

## 5.2. ZP-анализ техноценоза

Перейдем к более подробному рассмотрению методик потенширования и ZP-анализа. На рисунке 5.6 приведена упрощенная структура базы данных объектов техноценоза по электропотреблению за определенное количество временных интервалов (часов, дней, месяцев, лет).

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	...	$W_{n8}$	$W_{n7}$	$W_{n6}$	$W_{n5}$	$W_{n4}$	$W_{n3}$	$W_{n2}$	$W_{n1}$	$W_{n0}$	?

Рис. 5.6. 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 потенширования». 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 [83,86,106,108], под которой понимается процедура оптимального управления ресурсами техноценоза, заключающаяся в определении точек эмпирического рангового параметрического распределения по исследуемому функциональному параметру, выходящих за пределы гауссового переменного доверительного интервала, построенного относительно аппроксимационной кривой распределения. Точки, выходящие за пределы доверительного интервала, фиксируют объекты техноценоза, аномально потребляющие ресурс. При этом если точка находится ниже доверительного интервала, то считается, что объект потребляет ресурсы аномально мало, а если выше интервала, – то аномально много. В обоих случаях объект нуждается в углубленном обследовании с целью выявления причин его аномального состояния. Для более тонкой настройки процедур управления ресурсопотреблением на этапе интервального оценивания проводится дифлекс-анализ рангового распределения. Его целью является разработка оптимального плана углубленных обследований «аномальных» объектов на среднесрочную перспективу (до 5 – 7 лет). При этом предполагается, что основным индикатором дифлекс-анализа является отклонение эмпирического значения ресурсопотребления «аномального» объекта от верхней границы переменного доверительного интервала.

В данном случае 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. Следует подчеркнуть, что нижняя граница переменного доверительного интервала, построенного для вектора потенцирования, в последующем используется для ZP-планирования на статистическом материале матрицы предыдущих данных [83,86,106,108].

Построение доверительного интервала на основе значений электропотребления рангов позволяет учесть системное влияние техноценоза на объекты, объектов на техноценоз, а также множественное взаимное влияние объектов друг на друга. Анализ, выполненный для значительного числа разнородных объектов различных техноценозов из разнообразных областей, позволил подтвердить сделанное ранее предположение о нормальном распределении значений электропотребления внутри рангов, что дает возможность на основе эмпирических данных за ряд временных интервалов построить для каждого ранга доверительный интервал [86,108].

Как известно, если  $\Theta^*$  служит оценкой неизвестного параметра  $\Theta$ , то доверительным называется интервал  $[\Theta^* - \delta, \Theta^* + \delta]$ , который покрывает неизвестный параметр с заданной надежностью  $\gamma$  [86,108]:

$$P [\Theta^* - \delta < \Theta < \Theta^* + \delta] = \gamma, \quad (5.2)$$

где  $\delta$  – 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 [86,108]:

$$T = \frac{\bar{X} - m}{S/\sqrt{n}}, \quad (5.3)$$

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

Плотность распределения Стьюдента определяется выражением:

$$S(t, n) = \frac{\Gamma(n/2)}{\sqrt{\pi(n-1)} \cdot \Gamma((n-1)/2)} \left(1 + \frac{t^2}{n-1}\right)^{-n/2}, \quad (5.4)$$

где  $\Gamma(x) = \int_0^{\infty} u^{x-1} e^{-u} du$  – гамма-функция ( $t$  – табличный [190]).

Как видно из (5.4), 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

$$\frac{\bar{X} - m}{S/\sqrt{n}} < t_\gamma \text{ определяется следующим условием:} \quad (5.5)$$

$$P \left( \left| \frac{\bar{X} - m}{S/\sqrt{n}} \right| < t_\gamma \right) = 2 \int_0^{t_\gamma} S(t, n) dt = \gamma. \quad (5.6)$$

При замене строгого неравенства в выражении (5.5) двойным неравенством, а также с учетом уравнения (5.6) получаем вероятностную оценку неизвестного математического ожидания  $m$  с надежностью  $\gamma$  :

$$P(\bar{X} - t_\gamma S / \sqrt{n} < m < \bar{X} + t_\gamma S / \sqrt{n}) = \gamma. \tag{5.7}$$

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  $\gamma$  (рис. 5.7):

$$((\bar{X} - t_\gamma s / \sqrt{n}), (\bar{X} + t_\gamma s / \sqrt{n})), \tag{5.8}$$

где  $s$  – выборочное среднее квадратичное отклонение;  
 $\bar{X}$  – выборочное среднее (находится по выборке);  
 $t_\gamma$  – аргумент (находится таблично [190] по заданным  $n$  и  $\gamma$ ).

