

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

## Потенширование в методике управления электропотреблением техноценоза

**В.И. Гнатюк<sup>а</sup>,**

**В.И. Пантелеев<sup>б\*</sup>, А.А. Заименко<sup>а</sup>**

*<sup>а</sup>Калининградский государственный  
технический университет,*

*Россия, 236022, Калининград, пр., Советский, 1*

*<sup>б</sup>Сибирский федеральный университет*

*Россия, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79*

Received 21.10.2013, received in revised form 09.11.2013, accepted 15.01.2014

*Предлагается методику оптимального управления электропотреблением техноценоза (интервальное оценивание, прогнозирование и нормирование) дополнить процедурой потенцирования, включающей ZP-анализ, ZP-нормирование и ZP-планирование.*

*Ключевые слова: управление электропотреблением, потенцирование, потенциал энергосбережения, Z-потенциал, ZP-анализ, ZP-нормирование, ZP-планирование.*

Как известно из [1-10], основными процедурами методики оптимального управления электропотреблением объектов техноценоза являются: формирование базы данных [1-3], интервальное оценивание [1-3], прогнозирование [4, 5] и нормирование [8]. Предлагается дополнить их еще одной процедурой – потенцированием [7, 10] (от английского «potential») (рис. 1). При этом под техноценозом понимается ограниченная в пространстве и времени взаимосвязанная совокупность далее неделимых технических изделий-особей, объединенных слабыми связями (регион, город, муниципалитет, организация, предприятие, фирма, аграрная инфраструктура, район нефте- и газодобычи, торговая сеть, группировка войск и т.д.). 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, а также всестороннего обеспечения [1].

Под потенцированием вообще предлагается считать процедуру оптимального управления ресурсами техноценоза, заключающуюся в определении интегрального количества ресурса, на величину которого на данном временном интервале должно быть сокращено ресурсопотребление техноценоза без ущерба его нормальному функционированию [7,10]. Очевидно, что применительно к электроэнергии процедура потенцирования сводится к определению и



Рис. 1. Методика оптимального управления электропотреблением и место в ней процедуры потенширования

последующему использованию в процессе управления потенциала энергосбережения. Здесь следует отметить терминологическую особенность, заключающуюся в том, что, следуя традиции, понятие энергосбережения мы будем относить лишь к электроэнергии, что позволит избежать понятия «электросбережение», которое почти не находит применения в современной научной литературе и нормативных документах. Не будем мы применять и выражение «экономию электроэнергии», которое со словом «потенциал» составляет достаточно громоздкую фразу и в современной литературе практически не встречается.

Таким образом, в методике оптимального управления электропотреблением под потеншированием будем понимать процедуру, заключающуюся в определении потенциала энергосбережения, на величину которого на данном временном интервале должно быть сокращено электропотребление техноценоза без ущерба нормальному функционированию объектов [7, 9]. Установили ключевое в процедуре потенширования понятие потенциала энергосбережения (рис. 2).

Потенциал энергосбережения (системный потенциал энергосбережения) – полученная на расчетную глубину времени абсолютная разница между электропотреблением техноценоза (в кВт·ч) без реализации энергосберегающих процедур, с одной стороны, и электропотреблением, соответствующим нижней границе переменного доверительного интервала, – с другой. Электропотребление техноценоза рассчитывают как интеграл в пределах от нуля до бесконечности под соответствующей кривой рангового параметрического распределения. При этом в качестве расчетной берется либо кривая, полученная для эмпирических значений электропотребления объектов, либо нижняя граница переменного доверительного интервала. Расчетный промежуток времени определяется, с одной стороны, глубиной базы данных по электропотреблению в прошлом, на основе которой строится переменный доверительный интервал, а с другой – требуемым горизонтом моделирования потенциала в будущем [7, 10].

