

Обсуждение ключевого понятия исследований

О ПОНЯТИИ «ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕ»

В качестве объекта наших исследований [6-20] рассматривается региональный электроэнергетический комплекс, под которым понимается ограниченная в пространстве и времени обладающая техноценологическими свойствами взаимосвязанная совокупность источников и потребителей электроэнергии, а также транспортно-сетевого хозяйства и системы материально-технического обеспечения, реализующая в единой системе управления и всестороннего обеспечения в комплексе с внешней энергосистемой или изолированно цель устойчивого электроснабжения регионального электротехнического комплекса. Последний рассматривается как ограниченная в пространстве и времени обладающая техноценологическими свойствами взаимосвязанная совокупность потребителей электроэнергии, реализующая в единой системе управления и всестороннего обеспечения цель оптимального управления электропотреблением.

С методологической точки зрения, рассматривая региональный электроэнергетический комплекс, в котором, как и в любой электрической цепи, реализуется единый процесс производства, передачи и потребления электроэнергии, мы имеем дело с двумя разными предметными областями. Первая рассматривает объект исследования как систему электроснабжения, где в качестве базовой выступает теория электрических цепей. Вторая предметная область изучает объект исследования как взаимосвязанную совокупность потребителей электроэнергии, т.е. техноценоз. Научная проблема, связанная с нашим многолетним практическим воплощением закона оптимального построения техноценозов в области исследования региональных электротехнических комплексов, заключается в разработке теории оптимального управления электропотреблением, предполагающей решение перечисленных ниже научных задач [6-20].

1. Создание статической модели процесса электропотребления объектов техноценоза, основанной на техноценологических методах и отличающейся: совместным применением методов рангового и кластерного анализа, а также процедуры интервального оценивания; использованием детерминированных процедур прогнозирования и нормирования потребления электроэнергии объектами.

2. Разработка методики оптимального управления электропотреблением, отличающейся: применением процедуры интервального оценивания по ранговому параметрическому распределению, выявляющей объекты, аномально потребляющие электроэнергию; реализацией процедур номенклатурной и параметрической оптимизации в связанном алгоритме.

3. Разработка системы тонких процедур рангового анализа по электропотреблению объектов техноценоза, отличающейся: верификацией базы данных по электропотреблению, позволяющей повысить ее корректность; реализацией процедур дифлекс-, GZ- и ASR-анализа рангового параметрического распределения на этапах, соответственно, интервального оценивания, прогнозирования и нормирования.

4. Выявление динамических свойств техноценозов в отношении параметров электропотребления, заключающихся в том, что: имеются два альтернативных типа объектов техноценоза, в первом из которых в основном преобладают системные, а во втором индивидуальные свойства; отнесение объекта к тому или иному типу влияет на выбор ципфовой (для первого типа) или гауссовой (для второго типа) методологии прогнозирования параметров электропотребления.

5. Разработка методики интервального оценивания объектов техноценоза, основанной на процедурах дифлекс-анализа и отличающейся: методом построения переменного доверительного интервала на основе статистики временных рядов значений электропотребления рангов; введением понятия качества электропотребления, определяемого с помощью дифлекс-параметров ранговых параметрических распределений техноценоза.

6. Разработка методики прогнозирования электропотребления объектов техноценоза, учитывающей динамические свойства техноценозов и отличающейся: введением понятия коэффициента когерентности и основанных на нем эвристического и критериального вариантов GZ-анализа; синтезом методов, основанных на гауссовой и ципфовой методологии, в GZ-метод посредством билинейной комбинации с динамической адаптацией весов по результатам GZ-анализа.

7. Разработка методики нормирования электропотребления, основанной на предельном алгоритме и отличающейся: введением понятия предельной нормы, получаемой в результате оптимизации вторичных норм; критерием близости к нижней границе переменного доверительного интервала, построенного на ранговом параметрическом распределении.

8. Разработка методики номенклатурно-параметрической оптимизации резервного генерирующего комплекса техноценоза, отличающейся: установлением связи между видовым и параметрическим рангами техноценоза; введением понятия первичного и вторичного ранговых параметрических распределений и разработкой критерия оптимизации формы рангового видового распределения техноценоза.

9. Разработка методики автоматизации управления электропотреблением объектов техноценоза, отличающейся: комплексированием процедур рангового анализа на основе оценки системных и индивидуальных свойств объектов техноценоза; алгоритмом снижения электропотребления объектов на основе особого управляющего воздействия.

10. Создание динамической адаптивной модели процесса электропотребления, отличающейся: совместным применением методов теории принятия решений, имитационного моделирования и параметрической оптимизации; наличием стохастической обратной связи, корректирующей исходную базу данных на основе результатов текущего моделирования.

11. Введение в научный оборот процедуры потенцирования объектов техноценоза по электропотреблению, отличающейся: определением системного потенциала энергосбережения техноценоза на основе понятий $Z1$ -, $Z2$ и $Z3$ -потенциалов; процедурой ZP -анализа, под которым понимается тонкая процедура, осуществляемая методами ZP -нормирования с целью разработки ZP -плана энергосбережения техноценоза.

12. Развитие методологии прогнозирования электропотребления введением понятия динамики энтропии разностей рангов объектов техноценоза, отличающегося: способом выявления периода бифуркации по электропотреблению, основанным на исследовании временного ряда энтропии; методом прогнозирования электропотребления на бифуркационном этапе, учитывающим внешнее управляющее воздействие.

