследуемый вектор достигнет требуемого значения параметра.

Ранговая векторная функция – функция, которая описывает некоторую пространственную кривую, называемую годографом. Годограф позволяет полностью описать криволинейное движение вектора в пределах рангового перемещения.

Ранговая норма – неотрицательный функционал, заданный на векторном ранговом пространстве и обобщающий понятие длины вектора или абсолютного значения параметра. Ранговая норма определяет топологию меры векторной ранговой топологической близости и является её количественной характеристикой. Позволяет определить величину параметрического ресурса для управления электропотреблением инфраструктурных объектов.

Ранговая параметрическая мера дифлекс-параметра – мера, характеризующаяся величиной ранговой нормы по направлению от вектора к вектору, относительно значения верхней границы области допустимых значений.

Ранговая параметрическая мера отклонения нормы – мера, характеризующаяся величиной ранговой нормы по направлению от вектора фактических значений параметра до вектора необходимой нормы значения исследуемого параметра.

Ранговая параметрическая мера ошибки прогноза – мера, характеризующаяся величиной ранговой нормы по направлению от вектора фактических значений параметра до вектора прогнозного значения параметра.

Ранговое ускорение – показатель, определяющий степень управляющего воздействия на быстроту изменения ранговой скорости при управлении электропотреблением и равный второй производной от ранговой скорости.

Ранговый фазовый угол – угол между двумя радиус-векторами в векторном ранговом пространстве, отложенными от одной точки, отражающий значение, на которое необходимо повернуть один из радиус-векторов вокруг своего начала до положения сонаправленности с другим радиус-вектором. Для управления электропотреблением данный показатель определяет крутизну изменения формы векторного рангового распределения в заданный момент времени.

Режимное нормирование – процедура нормирования электропотребления объектов в особых режимах функционирования, характеризующихся планомерным вынужденным снижением электропотребления. Целью режимного нормирования является формирование плана ресурсных ограничений каждого из объектов техноценоза во всех режимах.

Система образующих векторного рангового пространства – система векторов $w_1, w_2, \dots, w_n \in VR$, в которой любой вектор $w_i \in VR$ можно представить в виде линейной комбинации данных векторов.

Теория векторного рангового анализа – систематизированная совокупность теоретических понятий, методов, моделей и методик, позволяющих повысить эффективность управления электропотреблением объектов техноценологического типа, используя в качестве основного критерия меру ранговой параметрической близости.

Техноценоз – ограниченная в пространстве и времени взаимосвязанная совокупность далее неделимых технических изделий-особей, объединенных слабыми связями. Связи в техноценозе носят особый характер, определяемый конструктивной, а зачастую и технологической независимостью отдельных технических изделий и многообразием решаемых задач. Взаимосвязанность техноценоза определяется единством конечной цели, достигаемой с помощью общих систем управления, обеспечения и др.

Олег Романович Кивчун
ВЕКТОРНЫЙ РАНГОВЫЙ АНАЛИЗ

Трактат

Научный редактор Д.В. Луценко. Ответственный за выпуск А.А. Меркулов
Оригинал-макет О.Р. Кивчун. Литературный редактор Е.Т. Иванова
Формат 60×90 1/16 Объем 7,8 п.л. Печать офсетная
Тираж 500 экз. Заказ № 30/5722/2019
Подписано к печати 10.10.2019

Издание Калининградского инновационного центра «ТЕХНОЦЕНОЗ»
236000, г. Калининград, Советский проспект, 1

ISBN 978-5-9902800-9-0



9 785990 280090