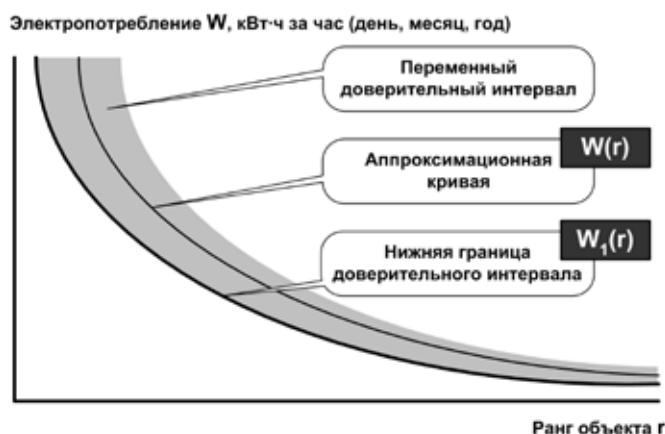


Рис. 2. К понятию системного потенциала энергосбережения техноценоза

Следует отметить принципиальное отличие нашего подхода от традиционного, когда под потенциалом энергосбережения понимается, по сути, сумма полученных по отдельности для каждой электроустановки разностей между реально существующим электропотреблением и некоторым гипотетическим значением электропотребления данной установки, которое могло бы быть, если бы в ней были реализованы некие лучшие показатели энергоэффективности. При этом нигде в доступной нам литературе не раскрываются следующие важные моменты: во-первых, на каком основании сделано заключение, что потенциал энергосбережения техноценоза обладает свойством аддитивности, т.е. его можно рассчитать как сумму потенциалов энергосбережения отдельных электроприемников; во-вторых, откуда предполагается брать и как интерпретировать эти самые «лучшие показатели энергоэффективности»; в-третьих, как учитывается степень доступности лучших показателей энергоэффективности на данном конкретном оборудовании данного конкретного техноценоза; в-четвертых, где находится нижний предел электропотребления, ниже которого в техноценозе без нарушения нормального технологического процесса опускаться просто нельзя; в-пятых, как рассчитанный путем суммирования показателей отдельных электроприемников потенциал энергосбережения может быть использован в повседневном процессе управления электропотреблением; в-шестых, каким образом можно с известной степенью достоверности вести речь об одномоментном определении электропотребления сотен тысяч (или даже миллионов) отдельных электроприемников (от зарядника мобильного телефона или чайника до конвертера или доменной печи), которые к тому же на 99 % не имеют системы индивидуального учета электропотребления.

Для того чтобы подчеркнуть обсуждаемое выше принципиальное отличие, предлагается вводимый нами системный потенциал, рассчитываемый с помощью известных из рангового анализа ципфовых распределений [1-3, 9, 10], обозначать как Z-потенциал (по первой букве фамилии известного ученого George Kingsley Zipf) и рассчитывать следующим образом [7]:

$$\Delta W_1 = \int_0^{\infty} W(r) dr - \int_0^{\infty} W_1(r) dr, \quad (1)$$

где  $\Delta W_1$  – потенциал энергосбережения техноценоза (рис. 2);

$W(r)$  – аппроксимационная кривая, полученная для эмпирических значений электропотребления объектов ( $r$  – ранг);

$Wl(r)$  – нижняя граница переменного доверительного интервала, полученная на основе обработки базы данных [3, 7, 8].

Для повышения точности расчетов стандартные процедуры оптимального управления электропотреблением (формирование базы данных, интервальное оценивание, прогнозирование, нормирование и потенширование электропотребления – рис. 1) дополняются соответствующими тонкими процедурами: верификацией базы данных [3, 10], а также дифлекс-анализом [9, 10], GZ-анализом [4, 5, 10], ASR-анализом [8, 10] и ZP-анализом [7, 10] (рис. 3).

