

1. Потенширование электропотребления

На этапе построения эмпирической модели осуществляется статистическая обработка данных по электропотреблению объектов техноценоза, которая включает взаимосвязанные процедуры рангового анализа. Как известно из работ [1-20], основными процедурами методики оптимального управления электропотреблением являются следующие: формирование базы данных, интервальное оценивание, прогнозирование и нормирование. Предлагается дополнить их еще одной важной процедурой – потеншированием (от английского «potential» – «потеншл») (рис. 1).

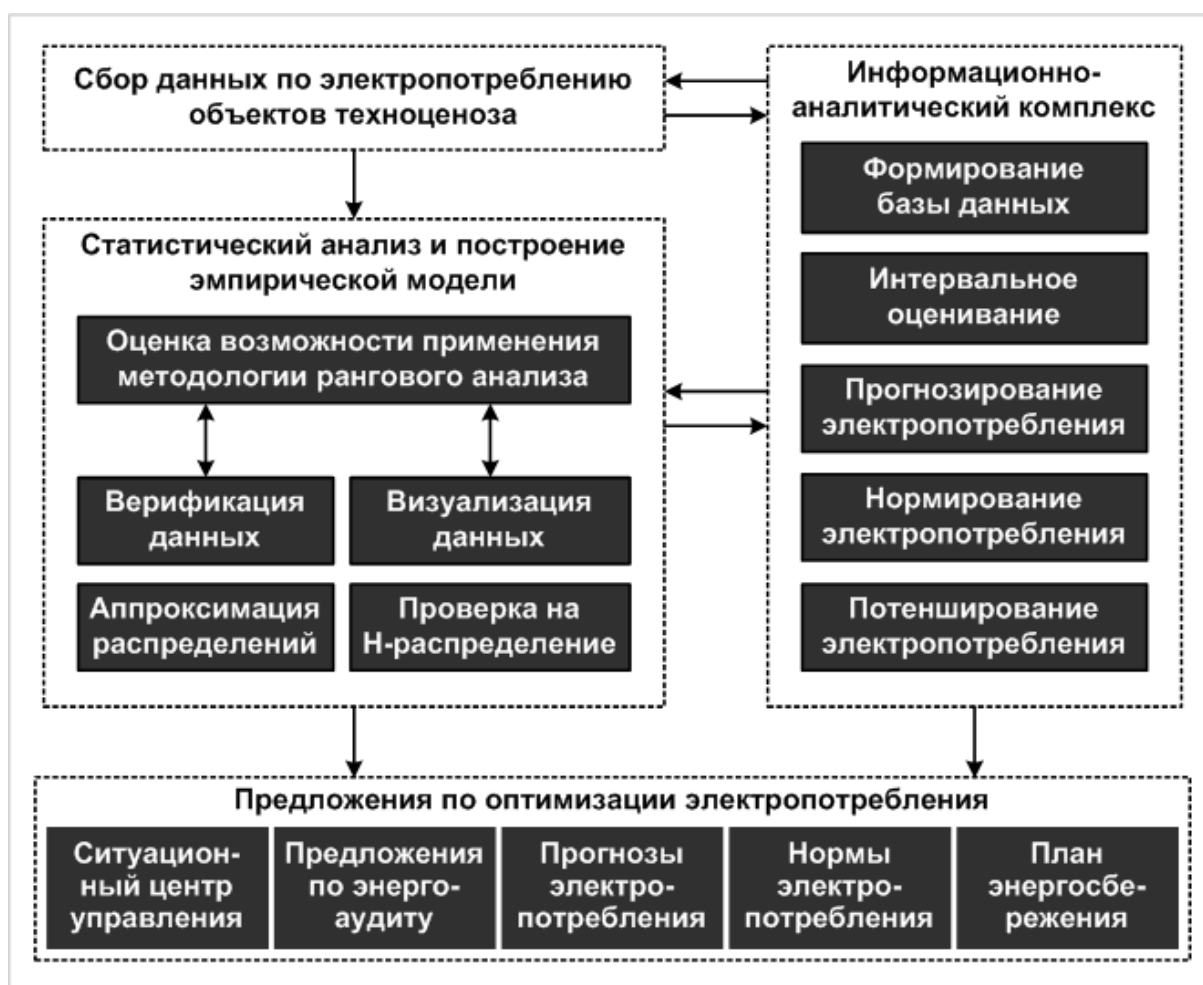


Рис. 1. Методика оптимального управления электропотреблением

При этом под потеншированием 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. Очевидно,

что применительно к электроэнергии процедура потенцирования сводится к определению и 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 «экономия электроэнергии», которое со словом «потенциал» составляет достаточно громоздкую фразу и в современной литературе не встречается. Таким образом, в методике оптимального управления электропотреблением под потенцированием 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. Определим ключевое в процедуре потенцирования понятие потенциала энергосбережения (рис. 2).