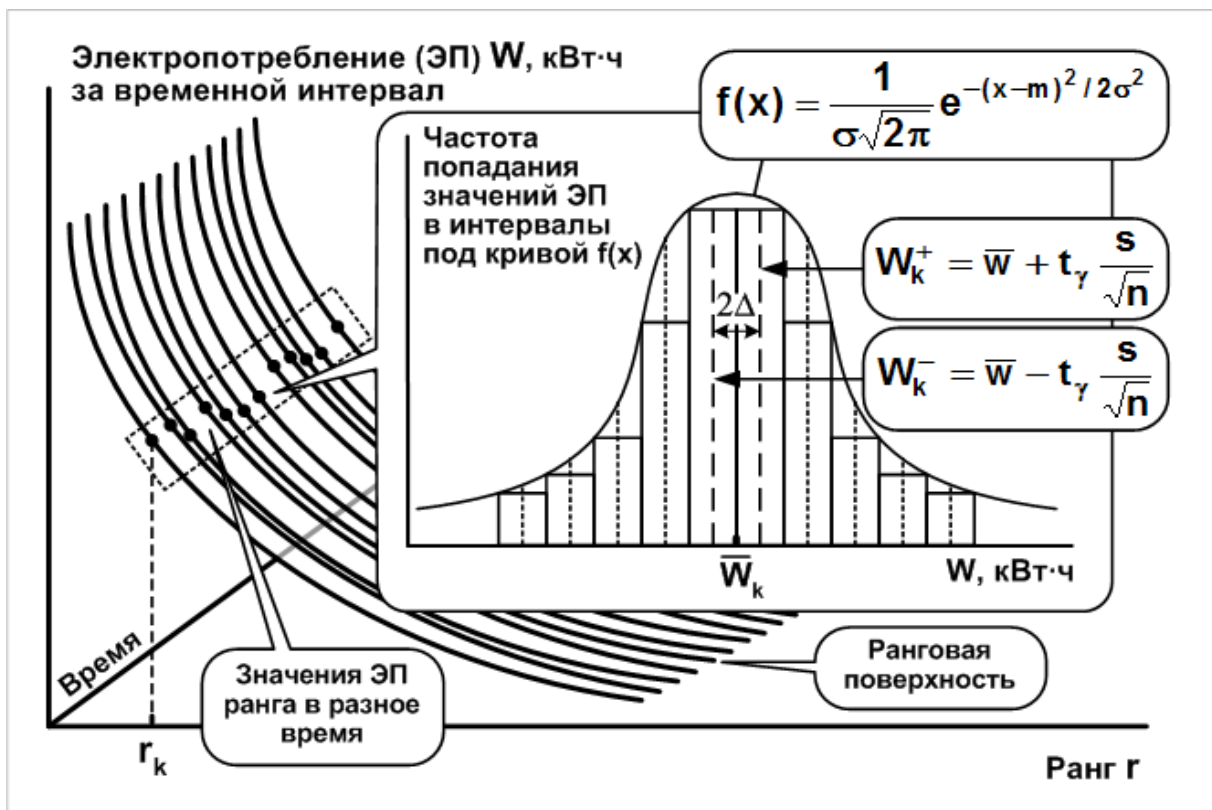


Рис. 5.7. Границы доверительных интервалов рангов техноценоза

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  $\bar{w}$  [83,86,106,108].

После аппроксимации границ доверительных интервалов осуществляется расчет Z1- и Z2-потенциалов энергосбережения (рис. 5.8).