13. Разработка методики оценки эффективности процесса электропотребления, отличающейся: аддитивно-мультипликативным критерием техноценологического типа, предусматривающим интегрирование ранговых параметрических распределений техноценоза по электропотреблению; системой ограничений техноценологического типа, являющихся следствием закона оптимального построения техноценозов.

14. Разработка методики режимного нормирования электропотребления объектов техноценоза, отличающейся: понятием об $R3$ -, $R2$ -, $R1$ -режимах электропотребления; процедурами рангового анализа, основанными на $R3$ -, $R2$ -, $R1$ -распределениях техноценоза.

15. Развитие методологии прогнозирования за счет введения в научный оборот понятия MC -прогнозирования электропотребления техноценоза, отличающегося: процедурами расчета добавочного ресурса MC -объекта на статистике MC -ценоза; методами прогнозирования с учетом динамики электропотребления техноценоза в целом как точки на ранговой параметрической поверхности, построенной для макроценоза (MC -ценоза).

16. Развитие методологии прогнозирования за счет введения в научный оборот понятия DC -анализа по электропотреблению, отличающегося: процедурами расчета добавочного ресурса техноценоза на статистике DC -ценоза; методами прогнозирования электропотребления с учетом внешнего управляющего воздействия со стороны доминирующего, иерархически более старшего, технологически определяющего техноценоза (DC -ценоза).

17. Разработка методики параметрического ZP -нормирования электропотребления объектов техноценоза, отличающейся: ZP -дополнением к связи между видовым и параметрическим рангами; методами параметри-

ческого ZP-нормирования и ZP-планирования в условиях параметрических ограничений по электропотреблению техноценоза.

Очевидно, что в теории оптимального управления электропотреблением техноценозов, собственно понятие «электропотребление» занимает центральное место, однако, в его толковании имеется целый ряд проблем. Сразу отметим, что электропотребление, в зависимости от контекста, объекта, предмета и области исследований, может рассматриваться в трех различных смыслах: как показатель, как параметр и как процесс [6-20].

Как показатель электропотребление – мера, отражающая свойство объектов окружающего мира преобразовывать генерируемую источниками электромагнитную энергию (энергию электромагнитного поля, слагаемую из энергий электрического и магнитного полей). Процесс преобразования энергии сопровождается работой электрического поля по перемещению зарядов, а также работой магнитного поля по перемещению элементарных проводников с током. Часть этой энергии (активная) необратимо преобразовывается в другие виды энергии (механическую, тепловую, химическую и др.), а часть (реактивная) – циклично запасается в виде электромагнитного поля в объекте, а затем отдается обратно в источник. В теории электрических цепей и электроснабжении принято данное свойство кратко называть «потреблением электрической энергии» или «электропотреблением». Следует отметить, что термин «потребление» в данном контексте применяется не вполне корректно и имеет, скорее, коммерческий, нежели физический смысл. Источник, «сжигая первичное топливо», создает электромагнитное поле, которое в потребителе «возбуждает» процесс необратимого преобразования энергии в другие виды. Таким образом, потребитель, участвуя в «сжигании части первичного топлива», потребляет именно его, а электромагнитная энергия выступает лишь необходимым «посредником» в данном процессе и, сама по себе, не расходуется. Однако, зафиксировать долю участия именно данного потребителя в «сжигании первичного топлива» в источнике электроэнергии можно лишь на основе параметров электромагнитного поля в точке присоединения потребителя к общей электрической цепи, отсюда и термин – «электропотребление».

Особо выделяется определенный класс объектов, специально предназначенных для работы в электрических цепях систем электроснабжения, и эти объекты называются приемниками и потребителями электроэнергии. Приемник электроэнергии – функционально законченная система, предназначенная для преобразования электроэнергии в другие виды энергии. Потребитель – лицо (физическое или юридическое), приобретающее электрическую энергию для собственных бытовых или производственных нужд. Как правило, электропотребление служит мерой, отражающей основное свойство именно приемников или потребителей электроэнергии.

Математически электропотребление в точке присоединения к общей электрической цепи определяется как работа электрического поля, т.е. ин-

теграл функции электрической мощности в данной точке от времени, взятый в пределах, заданных тем промежутком времени, за который мы оцениваем электропотребление. При этом, в качестве электрической мощности может быть принята активная, реактивная или полная мощность. В синусоидальных электрических цепях: активная мощность – это произведение действующих значений тока и напряжения на косинус угла сдвига фаз между векторами тока и напряжения; реактивная мощность – произведение действующих значений тока и напряжения на синус угла сдвига фаз между векторами тока и напряжения; полная мощность – произведение действующих значений тока и напряжения. Следует отметить, что, при таком подходе, все параметры становятся легко измеряемыми (действующие значения тока и напряжения, а также сдвиг фаз).

Для удобства экспериментальной фиксации электропотребления приборами учета (счетчиками электроэнергии, интегрирующими мощность во времени) и нормализации договорных отношений между поставщиками и потребителями электроэнергии принято квантовать электропотребление мощностью в одну единицу на отрезке времени в один час. При этом в качестве единиц измерения электропотребления выступают внесистемные единицы: по активной мощности – кВт·ч; по реактивной мощности – кВАр·ч; по полной мощности – кВА·ч.