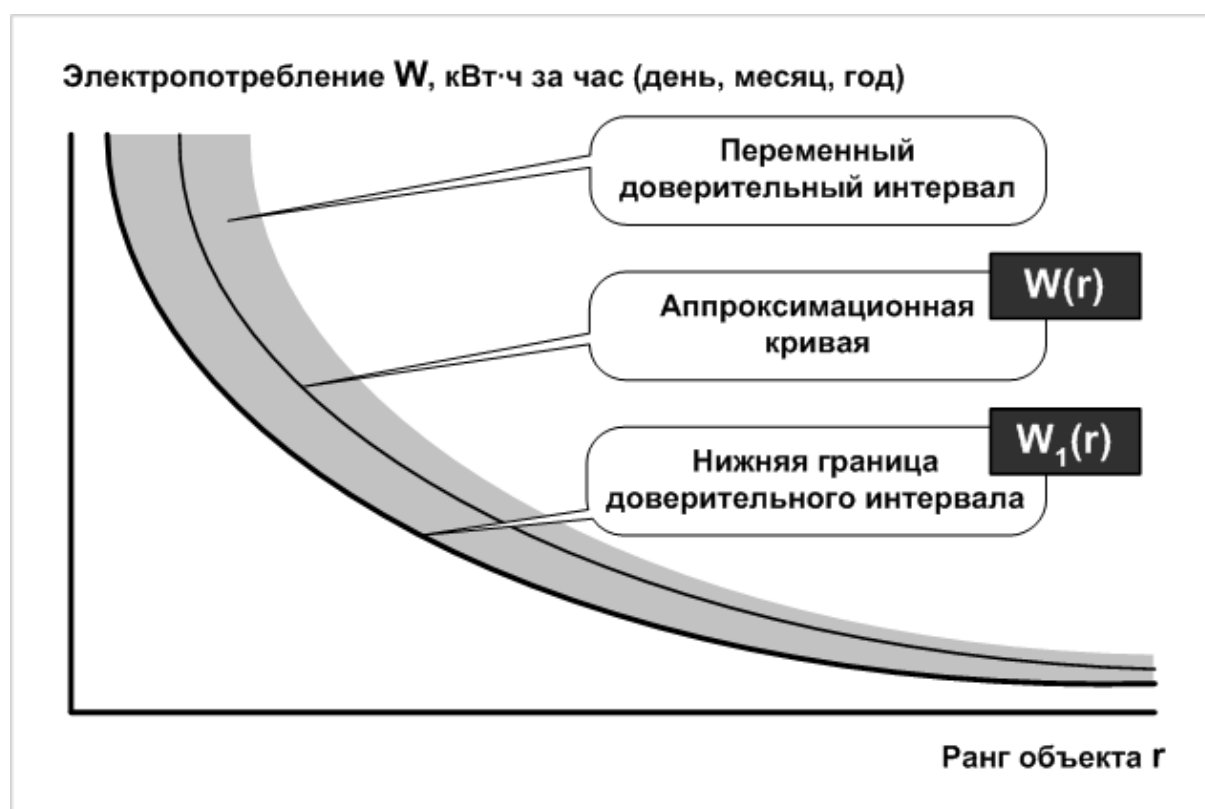


Рис. 2. К понятию системного потенциала энергосбережения техноценоза

Потенциал энергосбережения (системный потенциал энергосбережения) – полученная на расчетную глубину времени абсолютная разница между электропотреблением техноценоза (в кВт·ч) без реализации энерго-

сберегающих процедур, с одной стороны, и электропотреблением, соответствующим нижней границе переменного доверительного интервала, с другой. Электропотребление техноценоза рассчитывается 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.

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 потенциал энергосбережения может быть использован в повседневном процессе управления электропотреблением пространственно-технологических кластеров техноценоза; наконец, в-шестых, каким образом вообще 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 девяносто девять процентов 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 [1-20], обозначать как Z-потенциал (по первой букве фамилии известного ученого George Kingsley Zipf) и рассчитывать следующим образом:

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

- где ΔW_1 – потенциал энергосбережения техноценоза (рис. 2);
 $W(r)$ – аппроксимационная кривая, полученная для эмпирических значений электропотребления объектов;
 $W_1(r)$ – нижняя граница переменного доверительного интервала, полученная на основе обработки базы данных;
 r – ранг объекта техноценоза.

С целью повышения точности расчетов стандартные процедуры оптимального управления электропотреблением (формирование базы данных, интервальное оценивание, прогнозирование, нормирование и потенцирование электропотребления – рис. 1) дополняются соответствующими тонкими процедурами: верификацией базы данных по электропотреблению, а также дифлекс-, GZ-, ASR- и ZP-анализом (рис. 3).



Рис. 3. Тонкие процедуры оптимального управления электропотреблением техноценоза

Таким образом, тонким дополнением к стандартной процедуре потенцирования является впервые предлагаемый здесь ZP-анализ, под которым понимается тонкая процедура оптимального управления электропотреблением, осуществляемая на этапе потенцирования с целью разработки ZP-плана энергосбережения техноценоза. 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 – когда 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. 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. ZP-нормированием называется процедура пересчета электропотребления объектов внутри функциональных групп техноценоза на основе реально существующих графиков нагрузок и лучших внутригрупповых показателей электропотребления.

На рисунке 4 показана структура ZP-модуля потенцирования техноценоза. Источником данных в модуле выступает база данных техноценоза по электропотреблению, включающая в себя СУБД и банки данных, собираемых как в процессе функционирования техноценоза, так и уже в ходе реализации информационно-аналитического комплекса (данные оргштатной структуры техноценоза, геоинформация, сведения о функциональных группах и лидинговых параметрах, первичные 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.).

Первый элемент ZP-модуля составляет стандартная процедура оптимального управления электропотреблением – потенцирование (рис. 4), которая включает следующие процедуры: выделение подсистем в исходных данных по электропотреблению, построение ранговых распределений, ин-

тервальное оценивание, построение переменных доверительных интервалов и расчет на этой основе Z1-потенциала энергосбережения.