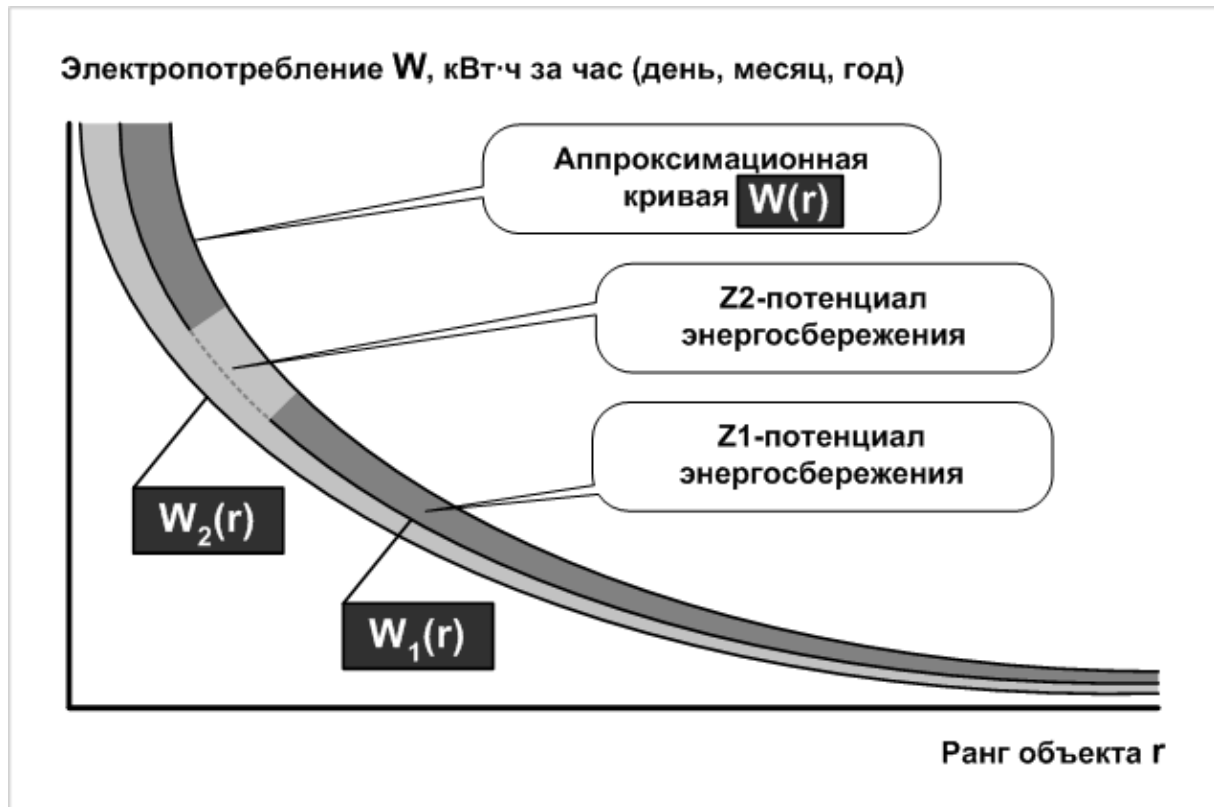


Рис. 5.8. Z1- и Z2-потенциалы энергосбережения техноценоза:

$W_1(r)$  и  $W_2(r)$  – нижние аппроксимационные границы соответствующих потенциалов

Вспомним, что потенциал энергосбережения – полученная в результате моделирования на расчетную глубину времени абсолютная разница между электропотреблением техноценоза без реализации энергосберегающих 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 кривой рангового параметрического распределения (или под границей интервала). Потенциал энергосбережения обладает структурными свойствами, под которыми понимается наличие уровней Z1- и Z2-потенциала, границы которых устойчивы во времени и определены действующими в системе вероятностными закономерностями, порожденными сложным процессом взаимовлияния техноценоза на объек-

ты и каждого из объектов на техноценоз в целом. Следовательно, в процессе расчетов Z1- и Z2-потенциалов энергосбережения техноценоза используются выражения, аналогичные (5.1) [83,86,106,108]:

$$\begin{cases} \Delta W_1 = \int_0^{\infty} W(r)dr - \int_0^{\infty} W_1(r)dr; \\ \Delta W_2 = \int_0^{\infty} W(r)dr - \int_0^{\infty} W_2(r)dr, \end{cases} \quad (5.9)$$

- где
- $\Delta W_1$  – Z1-потенциал энергосбережения техноценоза;
  - $\Delta W_2$  – 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.

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 объектов техноценоза с учетом их распределения в оргштатной структуре [106,108]:

$$\{W^{org_1}, W^{org_2}, W^{org_3}, \dots, W^{org_i}, \dots, W^{org_n}\}, \quad (5.10)$$

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. 5.6), из которой для отдельно взятого временного интервала можно сделать упорядоченную выборку значений электропотребления (вектор рангового параметрического распределения):

$$\{(W_1, r_1 = 1); (W_2, r_2 = 2); (W_3, r_3 = 3); \dots; (W_k, r_k); \dots; (W_n, r_n)\}, \quad (5.11)$$

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

Следует отметить, что, наряду с вектором-выборкой (5.11), необходимо хранить соответствующий вектор идентификаторов, позволяющий отследить место объекта в первоначальной организационно-штатной структуре техноценоза (значения идентификаторов берутся из (5.10)).