По конструкции счетчики электроэнергии бывают индукционными или электронными. В индукционных (электромеханических счетчиках) магнитное поле неподвижных токопроводящих катушек влияет на подвижный элемент из проводящего материала. Подвижный элемент представляет собой диск, по которому протекают токи, индуцированные магнитным полем катушек. Количество оборотов диска в этом случае прямо пропорционально потребленной электроэнергии. В электронных (статических счетчиках) переменный ток и напряжение воздействуют на электронные элементы для создания на выходе импульсов, число которых пропорционально измеряемой энергии. Счетчики электроэнергии имеют две пары зажимов, одна из которых включается в рассечку провода, по которому протекает ток нагрузки, а другая подключается параллельно на номинальное напряжение сети. Фактически, все счетчики электроэнергии реагируют на ток нагрузки (его активную и/или реактивную составляющие).

С прикладной точки зрения электропотребление в 1 кВт·ч будет зафиксировано, если электроприемник номинальной мощностью 1 кВт работает в номинальном режиме в течение 1 часа. Если взять за основу системную единицу энергии Джоуль (Дж), то 1 кВт·ч приблизительно равен 3,6 МДж. Следует отметить, что физически количество электроэнергии в 1 Дж соответствует работе электромагнитного поля по перемещению заряда в 1 Кулон (К) между точками поля с разностью потенциалов в 1 В.

Как параметр электропотребление – количественная форма одноименного показателя, фиксируемая счетчиками электроэнергии за интер-

вал 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 будет фиксироваться в кВт·ч (кВАр·ч, кВА·ч) за принятый промежуток времени. При этом появляется возможность строить функции времени или временные ряды электропотребления для отдельных приемников или потребителей электроэнергии, а также ранговые параметрические распределения по электропотреблению для техноценозов. Кроме того, становится возможным интегрирование функций времени и ранговых распределений с целью определения, соответственно, суммарных значений электропотребления отдельных приемников или потребителей электроэнергии либо потенциалов энергосбережения техноценоза в целом. Энергосбытовые компании зачастую называют этот параметр «расход электроэнергии», однако, с точки зрения потребителя – это не «расход», а «потребление электроэнергии», т.е., не что иное, как «электропотребление».

Следует иметь в виду, что в данном случае мы имеем дело с понятием, так называемого, дифференциального (от англ. «difference») электропотребления, отражающего разницу в электропотреблении приемника или потребителя в конце и начале стандартизированного (заранее оговоренного) промежутка времени. Данное понятие отличается от электропотребления как показателя, поэтому предлагается его называть «дифференциальным электропотреблением». В качестве единицы измерения здесь следует использовать внесистемную единицу $\text{кВт}\cdot\text{ч}\backslash T$ ($\text{кВАр}\cdot\text{ч}\backslash T$, $\text{кВА}\cdot\text{ч}\backslash T$), где T – стандартизированный интервал времени (час, сутки, месяц, квартал, год и т.д.). Следует отметить, что применяемый здесь экранирующий символ (обратная косая черта) подчеркивает то, что киловатт-часы не делятся на промежуток времени, а поступают в базу данных вместе со значением этого промежутка. Таким образом, запись «дифференциальное электропотребление объекта в феврале 2017 года составляет 300 кВт·ч\мес» означает, что разница в показаниях установленного на объекте счетчика электроэнергии в начале и конце указанного месяца составила 300 кВт·ч. В практическом плане эта цифра ляжет в основу взаиморасчетов с энергосбытовой компанией за февраль, а в ходе исследований на графике временного ряда электропотребления данного потребителя появится точка с абсциссой, соответствующей границе между февралем и мартом 2017 года (0 часов, 0 минут и 0 секунд 1 марта 2017 года), и ординатой в 300 кВт·ч.

Как процесс электропотребление – управляемый (фиксируемый в базе данных, оцениваемый, прогнозируемый, нормируемый и потенцируемый) процесс потребления электроэнергии приемниками или потребителями, осуществляемый автономно либо в составе техноценоза. Управление электропотреблением осуществляется с целью максимальной экономии электроэнергии при минимизации затрат на всестороннее обеспечение

данного процесса. Вводится понятие «показателя качества электропотребления» приемника или потребителя, под которым понимается мера минимизации потребления электроэнергии, при условии обязательного выполнения основных функциональных задач по предназначению. Количественно данный показатель может быть оценен с помощью абсолютного или относительного дифлекс-параметра, под которым понимается отклонение (абсолютное или относительное) значения электропотребления приемника или потребителя техноценоза от нижней границы переменного доверительного интервала, построенного в процедуре дифлекс-анализа рангового параметрического распределения техноценоза по электропотреблению. Примечательно, что оценить качество электропотребления приемника или потребителя можно только в составе техноценоза [6-20].

Оптимальное управление, в конечном итоге, реализует критерий эффективности электропотребления, заключающийся в стремлении к единице целевой функции – отношения интегрального показателя качества к интегральному показателю затрат. Эффективность процесса управления электропотреблением техноценоза в целом может быть оценена по результатам реализации ZP-анализа. При этом интегральный показатель, позволяющий оценить успешность процесса оптимального управления электропотреблением, по сути, представляет собой относительный Z-потенциал энергосбережения техноценоза. При этом на отдельных этапах реализации ZP-плана энергосбережения применяются Z1- и Z2-потенциалы. Результирующий интегральный показатель, отражающий степень близости текущей аппроксимационной кривой рангового параметрического распределения по электропотреблению к нижней границе переменного доверительного интервала (ограничивающей Z1- или Z2-потенциал), определяется как отношение интегрального показателя качества, рассчитанного для текущего момента времени, к показателю, соответствующему нижней границе. Затраты на реализацию оптимального управления электропотреблением также оцениваются интегральным показателем, который отражает степень отличия совокупных затрат на энергосбережение, рассчитанных на текущем временном интервале, от стоимости электроэнергии, соответствующей Z-потенциалу (Z1 или Z2). В условиях индивидуальных тарифов на электроэнергию, предъявляемых на отдельных этапах управления, данный показатель определяется как прибавленное к единице отношение, в числителе которого находятся интегральные совокупные затраты на энергосбережение, а в знаменателе – разность в интегральной стоимости электроэнергии, потребленной техноценозом в целом. При этом от стоимости электроэнергии на текущем временном интервале отнимается стоимость на временном интервале, в котором достигается Z-потенциал энергосбережения.

