

## ОБ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИИ

В.И. Гнатюк

В качестве объекта наших исследований [1-13] 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 совершенно 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 [1-13].

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 [1-13].

**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  $\text{кВт}\cdot\text{ч}\backslash\text{T}$  ( $\text{кВАр}\cdot\text{ч}\backslash\text{T}$ ,  $\text{кВА}\cdot\text{ч}\backslash\text{T}$ ), 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 [1-13].

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.

**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  $\text{кВт}\cdot\text{ч}/T$ , 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.



## Литература

1. Техника, техносфера, энергосбережение [Сайт] / В.И. Гнатюк. – Электронные текстовые данные. – М.: [б.и.], [2000]. – Режим доступа: <http://www.gnatukvi.ru>, свободный, [рег. от 23.11.2005 № 5409].
2. Гнатюк В.И. Оптимальное построение техноценозов. Теория и практика: Монография. – Вып. 9. Ценологические исследования. – М.: Центр системных исследований, 1999. – 272 с.
3. Гнатюк В.И. Закон оптимального построения техноценозов: Монография. – Вып. 29. Ценологические исследования. – М.: Изд-во ТГУ – Центр системных исследований, 2005. – 384 с.
4. Гнатюк В.И., Шейнин А.А. и др. Нормирование электропотребления объектов регионального электротехнического комплекса с использованием предельного алгоритма. – Калининград: КПИ, 2012. – 289 с.
5. Гнатюк В.И., Шейнин А.А. Нормирование электропотребления регионального электротехнического комплекса: Экономические проблемы энергетического комплекса. – М.: ИНП РАН, 2012. – 102 с.
6. Гнатюк В.И. Закон оптимального построения техноценозов [Статья] / В.И. Гнатюк. – Электронные текстовые данные. – Калининград: [Изд-во Калининградского инновационного центра «Техноценоз»], [2014]. – Режим доступа: <http://gnatukvi.ru/index.files/zakon.pdf>, свободный.
7. Гнатюк В.И., Луценко Д.В. Потенциал энергосбережения регионального электротехнического комплекса: Экономические проблемы энергетического комплекса. – М.: Изд-во ИНП РАН, 2013. – 107 с.
8. Гнатюк В.И. Потенциал энергосбережения техноценоза [Трактат] / В.И. Гнатюк. – Электронные текстовые данные. – Калининград: [КИЦ ТЦ], [2013]. – Режим доступа: <http://gnatukvi.ru/index.files/potential.pdf>.
9. Гнатюк В.И. Философские основания техноценологического подхода [Монография] / В.И. Гнатюк. – Электронные текстовые данные. – Калининград: [Изд-во КИЦ «Техноценоз»], [2014]. – Режим доступа: [http://gnatukvi.ru/mono\\_pdf/text.pdf](http://gnatukvi.ru/mono_pdf/text.pdf), свободный.
10. Гнатюк В.И. Закон оптимального построения техноценозов [Монография] / В.И. Гнатюк. – 2-е изд., перераб. и доп. – Электронные текстовые данные. – Калининград: [Изд-во КИЦ «Техноценоз»], [2014]. – Режим доступа: <http://gnatukvi.ru/ind.html>, свободный.
11. Гнатюк В.И. и др. Потенциал энергосбережения регионального электротехнического комплекса. – Калининград: КГТУ, 2015. – 106 с.
12. Гнатюк В.И. и др. Потенциал энергосбережения регионального электротехнического комплекса. – Калининград: КПИ, 2015. – 108 с.
13. Гнатюк В.И. Управление электропотреблением на основе трансформированных ранговых распределений [Презентация] / В.И. Гнатюк. – Электронные данные. – Калининград: [б.и.], [1994 – 2016]. – Доступ: [http://gnatukvi.ru/pres\\_small/pres.pps](http://gnatukvi.ru/pres_small/pres.pps), свободный.