Таким образом, тонким дополнением к стандартной процедуре потенширования служит впервые предлагаемый ZP-анализ, под которым понимается тонкая процедура оптимального управления электропотреблением, осуществляемая на этапе потенширования для разработки ZP-плана энергосбережения техноценоза [7]. Сам термин «ZP-анализ» («зет-пэ-анализ») является легко произносимым сокращением от фразы «Анализ с помощью Z-потенциала». В соответствии с принятой в ранговом анализе традицией входящая в него аббревиатура «ZP» получена от английского «Z-Potential». В основе ZP-анализа лежит методика оценки Z-потенциала, отличающаяся двухуровневой системой. Первый уровень – Z1-потенциал: в качестве конечного рассматривается ранговое параметрическое распределение, соответствующее нижней границе переменного доверительного интервала, полученного в процедуре интервального оценивания. Второй уровень – Z2-потенциал – когда в качестве конечного рассматривается ранговое параметрическое распределение, соответствующее нижней границе переменного доверительного интервала, полученного в процедуре интервального оценивания после ZP-нормирования [7, 9, 10].

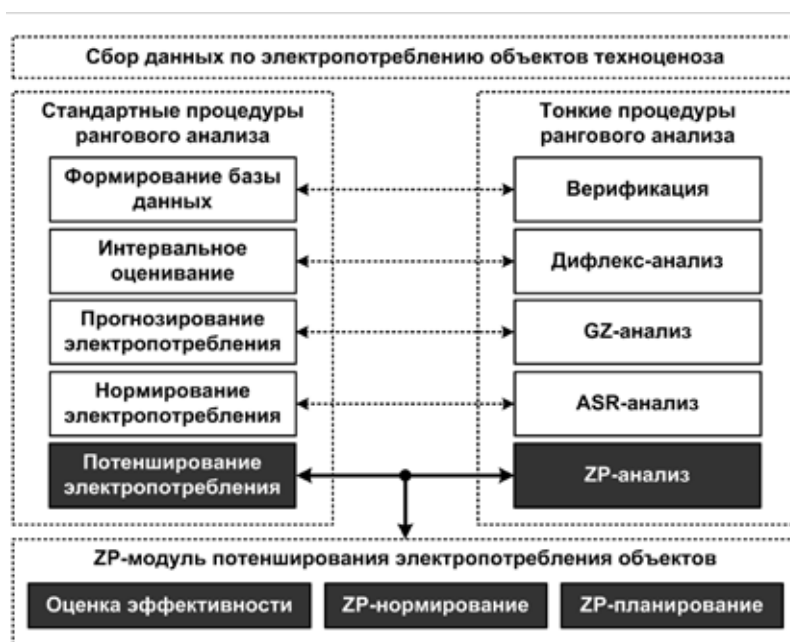


Рис. 3. Тонкие процедуры оптимального управления электропотреблением техноценоза

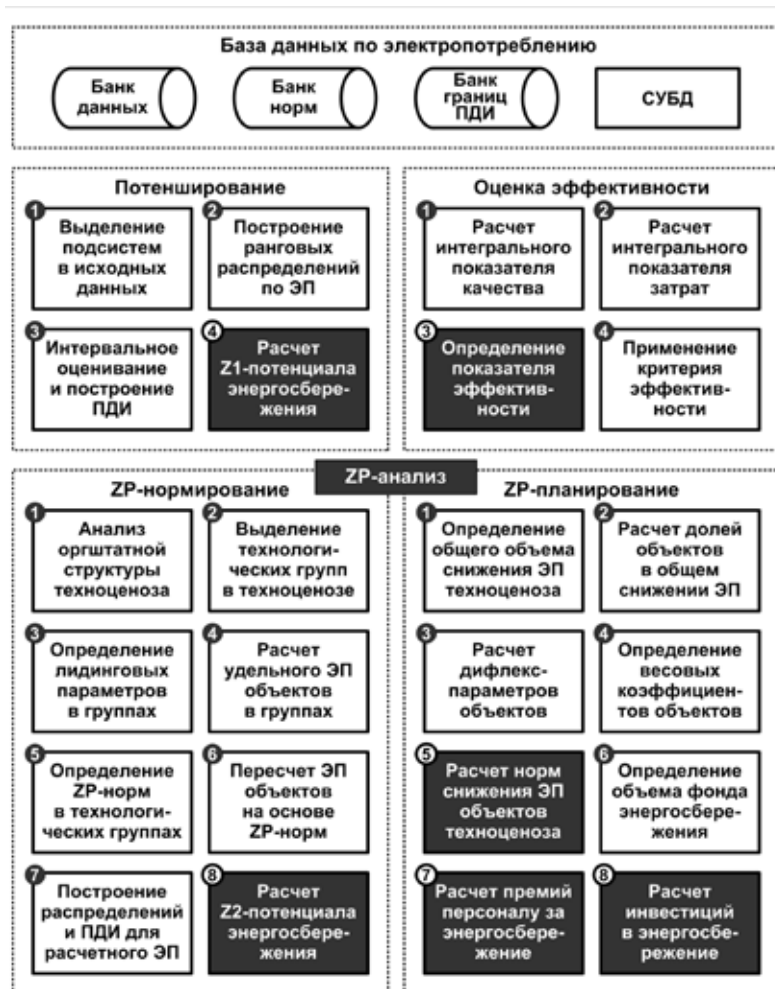


Рис. 4. Структура и основные элементы ZP-модуля потенширования техноценоза: ПДИ – переменный доверительный интервал; ЭП – электропотребление

ZP-план разрабатывается индивидуально для каждого объекта техноценоза на расчетный промежуток времени. Он предполагает, что электропотребление техноценоза в целом должно в течение двух этапов понизиться на величину, соответствующую сначала Z1-потенциалу, а затем – Z2-потенциалу. При этом ZP-планирование предусматривает для каждого объекта на каждом временном интервале индивидуальные управляющие воздействия, поставленные в зависимость от дифлекс-параметров [7]. ZP-нормированием называется процедура пересчета электропотребления объектов внутри функциональных групп на основе реально существующих графиков электрических нагрузок и лучших внутригрупповых показателей электропотребления [7, 10].