Формально интегральный показатель качества исчисляется в диапазоне от нуля до единицы, левая граница которого соответствует полному отсутствию управляющих энергосберегающих процедур, а правая – пол-

ному исчерпанию Z-потенциала. В свою очередь, интегральный показатель затрат формально исчисляется в диапазоне от единицы до бесконечности. Левая граница показателя соответствует состоянию с нулевыми затратами на выполнение мероприятий по энергосбережению, правая – бесконечным затратам. Очевидно, что при этом интегральный показатель эффективности находится в пределах от нуля до единицы, приобретая свое критериальное значение (в принципе недостижимое) при строгом выполнении равенства единице. Оптимальное управление процессом электропотребления техноценоза может осуществляться исключительно в границах переменного доверительного интервала. Следовательно, оптимум электропотребления будет достигаться при таких значениях параметров управляющего воздействия, направленного на энергосбережение, которые формально обеспечат суммарное электропотребление техноценоза, соответствующее нижней границе переменного доверительного интервала. При этом значение интегрального показателя качества станет равным единице.

Следовательно, в данном случае смысл оптимизации заключается не в традиционном поиске оптимального значения целевой функции в области варьирования параметров, а в определении оптимальной стратегии изменения параметров, которая минимизирует издержки процесса оптимального управления электропотреблением на пути движения потребителей техноценоза к состоянию, обеспечивающему оптимум электропотребления на нижней границе переменного доверительного интервала.

Значительный методологический интерес представляет более детальное рассмотрение основного параметра, от которого зависит интегральный показатель качества управления электропотреблением. Как представляется, данный параметр отражает меру снижения электропотребления объектов техноценоза. Несмотря на то, что снижение электропотребления формируется под воздействием множества влияющих друг на друга случайных факторов, представляется возможным отражающий его параметр рассмотреть как сумму следующих основных компонент:

$$\Delta W = \Delta W_{\text{tp}} + \Delta W_{\text{ta}} + \Delta W_{\text{op}} + \Delta W_{\text{on}}, \quad (1)$$

- где ΔW_{tp} – снижение электропотребления, обусловленное техническими мероприятиями по замене приемников электроэнергии на более энергоэффективные;
- ΔW_{ta} – снижение электропотребления, обусловленное техническими мероприятиями по автоматизации процесса управления работой приемников электроэнергии;
- ΔW_{op} – снижение электропотребления, обусловленное организационными мероприятиями, направленными на энергосбережение при эксплуатации приемников;

ΔW_{on} – снижение электропотребления, обусловленное организационными мероприятиями, направленными на номенклатурную оптимизацию приемников в техноценозе.

Дадим некоторые пояснения к данному выражению. Прежде всего, отметим, что аддитивность кумулятивного параметра снижения электропотребления ΔW по отношению к соответствующим компонентам, записанным в качестве слагаемых справа, представляется вполне допустимой, т.к. в данном классе параметрического разбиения мы имеем дело исключительно с экстенсивными линейными величинами, подчиняющимися принципу суперпозиции, восходящему к фундаментальным свойствам электромагнитного поля. Очевидно, что релятивистскими эффектами пространства – времени в данном случае можно пренебречь.

Суммарное снижение электропотребления $\Delta W_t = \Delta W_{tp} + \Delta W_{ta}$, обусловленное техническими мероприятиями по замене установленных на объектах техноценоза приемников электроэнергии на более энергоэффективные, а также мероприятиями по автоматизации процесса управления работой данных приемников может быть определено путем сравнения паспортных данных и графиков нагрузок соответствующего оборудования, работающего на объектах техноценоза до и после модернизации. Учитывая, что общее снижение электропотребления ΔW определяется по показаниям установленных на объектах техноценоза приборов учета, можно вычислить так называемую организационную составляющую снижения электропотребления $\Delta W_o = \Delta W_{op} + \Delta W_{on} = \Delta W - \Delta W_t$.

Именно организационная составляющая снижения электропотребления, прежде всего, должна учитываться в процессе потенцирования на первом этапе, в процессе которого исчерпывается Z1-потенциал энергосбережения техноценоза. На втором этапе потенцирования, нацеленном на полную реализацию Z2-потенциала, необходимо учитывать уже, как организационную, так и техническую составляющие.

Повторимся и отметим, что суммарное снижение электропотребления, обусловленное техническими мероприятиями ΔW_t , в свою очередь, состоит из двух основных компонент: снижения ΔW_{tp} , являющегося прямым следствием замены приемников электроэнергии на более энергоэффективные, а также снижения ΔW_{ta} , объясняющегося мероприятиями по автоматизации процесса управления работой приемников электроэнергии. Снижение электропотребления ΔW_o тоже состоит из двух компонент: ΔW_{op} , обусловленного организационными мероприятиями, направленными на энергосбережение при эксплуатации приемников, и ΔW_{on} , объясня-

ющегося организационными мероприятиями, направленными на номенклатурную оптимизацию приемников в техноценозе.