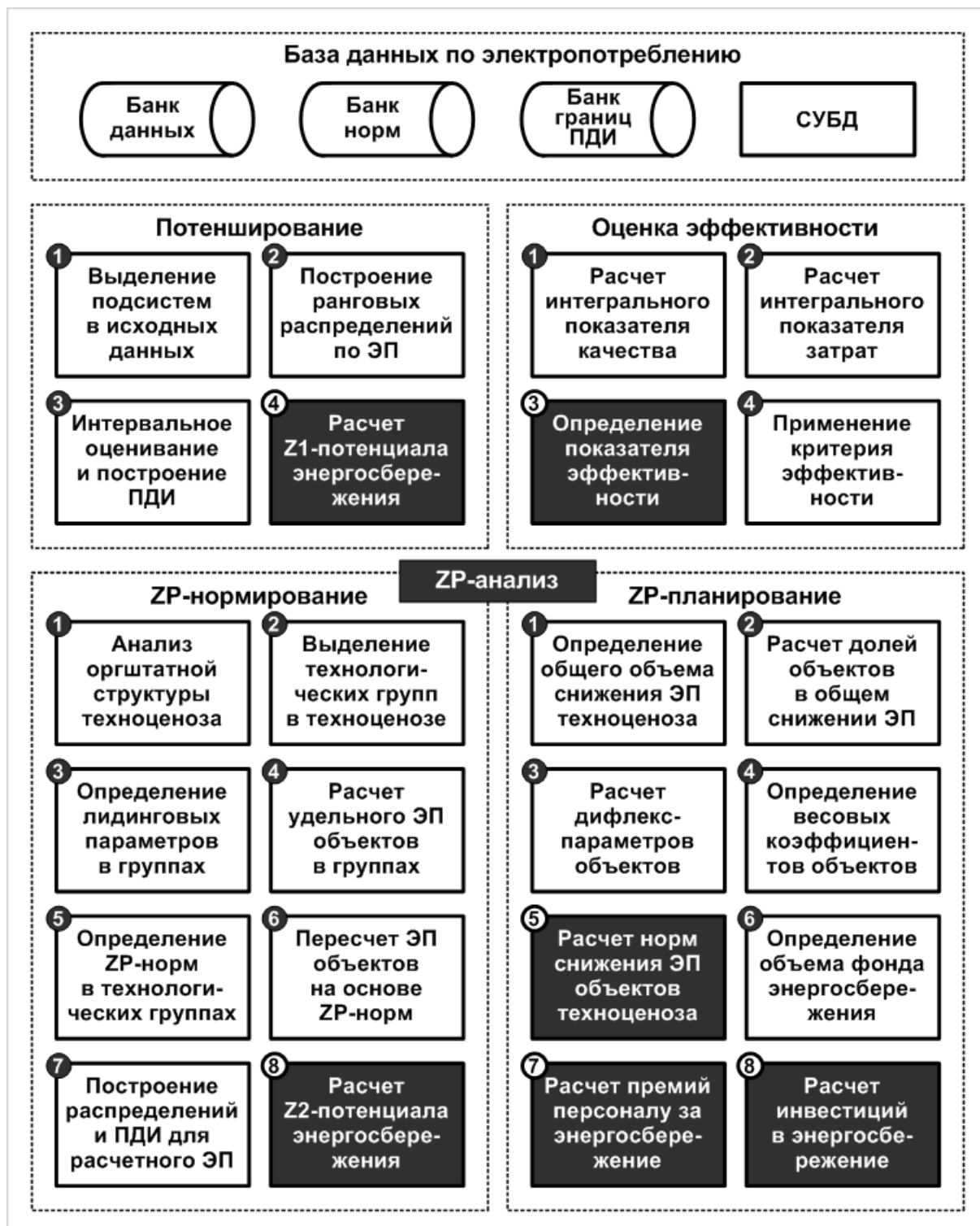


Рис. 4. Структура ZP-модуля потенцирования техноценоза:
 ПДИ – переменный доверительный интервал;
 ЭП – электропотребление

Второй элемент ZP-модуля потенцирования предусматривает оценку эффективности процесса оптимального управления электропотреблением техноценоза, которая осуществляется по итогам применения критерия, основанного на максимизации показателя эффективности, показывающего соотношение интегральных показателей качества и затрат.

Тонким дополнением к стандартной процедуре потенцирования является ZP-анализ (рис. 3), включающий процедуры ZP-нормирования и ZP-планирования, 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 к ним, 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 определяются 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 следующему укрупненному алгоритму (рис. 5). Как уже говорилось, источником данных является 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 прогнозирования (для чисто инерционных вариантов развития) и моделирования (для управляемых вариантов) в рамках процедур методики оптимального управления электропотреблением. Данные расчеты позволяют еще до начала реализа-

ции методики ZP-модуля оценить, прежде всего, инвестиционные перспективы и управленческие возможности техноценоза.