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

$$\left\{ \begin{array}{l} \{(W_{11}, r_{11}, L_{11}); (W_{21}, r_{21}, L_{21}) \dots (W_{p_1 1}, r_{p_1 1}, L_{p_1 1}) \dots (W_{m_1 1}, r_{m_1 1}, L_{m_1 1})\}; \\ \{(W_{12}, r_{12}, L_{12}); (W_{22}, r_{22}, L_{22}) \dots (W_{p_2 2}, r_{p_2 2}, L_{p_2 2}) \dots (W_{m_2 2}, r_{m_2 2}, L_{m_2 2})\}; \\ \{(W_{13}, r_{13}, L_{13}); (W_{23}, r_{23}, L_{23}) \dots (W_{p_3 3}, r_{p_3 3}, L_{p_3 3}) \dots (W_{m_3 3}, r_{m_3 3}, L_{m_3 3})\}; \\ \dots \\ \{(W_{1j}, r_{1j}, L_{1j}); (W_{2j}, r_{2j}, L_{2j}) \dots (W_{p_j j}, r_{p_j j}, L_{p_j j}) \dots (W_{m_j j}, r_{m_j j}, L_{m_j j})\}; \\ \dots \\ \{(W_{1s}, r_{1s}, L_{1s}); (W_{2s}, r_{2s}, L_{2s}) \dots (W_{p_s s}, r_{p_s s}, L_{p_s s}) \dots (W_{m_s s}, r_{m_s s}, L_{m_s s})\}, \end{array} \right. \quad (5.12)$$

где  $W_{p_j j}$  – электропотребление  $p$ -го объекта в  $j$ -ой группе;

- $r_{p;j}$  – ранг  $p$ -го объекта в  $j$ -ой функциональной группе;  
 $L_{p;j}$  – 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 (5.12) следует дать ряд пояснений. Во-первых, электропотребление соответствующего объекта, а также ранг, закрепленный за ним в ранговом параметрическом распределении (5.11), сохраняются и при функциональной группировке, которая лишь перераспределяет объекты по группам. Во-вторых, используемый в (5.12) внутригрупповой номер  $p$ -го объекта в  $j$ -ой группе  $p_j$  не соответствует индексации, применяемой в (5.11). Это делает необходимым хранение матрицы идентификаторов соответствия распределений, однако, в любом случае, должно выполняться условие, заключаю-

щееся в том, что  $\sum_{j=1}^s \left( \sum_{p=1}^{m_j} p_j \right) = n$ . В-третьих, количество объектов в от-

дельных 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) [83,86,106,108].

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 [83,86,106,108].

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:

$$\overline{W}_{p,j} = \frac{W_{p,j}}{L_{p,j}}, \quad (5.13)$$

где  $\overline{W}_{p,j}$  – удельное электропотребление  $p$ -го объекта техноценоза в  $j$ -ой функциональной 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:

$$W_{p,j}^* = \overline{W}_j^{\min} \cdot L_{p,j}, \quad (5.14)$$

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 техноценоза.

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

$$\{(W_1^*, r_1 = 1); (W_2^*, r_2 = 2); (W_3^*, r_3 = 3); \dots; (W_k^*, r_k); \dots; (W_n^*, r_n)\}, \quad (5.15)$$

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 (5.12), а само ранговое параметрическое распределение (5.15), в общем случае, не соответствует исходному распределению (5.11). Другими словами, на данном этапе ZP-нормирования объекты, независимо от функциональных групп, вновь ранжируются в порядке возрастания уже пересчитанных по (5.14) значений электропотребления. А учитывая, что в распределении (5.15) объекты могут иметь ранги, отличные от (5.11), 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 [83,86,108], а порядок расчета интервала – в (5.2) – (5.8) (см. рис. 5.6 и 5.7). Нижняя граница полученного переменного доверительного интервала позволяет по (5.9) рассчитать Z2-потенциал энергосбережения техноценоза на расчетный текущий временной интервал (рис. 5.8). Очевидно, что нижняя граница переменного доверительного интервала, построенного по результатам процедуры ZP-нормирования, будет располагаться ниже, чем соответствующая граница, построенная по эмпирическим данным (рис. 5.2 и 5.8). 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 за счет уже имеющихся в техноценозе технических решений, обладающих лучшими показателями энергоэффективности. Плановая реализация управленческих процедур позволит существенно понизить электропотребление 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 [86,88,106,108-112,115,116].

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 основываются на динамическом моделировании.

[\[На следующую страницу\]](#)