Как представляется, значения снижения электропотребления $\Delta W_{\text{тр}}$, $\Delta W_{\text{та}}$ и $\Delta W_{\text{оп}}$ могут быть определены в результате глубокого статистического анализа графиков нагрузок приемников электроэнергии, осуществляемого в режиме реального времени с помощью соответствующих «умных» устройств, функционирующих в составе программно-аппаратных комплексов оптимального управления электропотреблением. Следовательно, «номенклатурная» составляющая снижения:

$$\Delta W_{\text{он}} = \Delta W - (\Delta W_{\text{тр}} + \Delta W_{\text{та}} + \Delta W_{\text{оп}}). \quad (2)$$

Теперь обратимся к основному методу исследования техноценозов – ранговому анализу. По определению – это метод исследования техноценозов, имеющий целью их статистический анализ, а также оптимизацию, и полагающий в качестве основного критерия форму ранговых параметрических распределений. Включает стандартные процедуры параметрического нормирования, интервального оценивания, прогнозирования, нормирования и потенцирования потребления ресурсов. Более тонкий анализ рангового параметрического распределения позволяет существенно повысить эффективность рангового анализа. Он осуществляется в рамках следующих (так называемых «тонких») процедур: дифлекс-анализа (на этапе интервального оценивания), GZ-анализа (на этапе прогнозирования), ASR-анализа (на этапе нормирования) и ZP-анализа (на этапе потенцирования).

Таким образом, мы видим, 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, которым они представлены в техноценозе (ранговые видовые), или объекты по значению параметра (ранговые параметрические). Применительно к параметру электропотребления нас будут интересовать ранговые параметрические распределения. И здесь необходимо вспомнить ряд базовых понятий.

Начнем с понятия ранга, под которым понимается номер по порядку при расположении объектов техноценоза в порядке снижения их электропотребления. При параметрическом описании техноценоза по электропотреблению изначально мы имеем дело с множеством эмпирических значений электропотребления объектов в фиксированный момент времени:

$$\{W_k\}_{k=1}^n, \quad (3)$$

где W_k – значение электропотребления k -ого объекта техноценоза;
 n – общее количество объектов техноценоза.

После процедуры ранжирования появляется возможность установить взаимно-однозначное соответствие между множествами:

$$\{W_k\}_{k=1}^n \xrightarrow{w:W \rightarrow R} \{R_k\}_{k=1}^n, \quad (4)$$

где $\{R_k\}_{k=1}^n$ – множество возможных рангов объектов техноценоза в фиксированный момент времени;
 $w:W \rightarrow R$ – числовая функция, устанавливающая соответствие между элементами множеств.

Следует отметить, что числовая функция соответствия между множествами значений электропотребления и рангов может быть определена на основе процедуры установления однозначного функционального соответствия (очевидно, что эта процедура определяется самой сутью процедуры параметрического ранжирования в техноценозе).

Технически функциональное соответствие между множествами может быть установлено посредством процедуры аппроксимации, под которой в общем случае понимается научный метод, состоящий в замене одних объектов другими, в каком-то смысле близкими к исходным, но более простыми. Аппроксимация позволяет исследовать числовые характеристики и качественные свойства объекта, сводя задачу к изучению более простых или более удобных объектов (например, таких, характеристики которых легко вычисляются или свойства которых уже известны). В теории чисел изучаются диофантовы приближения, в частности, приближения иррациональных чисел рациональными. В геометрии рассматриваются аппроксимации кривых ломаными. Некоторые разделы математики, в сущности, целиком посвящены аппроксимации, например, теория приближения функций, численные методы анализа. Теория приближений – раздел математики, изучающий вопрос о возможности приближенного представления одних математических объектов другими, как правило, более простой природы, а также вопросы об оценках вносимой при этом погрешности. Значительная часть теории приближений относится к приближению одних функций другими, однако есть и результаты, относящиеся к абстрактным векторным или топологическим пространствам.

В теории рангового анализа аппроксимация носит фундаментальный характер и связана с явлением случайности. В философии случайность –

категория, выражающая отношение к основанию (сущности) процесса его отдельных форм (проявлений). При этом полагается, что случайность имеет свое основание не в сущности явления, а в воздействии на него других явлений; что это то, что может быть, а может и не быть, может произойти так, а может и иначе. В ряде концепций рассматривается как форма, за которой скрывается непознанная закономерность. В математике рассматривается как определение класса событий, которые при осуществлении некоторого комплекса условий иногда происходят, а иногда не происходят. В алейтике (науке о случайности [63,64]) рассматривается как важный атрибут объектов материального мира, отражающий континуальность параметров и фрактальность систем отсчета, а также имеющий следующие возможные причины: 1) непонятая закономерность; 2) скрещение несогласованных процессов; 3) уникальность; 4) неустойчивость движения; 5) относительность знания; 6) имманентная случайность; 7) произвольный выбор. При исследовании объектов техноценологического типа мы, в той или иной степени, имеем дело с причинами пятого и седьмого типов. Случайным в широком смысле является сочетание (именно фиксированное сочетание) видов технических изделий, составляющих техноценоз, если мы его рассматриваем среди большого количества других подобных техноценозов. Судить о статистическом (и далее – вероятностном) распределении данных сочетаний можно лишь полномасштабно исследовав поведение техноценозов в более общем таксономическом образовании – метаценозе (доступной для исследования в данный момент времени совокупности техноценозов). В узком смысле случайной является форма видового распределения, описывающего номенклатуру техноценоза, что делает случайной величиной значение соответствующего формального параметра. С другой стороны, если рассматривать совокупность одноименных параметров технических изделий техноценоза как выборку из параметрического пространства, то значение фиксированного параметра конкретного технического изделия может рассматриваться как случайная величина, а саму выборку в этом случае можно описать как статистическое распределение.