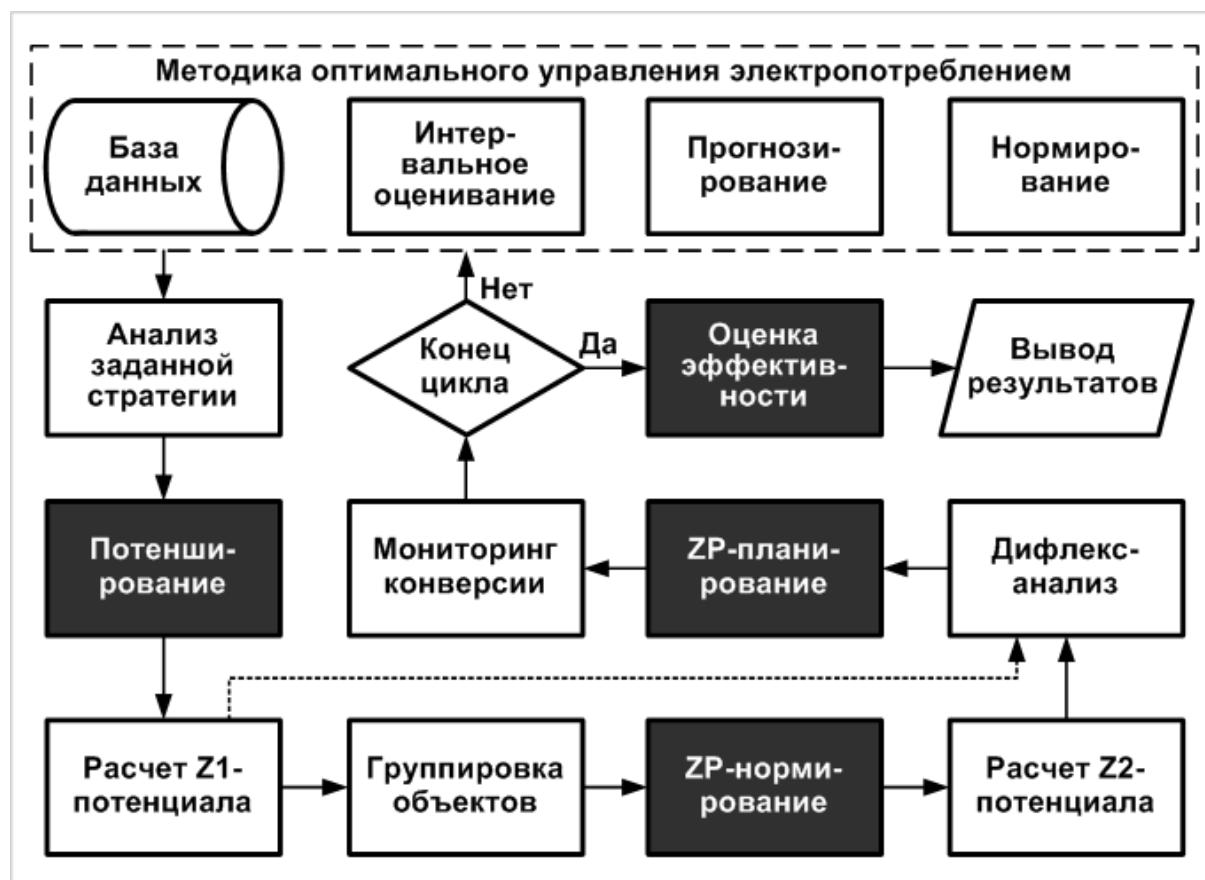


Рис. 5. Алгоритм реализация процедур ZP-модуля

В любом случае все расчетные процедуры цикла реализуются последовательно применительно к одному временному интервалу, начиная с первого, следующего за вектором текущих данных. В цикле последовательно реализуются основные процедуры ZP-модуля: потенцирование, 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. 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 процедура ZP-нормирования, 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.

2. ZP-анализ техноценоза

Перейдем к подробному рассмотрению методик потенширования и ZP-анализа. На рисунке 6 приведена упрощенная структура базы данных.

Ранг	Электропотребление объектов по временным интервалам, кВт·ч										
	...	t-8	t-7	t-6	t-5	t-4	t-3	t-2	t-1	t	t+1
1		W_{18}	W_{17}	W_{16}	W_{15}	W_{14}	W_{13}	W_{12}	W_{11}	W_{10}	?
2	...		W_{27}	W_{26}	W_{25}	W_{24}	W_{23}	W_{22}	W_{21}	W_{20}	?
3	...	W_{38}		W_{36}	W_{35}	W_{34}	W_{33}	W_{32}	W_{31}	W_{30}	?
4	...	W_{48}	W_{47}		W_{45}	W_{44}	W_{43}	W_{42}	W_{41}	W_{40}	?
5	...	W_{58}	W_{57}	W_{56}		W_{54}	W_{53}	W_{52}	W_{51}	W_{50}	?
6	...	W_{68}	W_{67}	W_{66}	W_{65}		W_{63}	W_{62}	W_{61}	W_{60}	?
7	...	W_{78}	W_{77}	W_{76}	W_{75}	W_{74}		W_{72}	W_{71}	W_{70}	?
.....
n-1	...	$W_{(n-1)8}$	$W_{(n-1)7}$	$W_{(n-1)6}$	$W_{(n-1)5}$	$W_{(n-1)4}$	$W_{(n-1)3}$	$W_{(n-1)2}$	$W_{(n-1)1}$	$W_{(n-1)0}$?
n	...	W_{n8}	W_{n7}	W_{n6}	W_{n5}	W_{n4}	W_{n3}	W_{n2}	W_{n1}	W_{n0}	?

Вектор текущих данных

Вектор потенширования

Матрица предыдущих данных

Рис. 6. Структура базы данных техноценоза по электропотреблению:

W_{kv} – электропотребление k-го объекта техноценоза за (t – v)-ый временной интервал (час, день, месяц, год)

Из базы предварительно осуществляется выделение ряда информационных подсистем. Фактические известные данные по электропотреблению в текущем временном интервале (часу, сутках, месяце, году) составляют «Вектор текущих данных». Все остальные известные данные за прошедшие временные интервалы образуют «Матрицу предыдущих данных», которая необходима для построения переменного доверительного интервала по электропотреблению для вектора текущих данных. Значения электропотребления на будущем временном интервале определяются как «Вектор потенцирования». Именно для этих данных определяются Z1-и Z2-потенциалы энергосбережения. В зависимости от целей исследования для определения Z-потенциала и оценки эффективности оптимального управления электропотреблением может быть сформирована матрица модельных значений, как правило, глубиной 5 – 7 временных интервалов.

На первом этапе ZP-анализа осуществляется процедура интервального оценивания [5,7,19,20]. В качестве источника данных используется база данных по электропотреблению за 10 – 15 лет предыстории. Интервальное оценивание проводится с целью определения границ переменного доверительного интервала для вектора потенцирования. Нижняя граница переменного доверительного интервала – гиперболическая кривая, полученная в результате аппроксимации нижних границ 95 %-ых доверительных интервалов, рассчитанных для каждого из рангов рангового параметрического распределения [19,20]. Следует подчеркнуть, что нижняя граница переменного доверительного интервала, построенного для вектора потенцирования, в последующем используется для осуществления ZP-планирования на статистическом материале матрицы предыдущих данных.

Построение доверительного интервала на основе значений электропотребления рангов позволяет учесть системное влияние техноценоза и взаимное влияние объектов друг на друга. Анализ, выполненный для множества объектов различных техноценозов, позволил подтвердить предположение о нормальном распределении значений электропотребления внутри рангов, что дает возможность на основе данных за ряд временных интервалов построить для каждого ранга доверительный интервал [5-13].

Как известно, если Θ^* служит оценкой неизвестного параметра Θ , то доверительным называется интервал $[\Theta^* - \delta, \Theta^* + \delta]$, который покрывает неизвестный параметр с заданной надежностью γ [18,20]:

$$P [\Theta^* - \delta < \Theta < \Theta^* + \delta] = \gamma, \quad (2)$$

где δ – точность оценки.

Если случайная величина X распределена нормально, то по данным выборки объемом n можно ввести случайную величину T , которая имеет распределение Стьюдента с $k = n - 1$ степенями свободы [18,20]:

$$T = \frac{\bar{X} - m}{S/\sqrt{n}}, \quad (3)$$

где \bar{X} – выборочная средняя;
 m – неизвестное математическое ожидание;
 S – исправленное среднее квадратичное отклонение.

Плотность распределения Стьюдента определяется выражением:

$$S(t, n) = \frac{\Gamma(n/2)}{\sqrt{\pi(n-1)} \cdot \Gamma((n-1)/2)} \left(1 + \frac{t^2}{n-1}\right)^{-n/2}, \quad (4)$$

где $\Gamma(x) = \int_0^{\infty} u^{x-1} e^{-u} du$ – гамма-функция (t – табличный аргумент).