На рис. 4 показана структура ZP-модуля потенширования техноценоза. Источником данных в модуле выступает база данных техноценоза по электропотреблению, включающая в себя СУБД и банки данных (постоянно обновляемая информация об оргштатной структуре техноценоза, геоинформация, сведения о функциональных группах и лидинговых параметрах, пер-

вичные и пересчитанные значения электропотребления объектов, табулированные первичные и вторичные ранговые параметрические распределения, таблицы соответствия индексов, значения границ переменных доверительных интервалов, ZP-нормы, Z-потенциалы, результаты ZP-планирования и др.) [7].

Первый элемент ZP-модуля составляет стандартная процедура оптимального управления электропотреблением – потенширование (рис. 4), которая включает следующие процедуры: выделение подсистем в исходных данных по электропотреблению, построение ранговых распределений, интервальное оценивание, построение переменных доверительных интервалов и расчет на этой основе Z1-потенциала энергосбережения. Второй элемент ZP-модуля потенширования предусматривает оценку эффективности процесса оптимального управления электропотреблением техноценоза, которая осуществляется по итогам применения критерия, основанного на максимизации показателя эффективности, демонстрирующего соотношение интегральных показателей качества и затрат [7].

Тонким дополнением к стандартной процедуре потенширования служит ZP-анализ (рис. 3), включающий ZP-нормирование и ZP-планирование, которые выступают основными элементами ZP-модуля. ZP-нормирование имеет целью определение Z2-потенциала техноценоза и в этом смысле является подготовительной процедурой к ZP-планированию. Расчет предваряется углубленным анализом оргштатной структуры техноценоза, выделением в нем технологических групп и определением групповых лидинговых параметров. Далее вычисляется удельное электропотребление в группах, определяются ZP-нормы и на их основе пересчитывается электропотребление объектов. Это позволяет построить новые ранговые распределения по электропотреблению и переменные доверительные интервалы, а затем рассчитать Z2-потенциал энергосбережения.