Формально в ранговом анализе аппроксимация реализуется после операции ранжирования для получения числовой функции соответствия множества значений параметра техноценоза множеству определения рангов. В результате получается числовая функция рангового параметрического распределения. Аппроксимация эмпирических распределений в ранговом анализе обладает существенной онтологической спецификой. Если рассматривать совокупность одноименных параметров технических изделий техноценоза как выборку из параметрического пространства, то значение фиксированного параметра конкретного изделия может рассматриваться как случайная величина, а саму выборку в этом случае можно описать как статистическое распределение. Учитывая, что в процессе аппроксимации мы фактически без изменения формы обобщаем конечную вы-

борку эмпирических точек техноценоза до континуума генеральной совокупности, можно заключить, что аппроксимационная форма – это и есть соответствующее вероятностное распределение. Таким образом, в данном случае аппроксимация позволяет перейти от частной эмпирической выборки к вероятностному распределению генеральной совокупности.

Для того чтобы определить функцию рангового параметрического распределения по электропотреблению, прежде необходимо рассмотреть понятия ранговой топологии и ранговой топологической меры.

Топология (от древнегреческих «топос» – место и «логос» – слово, учение) – раздел математики, который изучает: в самом общем виде – явление непрерывности; в частности – свойства пространств, которые остаются неизменными при непрерывных деформациях (например – связность, ориентируемость). В частности, ранговая топология – раздел рангового анализа техноценозов, в котором изучаются свойства ранговых параметрических пространств (множеств параметров с дополнительной структурой рангового типа). Двумерным примером рангового параметрического пространства является множество значений одного отдельного параметра, заданное на множестве определения ранговой топологической меры (оба множества имеют мощность «алеф 1»). В простейшем случае – это числовая функция рангового параметрического распределения, определенная на множестве ранговой топологической меры, полученная в результате аппроксимации отранжированного множества значений параметра. 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 устоявшегося техноценоза.

Таким образом, аналитически ранговое параметрическое распределение по электропотреблению представляет собой числовую функцию, определенную на множестве ранговой топологической меры, полученную в результате аппроксимации отранжированного множества значений электропотребления объектов техноценоза:

$$[\{W_k\}_{k=1}^n \xrightarrow{w:W \rightarrow R} \{R_k\}_{k=1}^n] \xrightarrow{\text{Approx}} w(x), \quad (5)$$

где $w(x)$ – функция рангового параметрического распределения техноценоза по электропотреблению (рис. 1);

W – значение электропотребления объекта;

R – параметрический ранг распределения;

X – ранговая топологическая мера.