Как видно из (4), распределение Стьюдента определяется одним параметром – объемом выборки n и не зависит от неизвестных величин. Так как $S(t, n)$ – четная функция от t , то вероятность неравенства

$$\frac{\bar{X} - m}{S/\sqrt{n}} < t_\gamma \quad (5)$$

определяется следующим условием:

$$P\left(\left|\frac{\bar{X} - m}{S/\sqrt{n}}\right| < t_\gamma\right) = 2 \int_0^{t_\gamma} S(t, n) dt = \gamma. \quad (6)$$

При замене строгого неравенства в выражении (5) двойным неравенством, а также с учетом уравнения (6) получаем вероятностную оценку неизвестного математического ожидания m с надежностью γ :

$$P(\bar{X} - t_\gamma S/\sqrt{n} < m < \bar{X} + t_\gamma S/\sqrt{n}) = \gamma. \quad (7)$$

При замене случайных величин \bar{X} и S неслучайными величинами \bar{x} и s , найденными по выборке, получается доверительный интервал, покрывающий неизвестный параметр m с надежностью γ (рис. 7):

$$((\bar{x} - t_\gamma s / \sqrt{n}), (\bar{x} + t_\gamma s / \sqrt{n})), \quad (8)$$

где s – выборочное среднее квадратичное отклонение;
 \bar{x} – выборочное среднее (находится по выборке);
 t_γ – аргумент (находится таблично по заданным n и γ).

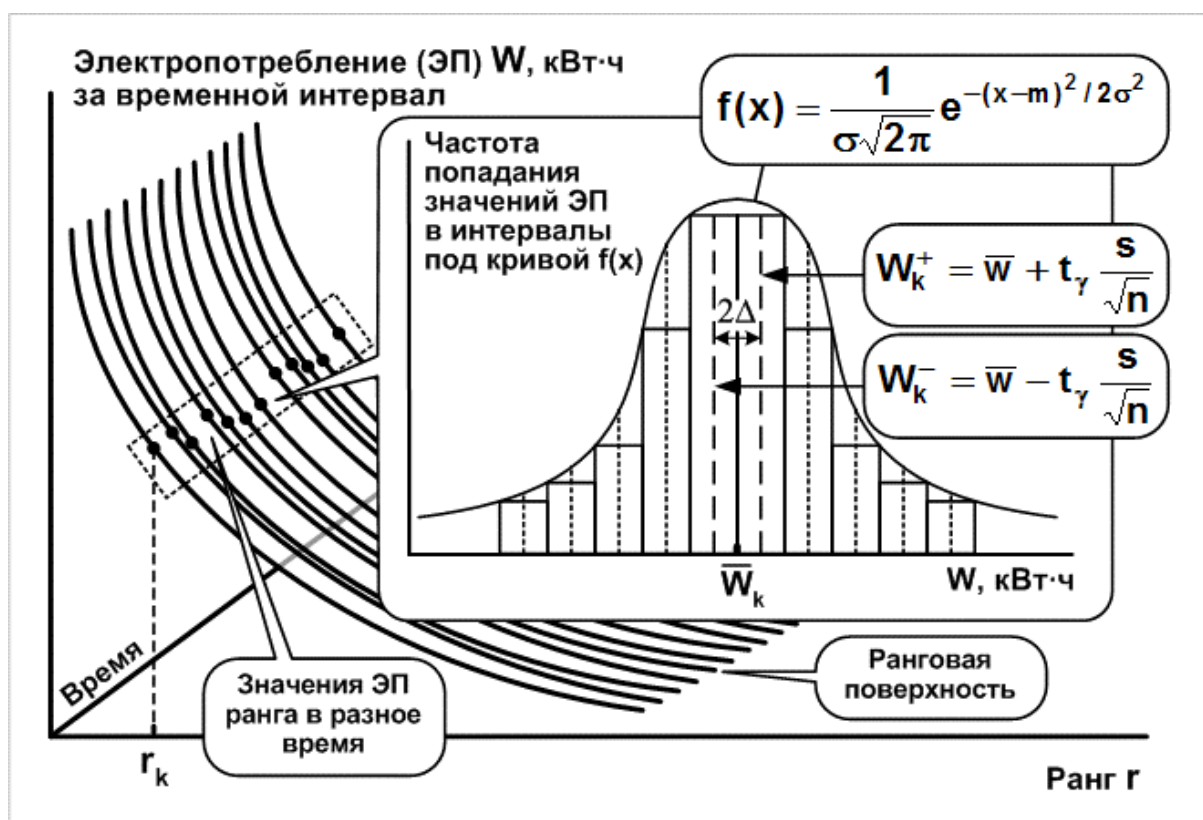


Рис. 7. Границы доверительных интервалов рангов техноценоза

Данный подход для построения доверительных интервалов имеет следующие преимущества: возможность применения для выборок с малым объемом ($n < 30$), а также отсутствие неизвестных параметров распределения. В наших исследованиях неизвестным параметром для фиксированного ранга является истинное электропотребление W , а его оценкой выступает выборочное среднее значение электропотребления \bar{w} .

После аппроксимации границ переменных доверительных интервалов осуществляется расчет Z1- и Z2-потенциалов энергосбережения техноценоза (рис. 8). При этом используются выражения, аналогичные (1):

$$\begin{cases} \Delta W_1 = \int_0^{\infty} W(r)dr - \int_0^{\infty} W_1(r)dr; \\ \Delta W_2 = \int_0^{\infty} W(r)dr - \int_0^{\infty} W_2(r)dr, \end{cases} \quad (9)$$

- где
- ΔW_1 – Z1-потенциал энергосбережения техноценоза;
 - ΔW_2 – Z2-потенциал энергосбережения техноценоза;
 - $W(r)$ – аппроксимационная кривая, полученная для эмпирических значений электропотребления объектов;
 - r – ранг объекта техноценоза;
 - $W_1(r)$ – ранговое параметрическое распределение, соответствующее нижней границе переменного доверительного интервала, полученного в процедуре интервального оценивания на основе матрицы предыдущих данных;
 - $W_2(r)$ – ранговое параметрическое распределение, соответствующее нижней границе переменного доверительного интервала, полученного в процедуре интервального оценивания после ZP-нормирования.