Полученные Z1- и Z2-потенциалы позволяют перейти к заключительному и главному элементу ZP-модуля – ZP-планированию. Здесь в первую очередь на основе выбранной стратегии осуществляется определение объема снижения электропотребления техноценоза, а также долей объектов в общем снижении электропотребления. Последующий расчет дифлекс-параметров позволяет получить весовые коэффициенты, на основе которых устанавливают нормы снижения электропотребления объектов. Одновременно появляется возможность определения объема фонда энергосбережения техноценоза, что позволяет рассчитать премии персоналу за успехи в экономии электроэнергии, а также необходимые инвестиции в перевооружение и модернизацию электрооборудования объектов. Следует отметить, что основным результатом методики на данном этапе является полученный ZP-план, содержащий нормы снижения электропотребления и объемы премий для каждого из объектов техноценоза.

Совместная реализация элементов ZP-модуля осуществляется по укрупненному алгоритму, показанному на рис. 5. Как уже говорилось, источником данных служит база, в которой кроме прочего хранится информация о стратегиях энергосбережения. В первую очередь алгоритмом предусмотрен анализ заданной стратегии и формирование расчетного цикла по временным интервалам. В основе анализа стратегии лежит расчет интегральных показателей качества и затрат, что требует еще до начала основных расчетов собственно ZP-модуля формирования модельной матрицы данных. Осуществляется это априорно методами прогнозиро-

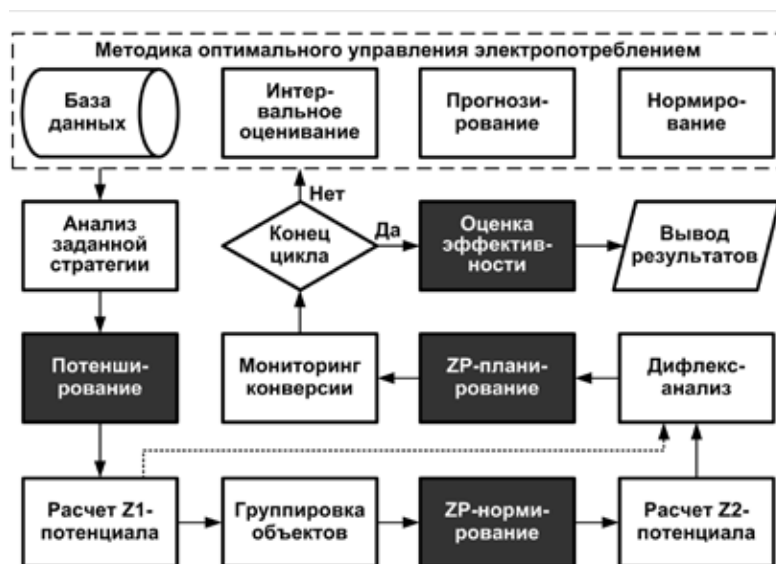


Рис. 5. Алгоритм реализации процедур ZP-модуля

вания (для чисто инерционных вариантов развития) и моделирования (для управляемых вариантов) в рамках процедур методики оптимального управления электропотреблением. Данные расчеты позволяют еще до начала реализации методики ZP-модуля оценить, прежде всего, инвестиционные перспективы и управленческие возможности техноценоза.

В любом случае все расчетные процедуры цикла проходят по порядку применительно к одному временному интервалу начиная с первого, следующего за вектором текущих данных. В цикле последовательно реализуются основные процедуры ZP-модуля: потенширование, ZP-нормирование и ZP-планирование (вместе с рядом промежуточных операций), а также мониторинг конверсии, показывающий, насколько адекватно средства, направляемые на премирование объектов на предыдущем временном интервале, конвертируются в процесс снижения электропотребления на последующем интервале [7, 10].

В конце последовательной цепочки операций осуществляется анализ результатов, основной целью которого является принятие решения об окончании цикла. Данное решение зависит от выбранной стратегии энергосбережения и принимается при выполнении одного из следующих решающих условий: текущий временной интервал сравнялся с требуемым конечным; текущий потенциал энергосбережения достиг заданного уровня; показатель конверсии опустился ниже минимально допустимого порогового значения (рис. 5). Если принято решение о продолжении расчетов, то результаты, полученные на предыдущей итерации, добавляются в базу данных в качестве модельного вектора электропотребления на следующем временном интервале. По окончании цикла осуществляется оценка эффективности реализации ZP-модуля и производится вывод результатов. По итогам оценки эффективности может быть принято решение о сохранении или изменении стратегии энергосбережения. Цикл может реализовываться и по укороченному пути, когда пропускается ZP-нормирование, а в качестве критериального потенциала энергосбережения принимается не Z2-, а Z1-потенциал (на рис. 5 показано штриховой линией). Возможен двухэтапный алгоритм, когда цикл реализуется по укороченному пути до

момента исчерпания Z1-потенциала, а затем включается процедура ZP-нормирования, и цикл ZP-модуля реализуется вплоть до исчерпания Z2-потенциала.