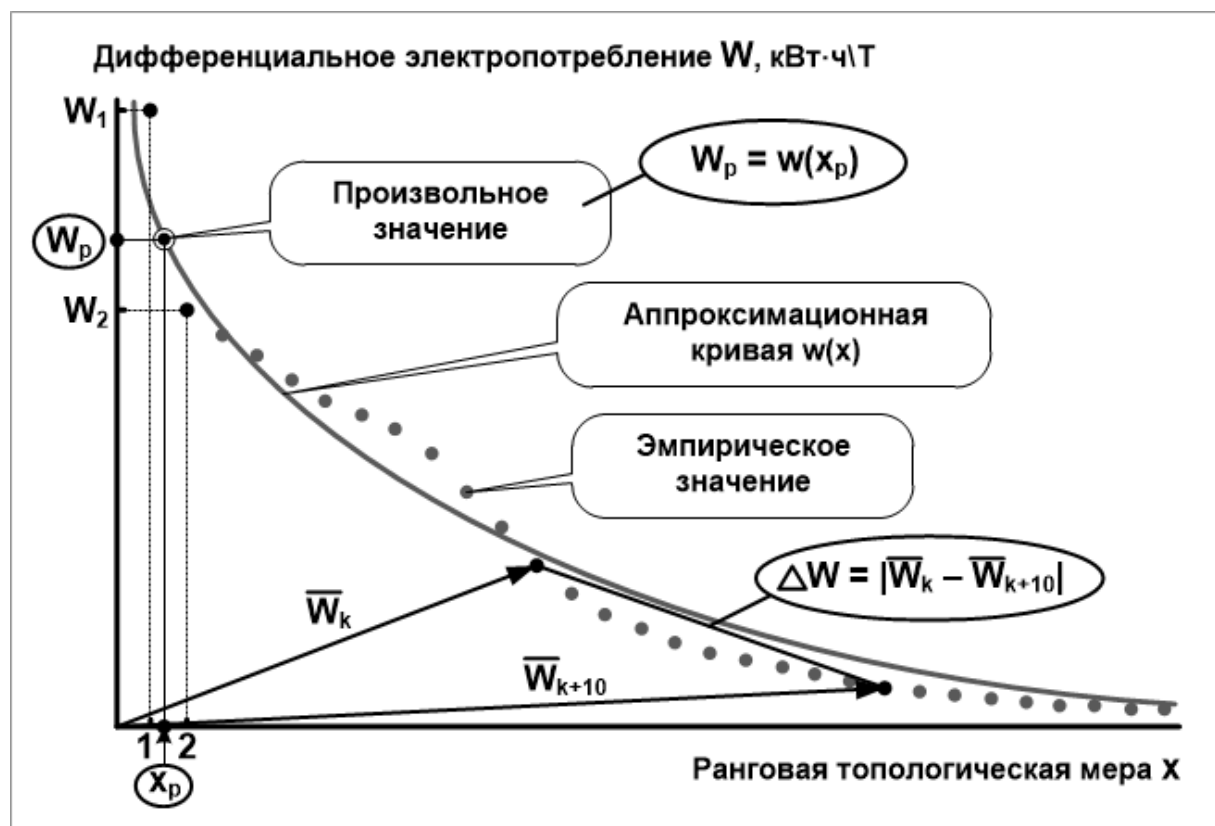


Рис. 1. К понятию рангового параметрического распределения техноценоза по электропотреблению

Рассмотрим подробнее рисунок 1, на котором построен график аппроксимационной функции рангового параметрического распределения техноценоза по электропотреблению $w(x)$. По оси ординат здесь откладываются значения параметра дифференциального электропотребления W (кВт·ч/Т), а по оси абсцисс – ранговая топологическая мера x . Кроме того, на этом же рисунке изображены точки, соответствующие отранжированным эмпирическим значениям электропотребления объектов техноценоза W_k (кВт·ч/Т). При этом точки расположены так, что их ранги соответствуют целочисленным значениям ранговой топологической меры:

$$\left\{ \begin{array}{l} (W_1; R_1) \rightarrow (W = W_1; x = 1); \\ (W_2; R_2) \rightarrow (W = W_2; x = 2); \\ \dots \\ (W_k; R_k) \rightarrow (W = W_k; x = k); \\ \dots \\ (W_n; R_n) \rightarrow (W = W_n; x = n). \end{array} \right. \quad (6)$$

Таким образом, следует различать два ранговых параметрических распределения объектов одного и того же техноценоза: первое – эмпирическое, полученное на основе обработки данных по электропотреблению, полученных со счетчиков электроэнергии, установленных на объектах техноценоза; второе – теоретическое, полученное после аппроксимации соответствующих эмпирических данных. Повторимся и еще подчеркнем, что в процессе аппроксимации мы фактически без изменения формы обобщаем конечную выборку эмпирических точек техноценоза до континуума генеральной совокупности. Следовательно, аппроксимационная форма рангового параметрического распределения – это и есть соответствующее вероятностное распределение, которое мы должны рассматривать как единственный корректный инструмент рангового анализа.

Какие задачи позволяет решать подобная аппроксимационная форма рангового параметрического распределения по параметру электропотребления? Прежде всего, она позволяет определять дробное (так называемое, межранговое) значение ранговой топологической меры, соответствующее произвольному значению электропотребления. Это, в свою очередь, позволяет точно позиционировать (с точки зрения ранговой динамики) значение электропотребления, извне привносимое в устоявшийся техноценоз. На рисунке 1 наглядно проиллюстрировано, сколь значительную погрешность можно получить, если оперировать только эмпирическим ранговым параметрическим распределением с целыми значениями ранга. Заметим, что это имеет большое значение в процедурах параметрического нормирования и параметрического синтеза, а также в бифуркационных методах прогнозирования электропотребления техноценоза.

Кроме того, аппроксимационная форма рангового параметрического распределения позволяет корректно вычислять совокупное значение электропотребления техноценоза в целом или отдельного параметрического кластера (например, в пределах от x_1 до x_2). Для этого берется интеграл:

$$\int_0^{\infty} w(x) dx \quad \text{или, соответственно,} \quad \int_{x_1}^{x_2} w(x) dx. \quad (7)$$

Следует отметить, что в первом случае мы имеем дело с несобственным интегралом, который может быть сходящимся или расходящимся. Однако, в теории рангового анализа показано, что несобственные интегралы ранговых параметрических распределений техноценозов всегда являются сходящимися, т.е. позволяют получать корректные конечные результаты. Более того, сам факт расходимости подобного интеграла является свидетельством, что исследуемое ранговое распределение, по какой-либо причине, не может быть отнесено к области негауссовых. Интегрирование ранговых параметрических распределений применяется в процедурах потенцирования и ZP-анализа, а также при определении интегральных показателей качества и затрат по электропотреблению.

В заключение еще раз поговорим о ранговом анализе техноценозов. Как представляется, в настоящее время здесь можно говорить о трех методологических разделах, первый из которых – так называемый функциональный ранговый анализ. Название данного раздела подчеркивает то, что центральное место в нем занимает исследование именно функций ранговых параметрических распределений. Очевидно, что все наши предыдущие исследования, в той или иной мере, относятся именно к этому разделу. В последние годы в ранговом анализе зародились еще два направления, позволяющие сформировать второй и третий разделы, а именно: комбинаторный ранговый анализ и векторный ранговый анализ.

Автором комбинаторного рангового анализа является Д.В. Луценко. В его трудах для исследования динамики техноценозов впервые предлагается комбинаторная теория ранговой динамики. В рамках данной теории структурные свойства, характеризующие упорядоченность техноценозов, предлагается исследовать на основе теории графов с использованием новых понятий ранговой конфигурации, рангового и сдвигового рангового отображения, а также ранговой подстановки и ранговой структуры.