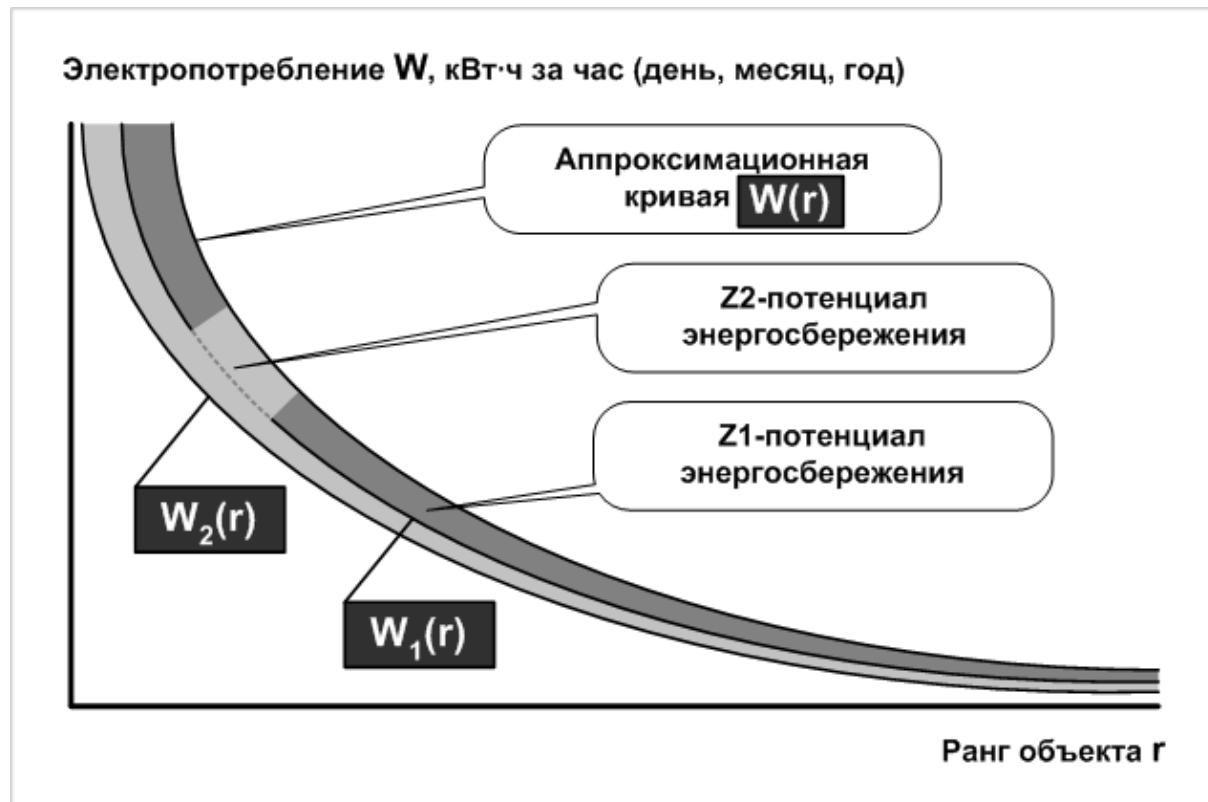


Рис. 8. Z1- и Z2-потенциалы энергосбережения техноценоза

Рассмотрим процедуру ZP-нормирования, суть которой заключается в пересчете электропотребления объектов внутри функциональных групп техноценоза на основе реально существующих графиков нагрузок и лучших внутригрупповых показателей электропотребления, что, в свою очередь, позволяет рассчитать новый переменный доверительный интервал, нижняя граница которого используется при оценке Z2-потенциала.

В первую очередь необходимо проклассифицировать все объекты техноценоза по их основному функциональному предназначению и сформировать соответствующие функциональные группы. Вспомним, что изначально в базе хранятся упорядоченные по организационно-штатной структуре данные по электропотреблению объектов техноценоза. Для отдельно взятого временного интервала (часа, дня, месяца, года) можно сделать упорядоченную выборку значений электропотребления:

$$\{W^{org_1}, W^{org_2}, W^{org_3}, \dots, W^{org_i}, \dots, W^{org_n}\}, \quad (10)$$

где W^{org_i} – электропотребление i -го (в организационно-штатной структуре) объекта техноценоза, измеряемое в кВт·ч за временной интервал (час, день, месяц, год);
 org_i – идентификатор, предназначенный для фиксации объекта в организационно-штатной структуре техноценоза;
 i – номер объекта в организационно-штатной структуре;
 n – общее количество объектов в техноценозе.

Операция ранжирования в рамках каждого временного интервала позволяет упорядочить объекты техноценоза по возрастанию их электропотребления и присвоить каждому ранг. При этом получается двумерная матрица (см. рис. б), из которой для отдельно взятого временного интервала можно сделать упорядоченную выборку значений электропотребления (вектор рангового параметрического распределения):

$$\{(W_1, r_1 = 1); (W_2, r_2 = 2); (W_3, r_3 = 3); \dots; (W_k, r_k); \dots; (W_n, r_n)\}, \quad (11)$$

где W_k – электропотребление объекта k -го ранга;
 r_k – k -ый параметрический ранг техноценоза.

Следует отметить, что, наряду с вектором-выборкой (11), необходимо хранить соответствующий вектор идентификаторов, позволяющий отследить место объекта в первоначальной организационно-штатной структуре техноценоза (значения идентификаторов берутся из (10)).