Таким образом, в основе ZP-анализа лежит понятие Z-потенциала, а его основными процедурами являются ZP-нормирование и ZP-планирование, предусматривающие для каждого объекта на каждом временном интервале управляющие воздействия, поставленные в зависимость от дифлекс-параметров. ZP-анализ позволяет разработать для техноценоза ZP-план, учитывающий стратегии энергосбережения, а также результаты оценки эффективности электропотребления. Важным элементом ZP-анализа выступает мониторинг результативности энергосбережения, который осуществляется с помощью показателя конверсии.

### Список литературы

- [1] Гнатюк В.И. Закон оптимального построения техноценозов: монография. Вып. 29. Ценологические исследования. М.: Изд-во ТГУ Центр системных исследований, 2005. 384 с.
- [2] Гнатюк В.И. Оптимальное управление электропотреблением регионального электро-технического комплекса (техноценоза): монография. М.: Изд-во ИПП РАН, 2006. 147 с.
- [3] Гнатюк В.И., Луценко Д.В. и др. Моделирование систем: учебник. Калининград: Изд-во КПИ, 2009. 650 с.
- [4] Гнатюк В.И., Луценко Д.В. Прогнозирование электропотребления регионального электротехнического комплекса на инерционном этапе развития: монография. М.: Изд-во ИПП РАН, 2009. 92 с.
- [5] Гнатюк В.И., Луценко Д.В. Прогнозирование электропотребления на основе GZ-анализа: монография. Калининград: КПИ, 2010. 144 с.
- [6] Гнатюк В.И. Закон оптимального построения техноценозов: статья: интернет-ресурс. Калининград: КИЦ «Техноценоз», 2012. 19 с. Режим доступа: <http://gnatukvi.ru/index.files/zakon.pdf>.
- [7] Гнатюк В.И. Потенциал энергосбережения техноценоза: трактат: интернет-ресурс. Калининград: КИЦ «Техноценоз», 2012. 56 с. Режим доступа: <http://gnatukvi.ru/index.files/potential.pdf>.
- [8] Гнатюк В.И. и др. Нормирование электропотребления объектов регионального электротехнического комплекса с использованием предельного алгоритма: монография. Калининград: Изд-во КПИ, 2012. 289 с.
- [9] Гнатюк В.И. Техника, техносфера, энергосбережение: интернет-сайт. М., 2000–2013. Режим доступа: <http://www.gnatukvi.ru>.
- [10] Гнатюк В.И. Закон оптимального построения техноценозов. Компьютерная версия, перераб. и доп. М.: Изд-во ТГУ – Центр системных исследований, 2005–2013. Режим доступа: <http://gnatukvi.ru/ind.html>.

## Potentialization in Methodology of Power Consumption Technocenosis

**Victor I. Gnatyuk<sup>a</sup>,  
Vasily I. Panteleev<sup>b</sup> and Alexander A. Zaimenko<sup>a</sup>**

*<sup>a</sup>Kaliningrad State Technical University,  
1 Sovetsky, Kaliningrad, 236022, Russia*

*<sup>b</sup>Siberian Federal University,  
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041, Russia*

---

*The proposed methodology of optimal control of a power consumption technocenosis (interval estimation, forecasting and normalization) to add one more procedure potentialization includes the steps of ZP-analysis, ZP-regulation and ZP-planning.*

*Keywords: control of a power consumption, potentialization, potential for energy savings, Z-potential, ZP-analysis, ZP-regulation, ZP-planning.*

---