Третий раздел – векторный ранговый анализ получил развитие в работах О.Р. Кивчуна. Основная идея здесь основана на понятии ранговой параметрической близости. Обратим внимание на рисунок 1. Как видим, на нем построены два параметрических радиус-вектора, однозначно задающие эмпирические точки, соответствующие электропотреблению двух произвольных объектов техноценоза, отстающих друг от друга по ранговому параметрическому распределению на 10 рангов:

$$\bar{W}_k \quad \text{и} \quad \bar{W}_{k+10}. \quad (8)$$

Прежде всего, отметим, что для нас видится весьма перспективной сама форма задания эмпирической (или произвольной) точки в ранговом параметрическом пространстве. Это сулит дополнительные возможности в исследовании динамики систем техноценологического типа, вплоть до создания нового раздела рангового анализа, а именно – теории векторного рангового анализа. Для примера на рисунке 1 показан отрезок, соединяющий концы двух радиус-векторов. Очевидно, его длина в ранговом параметрическом пространстве по электропотреблению равна:

$$\Delta W = |\overline{W}_k - \overline{W}_{k+10}| = \sqrt{(W_k - W_{k+10})^2 + (R_{k+10} - R_k)^2}. \quad (9)$$

Предлагается этот важный параметр назвать мерой ранговой параметрической близости в ранговом параметрическом пространстве. Как представляется, он может характеризовать динамику электропотребления объектов и использоваться в управлении техноценозом.

Очевидно, что развитие двух новых разделов делает необходимым переосмыслить и само определение рангового анализа, под которым теперь понимается метод исследования больших технических систем (техноценозов), имеющий целью их статистический анализ, а также оптимизацию, моделирование и управление. Состоит из трех крупных разделов, первый из которых – функциональный ранговый анализ – полагает в качестве основного критерия форму ранговых (видовых и параметрических) распределений. Второй раздел – комбинаторный ранговый анализ – основан на свойствах, отношениях, а также закономерностях ранговых конфигураций и структур. Ключевым инструментом третьего раздела – векторного рангового анализа – выступает векторная мера параметрической близости в ранговом параметрическом пространстве.

Таким образом, понятие электропотребления является сложным и неоднозначным. В зависимости от контекста, объекта, предмета и области исследований, оно может рассматриваться в трех различных смыслах: как показатель, как параметр или как процесс. Как показатель электропотребление – мера, отражающая свойство объектов окружающего мира преобразовывать генерируемую источниками электромагнитную энергию. Как параметр оно выступает количественной формой данного показателя. При этом электропотребление фиксируется счетчиками электроэнергии за интервал времени и определяется как разность между значениями в конце и начале рассматриваемого интервала. Следует учитывать, что данное понятие отличается от электропотребления как показателя, поэтому предлагается его называть «дифференциальным электропотреблением». В качестве единицы измерения здесь следует использовать внесистемную единицу $\text{кВт} \cdot \text{ч} / \text{T}$, где T – стандартизированный интервал времени. Наконец, как процесс электропотребление – управляемый (фиксируемый в базе данных,

оцениваемый, прогнозируемый, нормируемый и потенцируемый) процесс потребления электроэнергии приемниками или потребителями, осуществляемый автономно либо в составе техноценоза. Управление электропотреблением осуществляется с целью максимальной экономии электроэнергии при минимизации затрат на всестороннее обеспечение.

Основным аналитическим инструментом рангового анализа техноценозов по электропотреблению выступает ранговое параметрическое распределение, которое получается в результате аппроксимации. Формально в ранговом анализе аппроксимация реализуется после операции ранжирования для получения числовой функции соответствия множества значений параметра техноценоза множеству определения рангов. В результате получается числовая функция рангового параметрического распределения. Учитывая, что в процессе аппроксимации мы фактически без изменения формы обобщаем конечную выборку эмпирических точек техноценоза до континуума генеральной совокупности, можно заключить, что аппроксимационная форма – это и есть соответствующее вероятностное распределение. Таким образом, в данном случае аппроксимация позволяет перейти от частной эмпирической выборки к вероятностному распределению генеральной совокупности. Ранговое параметрическое распределение по электропотреблению представляет собой числовую функцию, определенную на множестве ранговой топологической меры, полученную в результате аппроксимации отранжированного множества значений электропотребления объектов техноценоза. Ранговая топологическая мера – количественная форма, отражающая качественное свойство объекта обладать большим или меньшим значением параметра. Она дает континуальное обобщение понятия ранга. Аппроксимационная форма рангового параметрического распределения по электропотреблению позволяет определять дробное (межранговое) значение ранговой топологической меры. Это, в свою очередь, позволяет точно позиционировать (с точки зрения ранговой динамики) значение электропотребления, извне привносимое в устоявшийся техноценоз. Кроме того, аппроксимационная форма рангового параметрического распределения позволяет корректно вычислять совокупное значение электропотребления техноценоза в целом как несобственный интеграл параметрического распределения в пределах от нуля до бесконечности.

Итак, в нашем новом представлении ранговый анализ техноценозов состоит из трех крупных методологических разделов, первый из которых – функциональный ранговый анализ – полагает в качестве основного критерия форму ранговых (видовых, видоранговых, межранговых и ранговых параметрических) распределений. Второй раздел – комбинаторный ранговый анализ – основан на свойствах, отношениях, а также закономерностях ранговых конфигураций и структур. Ключевым инструментом третьего раздела – векторного рангового анализа – выступает векторная мера параметрической близости в ранговом параметрическом пространстве.