Распределение объектов техноценоза по функциональным группам осуществляется с учетом, так называемых, лидинговых параметров:

$$\left\{ \begin{array}{l} \{(W_{11}, r_{11}, L_{11}); (W_{21}, r_{21}, L_{21}) \dots (W_{p_1 1}, r_{p_1 1}, L_{p_1 1}) \dots (W_{m_1 1}, r_{m_1 1}, L_{m_1 1})\}; \\ \{(W_{12}, r_{12}, L_{12}); (W_{22}, r_{22}, L_{22}) \dots (W_{p_2 2}, r_{p_2 2}, L_{p_2 2}) \dots (W_{m_2 2}, r_{m_2 2}, L_{m_2 2})\}; \\ \{(W_{13}, r_{13}, L_{13}); (W_{23}, r_{23}, L_{23}) \dots (W_{p_3 3}, r_{p_3 3}, L_{p_3 3}) \dots (W_{m_3 3}, r_{m_3 3}, L_{m_3 3})\}; \\ \dots \\ \{(W_{1j}, r_{1j}, L_{1j}); (W_{2j}, r_{2j}, L_{2j}) \dots (W_{p_j j}, r_{p_j j}, L_{p_j j}) \dots (W_{m_j j}, r_{m_j j}, L_{m_j j})\}; \\ \dots \\ \{(W_{1s}, r_{1s}, L_{1s}); (W_{2s}, r_{2s}, L_{2s}) \dots (W_{p_s s}, r_{p_s s}, L_{p_s s}) \dots (W_{m_s s}, r_{m_s s}, L_{m_s s})\}, \end{array} \right. \quad (12)$$

- где $W_{p_j j}$ – электропотребление p -го объекта в j -ой группе;
 $r_{p_j j}$ – ранг p -го объекта в j -ой функциональной группе;
 $L_{p_j j}$ – значение j -го лидингового параметра p -го объекта;
 p_j – внутригрупповой номер p -го объекта в j -ой группе;
 m_j – общее количество объектов в j -ой группе;
 s – общее количество функциональных групп.

К распределению (12) следует дать ряд пояснений. Во-первых, электропотребление соответствующего объекта, а также ранг, закрепленный за ним в ранговом параметрическом распределении (11), сохраняются и при функциональной группировке, которая лишь перераспределяет объекты по группам. Во-вторых, используемый в (12) внутригрупповой номер p -го объекта в j -ой группе p_j не соответствует индексации, применяемой в распределении (11). Это делает необходимым хранение матрицы идентификаторов соответствия распределений, однако, в любом случае, должно вы-

полняться условие, заключающееся в том, что $\sum_{j=1}^s \sum_{p=1}^{m_j} p_j = n$. В-третьих, ко-

личество объектов в отдельных функциональных группах, практически всегда, существенно различается. В-четвертых, значения лидинговых параметров отдельных объектов внутри каждой группы различаются количественно, а сами параметры, при переходе от одной группы к другой, как правило, изменяются качественно (с точки зрения их физической сути).

Дадим определение. Под лидинговым параметром понимается величина, характеризующая основное общее свойство объектов техноценоза,

входящих в одну функциональную группу. По сути, функциональная группировка объектов осуществляется именно по признаку общности параметра, описывающего их основное свойство с точки зрения функционального предназначения, т.е. лидингового параметра. Примерами лидинговых параметров могут служить следующие: на предприятиях – тонны выплавленного металла, тысячи штук произведенной продукции, кубометры извлеченной породы; в организациях – количество квадратных метров офисных или складских площадей, число сотрудников или обучающихся, количество больничных или гостиничных койко-мест; в ЖКХ – кубометры перекачанной воды, гигакалории тепла, жилые площади; в обороне – число единиц основной боевой техники, количество военнослужащих, боевые возможности, мощность радиопередающих устройств и т.д. Следует, однако, подчеркнуть, что в процессе функциональной группировки учитывается не только физическая суть лидингового параметра, но и специфика объектов, как с точки зрения организационно-штатной структуры, так и особенностей их функционирования в техноценозе.

Итак, на первом этапе ZP-нормирования осуществляется функциональная группировка объектов техноценоза. После этого в каждой функциональной группе для каждого объекта вычисляется удельное электропотребление как отношение значения абсолютного электропотребления к величине лидингового параметра. Еще раз подчеркнем, что все операции ZP-нормирования выполняются для каждого временного интервала в отдельности. Запишем выражение для расчета удельного электропотребления:

$$\overline{W}_{p,j} = \frac{W_{p,j}}{L_{p,j}}, \quad (13)$$

где $\overline{W}_{p,j}$ – удельное электропотребление p -го объекта в j -ой группе.

Далее в каждой функциональной группе определяется объект, обладающий минимальным значением удельного электропотребления. Суть ZP-нормирования заключается в том что, полагая минимальное значение внутри функциональной группы в качестве образцового, мы осуществляем пересчет электропотребления каждого объекта в предположении, что он стал потреблять электроэнергию столь же эффективно, как и образцовый объект группы. При этом графики нагрузки объектов не меняются, что позволяет пересчет осуществлять упрощенно следующим образом:

$$W_{p,j}^* = \overline{W}_j^{\min} \cdot L_{p,j}, \quad (14)$$

где $W_{p,j}^*$ – расчетное электропотребление p -го объекта в j -ой группе после операции ZP-нормирования;
 \overline{W}_j^{\min} – образцовое (минимальное) удельное электропотребление j -ой группы объектов.

Из полученных расчетных значений электропотребления объектов техноценоза для каждого рассматриваемого временного интервала формируется новый вектор рангового параметрического распределения:

$$\{(W_1^*, r_1 = 1); (W_2^*, r_2 = 2); (W_3^*, r_3 = 3); \dots; (W_k^*, r_k); \dots; (W_n^*, r_n)\}, \quad (15)$$

где W_k^* – расчетное электропотребление объекта k -го ранга;
 r_k – k -ый параметрический ранг техноценоза.

Необходимо отметить, что индексация в последнем выражении не совпадает с (12), а само ранговое параметрическое распределение (15), в общем случае, не соответствует исходному распределению (11). Другими словами, на данном этапе ZP-нормирования объекты, независимо от функциональных групп, вновь ранжируются в порядке возрастания уже пересчитанных по (14) значений электропотребления. А, учитывая, что в распределении (15) объекты могут иметь ранги, отличные от (11), для сохранения целостности данных возникает необходимость создания еще одной матрицы соответствия (на этот раз – параметрических рангов).

После получения ранговых параметрических распределений по пересчитанным значениям электропотребления для каждого исследуемого временного интервала осуществляется их аппроксимация и построение переменного доверительного интервала. Методика аппроксимации изложена в работе [20], а порядок расчета переменного доверительного интервала – здесь в выражениях (2) – (8) (см. также рис. 6 и 7). Нижняя граница полученного переменного доверительного интервала позволяет по выражению (9) рассчитать Z2-потенциал энергосбережения техноценоза на расчетный текущий временной интервал (рис. 8). Очевидно, что нижняя граница переменного доверительного интервала, построенного по результатам процедуры ZP-нормирования, будет располагаться ниже, чем соответствующая граница, построенная по эмпирическим данным (рис. 2 и 8). Следовательно, Z2-потенциал энергосбережения будет больше, чем Z1-потенциал, что позволяет построить двухэтапную методику снижения электропотребления объектов техноценоза. Первый этап будет предполагать реализацию управленческих процедур, нацеленных на снижение электропотребления исключительно за счет организационных мероприятий. После исчерпания Z1-потенциала, должны включаться новые резервы энергосбережения, связанные с модернизацией электрооборудования, осуществляемого, в основ-

ном, за счет уже имеющихся в техноценозе технических решений, обладающих лучшими показателями энергоэффективности. Плановая реализация управленческих процедур позволит существенно понизить электропотребление техноценоза в пределах Z2-потенциала. При этом, учитывая то, что управленческие процедуры на обоих этапах реализуются в рамках переменного доверительного интервала, существует гарантия, что снижение электропотребления никогда не нарушит нормальный технологический процесс функционирования объектов техноценоза.

Таким образом, ZP-нормирование составляет первый этап процедуры ZP-анализа. На втором этапе осуществляется ZP-планирование, в основе которого лежат процедуры разработки ZP-плана и мониторинга результативности процесса энергосбережения с помощью показателя конверсии. Для того чтобы перейти к прикладным процедурам ZP-планирования, необходимо прежде исследовать понятия эффективности и оптимизации, которые, применительно к процессу управления электропотреблением техноценоза, основываются на динамическом моделировании.

3. Динамическое моделирование электропотребления

Недостатками существующей методологии, основанной на статической модели (рис. 1) [9,10], являются короткий горизонт прогнозирования, а также невозможность реализации критериев, основанных на корректном сравнении вариантов управления электропотреблением. Устранение указанных недостатков возможно при условии создания динамической адаптивной модели, отражающей процесс электропотребления техноценоза на среднесрочную перспективу (5 – 7 временных интервалов). Ключевым в модели является наличие динамической обратной связи, корректирующей базу данных по электропотреблению на основе результатов текущего моделирования. Динамический характер ей придает система входных параметров и стохастический аналитический аппарат, основанный на имитационных принципах моделирования. Корректирующее воздействие заключается в дополнении исходной базы данных модели, реализованной на предыдущих временных шагах, информацией об электропотреблении объектов техноценоза на последующих временных шагах (рис. 9).

Моделирование электропотребления объектов техноценоза осуществляется с использованием стандартных преобразующих функций [16,20]:

$$x = \varphi(\eta), \quad (16)$$

получаемых путем нелинейного преобразования функций распределения $F(x)$, т.е. решения относительно базовой случайной величины x уравнения:

$$\eta = \int_{-\infty}^x F(y)dy, \quad (17)$$

где η – случайное число, равномерно распределенное в интервале от 0 до 1, генерируемое датчиком случайных чисел;
 y – абстрактная переменная интегрирования.



Рис. 9. Алгоритм реализации динамической модели

Функции плотности распределения вероятностей электропотребления при моделировании выбираются следующим образом. Если на объект со стороны системы управления не оказывается управляющее воздействие, то используется нормальный закон, если подобное воздействие оказывается – применяется закон Вейбулла – Гнеденко (рис. 10).

Итак, если электропотребление моделируется без управляющего воздействия, то используется нормальный закон с плотностью [16,20]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}, \quad (18)$$

где

$$m_x = M^1 = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx \quad - \text{ первый начальный момент распределения;}$$

$$\sigma_x = \sqrt{D^1} = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^2 f(x) dx} \quad - \text{ среднее квадратичное отклонение;}$$

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{x-m_x}{\sigma_x}} e^{-\frac{y^2}{2}} dy \quad - \text{ функция распределения.}$$



Рис. 10. Законы распределения, используемые для моделирования электропотребления

При наличии управляющего воздействия для моделирования используется закон Вейбулла – Гнеденко с плотностью [16,20]:

$$f(x) = \begin{cases} \alpha \lambda x^{\alpha-1} e^{-\lambda x^\alpha}, & x > 0; \\ 0, & x \leq 0, \end{cases} \quad (19)$$

где α, λ – параметры распределения ($\alpha, \lambda > 0$);

$$M^k = \lambda^{-\frac{k}{\alpha}} \Gamma\left(\frac{k}{\alpha} + 1\right) \quad \text{– } k\text{-ый начальный момент;}$$

$$D = \lambda^{-\frac{2}{\alpha}} \left(\frac{2}{\alpha} \Gamma\left(\frac{2}{\alpha}\right) - \frac{1}{\alpha^2} \Gamma^2\left(\frac{1}{\alpha}\right) \right) \quad \text{– центральный момент;}$$

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} x^{x-1} e^{-y} dy \quad \text{– гамма-функция Эйлера [16].}$$

В ходе модельной реализации процесса электропотребления объектов техноценоза преобразующая функция общего вида (выражение (16)) используется следующим образом:

- для нормального распределения:

$$w = m_w + \sigma_w \varphi_n(\eta, m_1, \sigma_1), \quad (20)$$

где w – модельное значение электропотребления объекта техноценоза;

m_w, σ_w – математическое ожидание (среднее) и среднее квадратичное отклонение (стандарт) электропотребления, получаемые для объектов в ходе процедуры прогнозирования;

$\varphi_n(\eta, m_1, \sigma_1)$ – преобразующая функция нормального распределения с параметрами (m_1, σ_1) ;

$w = m_w + \sigma_w \xi$ – простейшая преобразующая функция, в которой используется генерируемое случайное число ξ , распределенное по нормальному закону с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1;

- для распределения Вейбулла – Гнеденко:

$$w = m_w + \sigma_w (\varphi_v(\eta, \alpha, \lambda) - 1), \quad (21)$$

где $\varphi_v(\eta, \alpha, \lambda)$ – преобразующая функция Вейбулла – Гнеденко с параметрами α, λ ;

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru