4.6. ASR-анализ и нормирование электропотребления

На этапе статистического анализа осуществляется обработка данных по электропотреблению, которая включает взаимосвязанные процедуры рангового анализа (формирования базы данных, интервального оценивания, прогнозирования и нормирования). Стандартные процедуры рангового анализа дополняются соответствующими тонкими процедурами: верификацией базы данных, а также дифлекс-, GZ- и ASR-анализом рангового параметрического распределения. В настоящем параграфе рассмотрим более подробно предельный алгоритм нормирования электропотребления как одну из форм реализации ASR-анализа – тонкой процедуры рангового анализа, уточняющей нормирование (рис. 4.44) [83,86,88,100-102,108].

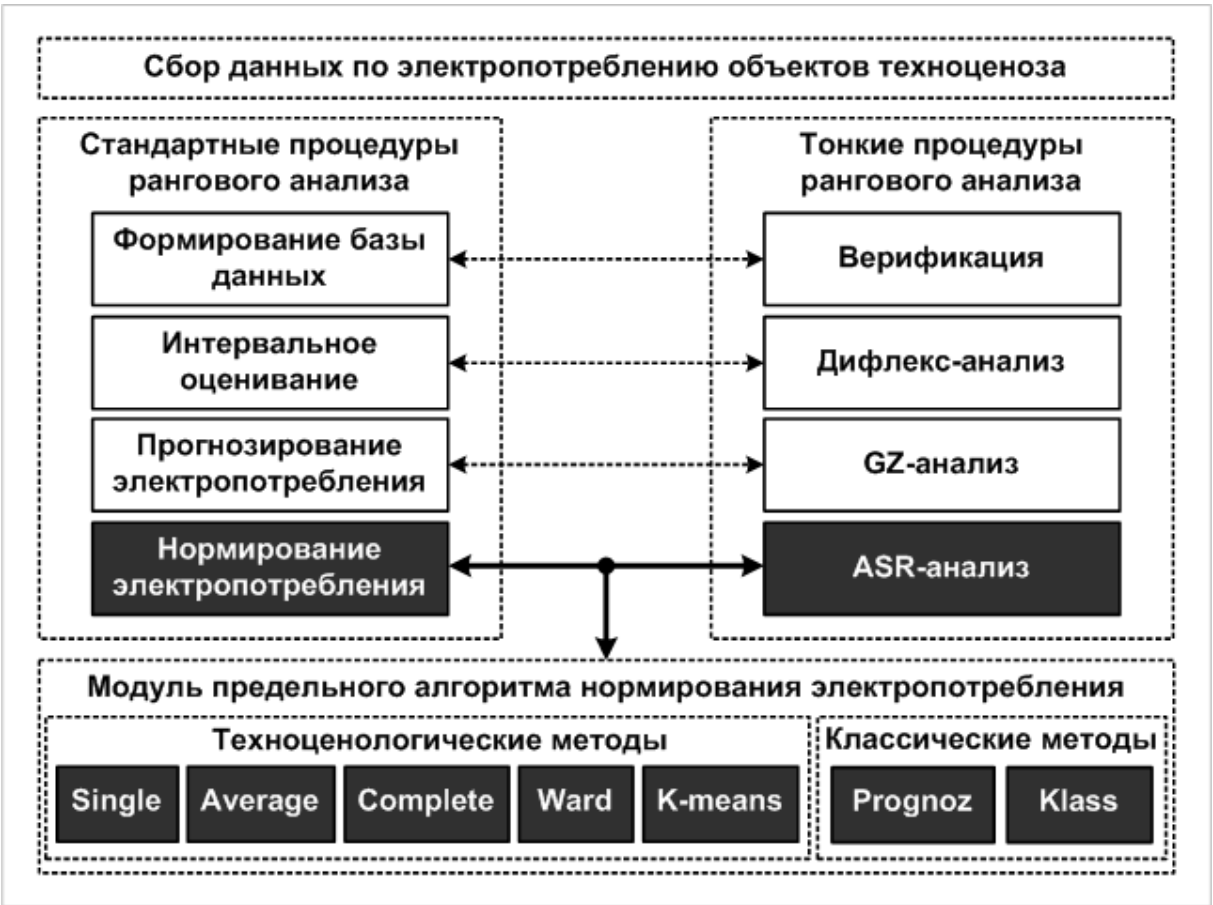

Рис. 4.44. Стандартные и тонкие процедуры рангового анализа

В рамках техноценологического подхода нормирование – процедура оптимального управления ресурсами техноценоза, заключающаяся в определении статистических параметров (эмпирического среднего и стандарта) кластеров техноценоза, выделенных на ранговом параметрическом распределении по исследуемому функциональному параметру. Классификация

объектов техноценоза осуществляется методами кластерного анализа и позволяет выделить группы объектов, которые на определенном временном интервале потребляют ресурс сходным образом (рис. 4.44). При этом статистически внутри кластера функциональные параметры объектов должны распределяться по нормальному закону. Как показали многочисленные исследования и практическая реализация методологии, процедура нормирования в сочетании с интервальным оцениванием и прогнозированием позволяет предъявлять объектам научно обоснованные нормы расходования ресурсов (электропотребления, кВт·ч) [83,86,88,100-102,108].

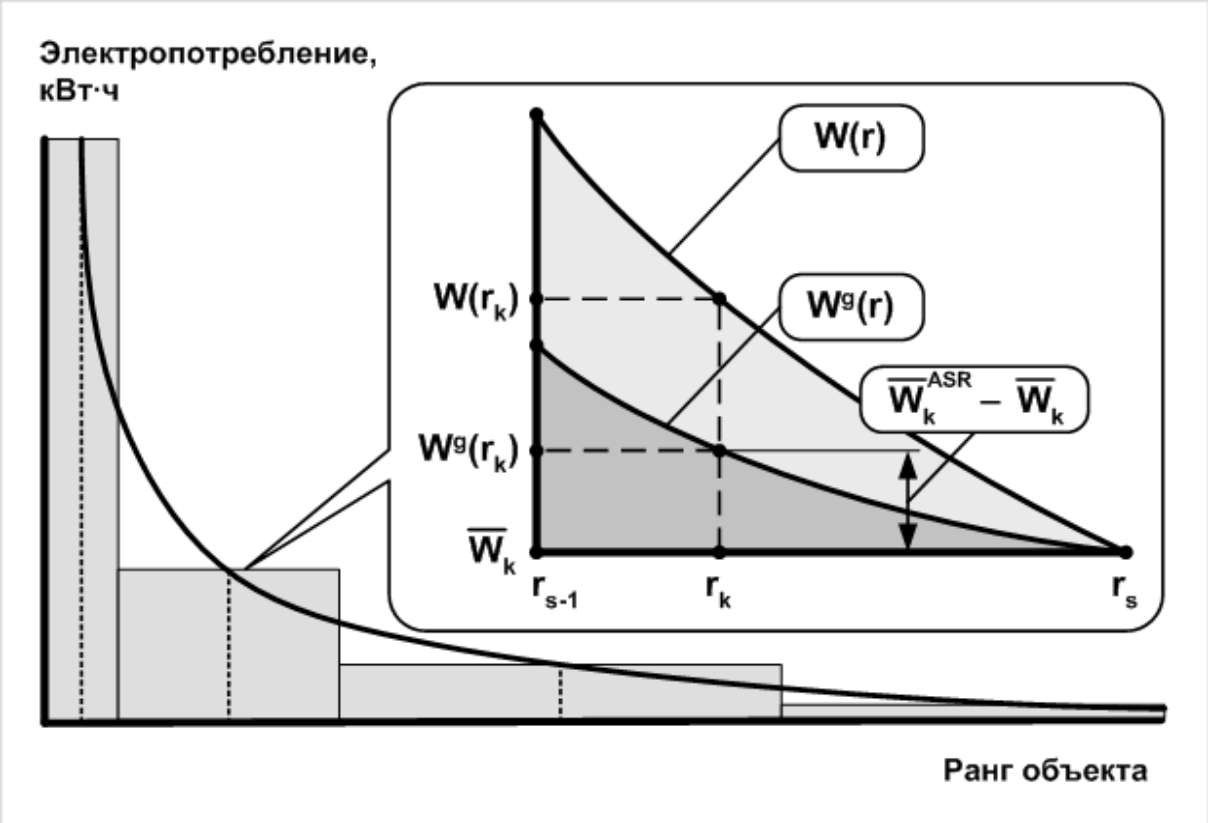

Рис. 4.45. Нормирование электропотребления объектов техноценоза: здесь и далее электропотребление измеряется в кВт·ч за временной интервал (час, сутки, месяц, год и т.д.)

В соответствии с [6,83,86,88,100-102,108] кластер-процедуры реализуются на пространстве экспериментальных данных по электропотреблению объектов в соответствии с критерием качества разбиения на классы, который на множестве f-разбиений $(r_1, W_1), (r_2, W_2), ..., (r_k, W_k)$ на заданное число попарно непересекающихся классов $S_1, S_2, ..., S_n$

$$S_f = (S_1, S_2, ..., S_n) \tag{4.82}$$

в аддитивной форме выглядит следующим образом [88,100-102,108]:

$$Q(S) = \sum_{f=1}^{n}\left(\sum_{(r_i,W_i),\,(r_j,W_j)\in S_f}\left(d_E{}^2\left((r_i,W_i),(r_j,W_j)\right)\right)\right) \to \text{extr}, \qquad (4.83)$$

где $d_E((r_i,W_i),(r_j,W_j))$ – взвешенное евклидово расстояние.

Кластер-процедура (4.82) (называемая «Single» [6,86]) дополняется проверкой расстояния между классами S_f и S_m, измеренного по принципу ближайшего соседа. При этом циклично реализуется критерий:

$$\rho_{\min}(S_f,S_m) = \min\left\{d\left((r_f,W_f),(r_m,W_m)\right)\right\} \xrightarrow[(r_f,W_f)\in S_f,\,(r_m,W_m)\in S_m]{} \max. \qquad (4.84)$$

Следует отметить, что нормы могут определяться и другими методами кластерного анализа, в частности: «Average» (средней связи), «Complete» (дальнего соседа), «Ward» (Варда) и «K-means» (К-средних). Находят применение и классические методы: «Prognoz» (с помощью процедуры прогнозирования) и «Klass» (удельных норм) [6,83,86,108,233].

Таким образом, по результатам кластер-анализа объекты техноценоза разбиваются на группы (классы, кластеры) по «сходному» электропотреблению. После этого возникает возможность определения кластерных норм электропотребления внутри каждой из групп. Кластерная норма представляет собой среднее и эмпирический стандарт, определяемые на выборке значений электропотребления рассматриваемой группы. Количество групп разбиения целесообразно иметь таким, чтобы в наиболее многочисленные из них входило не более 10 – 12 объектов. Среднее электропотребления для s-ой группы определяется следующим образом:

$$\overline{W}_s = \frac{\int_{r_{s-1}}^{r_s}\frac{W_0}{r^\beta}dr}{r_s - r_{s-1}} \cong \frac{1}{n_s}\sum_{k=1}^{n_s}W_k, \qquad (4.85)$$

где r_{s-1}, r_s – левая и правая ранговые границы нормируемой группы объектов на распределении;

W_0, β – параметры рангового распределения;

n_s – количество объектов в s-ой группе;

W_k – электропотребление k-го объекта техноценоза.

Эмпирический стандарт для этой же группы объектов равен:

$$\sigma_s \cong \frac{1}{n_s - 1}\sum_{k=1}^{n_s}\sqrt{(\overline{W}_s - W_k)^2}. \qquad (4.86)$$

Процедуры кластер-анализа, будучи применены в процессе нормирования объектов техноценоза, дают неплохие результаты, однако обладают одним существенным недостатком. Они усредняют анализируемый параметр в пределах кластера на основе гауссовой математической статистики и тем самым не учитывают системный ресурс параметрического кластера техноценоза (рис. 4.44). Устраняется данный недостаток в рамках процедуры ASR-анализа (Adding System Resource analysis), являющейся тонким дополнением к нормированию (рис. 4.45) [83,86,88,100-102,108].

Реализация процедуры ASR-анализа в конечном итоге заключается в добавлении к прогнозируемому среднему нормы электропотребления объекта соответствующей его рангу индивидуальной ASR-нормы (рис. 4.45):

$$\begin{cases} \overline{W}_k^{ASR} = \overline{W}_k + \Delta\overline{W}_k^{ASR}; \\ \Delta\overline{W}_k^{ASR} = W(r_k) - W^g(r_k), \end{cases} \qquad (4.87)$$

где $\overline{W}_k^{ASR}$ – результирующая норма электропотребления для k-го объекта с учетом ASR-анализа;

$\overline{W}_k$ – среднекластерная норма, полученная по результатам процедуры нормирования;

$\Delta\overline{W}_k^{ASR}$ – индивидуальная ASR-норма;

r_k – ранг k-го объекта техноценоза;

$W(r_k)$ – значение электропотребления, соответствующее на аппроксимационной кривой рангового параметрического распределения W(k) k-му рангу;

$W^g(r)$ – гауссовое распределение в ранговой форме, соответствующее кластерному распределению;

$W^g(r_k)$ – значение электропотребления, соответствующее на гауссовой кривой $W^g(r)$ k-му рангу.

Приведенные на рисунке 4.44 две группы методов нормирования формируют аппарат так называемого предельного алгоритма, что позволяет аккумулировать положительные стороны различных подходов и, как результат, повышать качество нормирования. При этом под качеством нормы понимается показатель, отражающий качество реализации процедуры

нормирования по критерию близости к нижней границе переменного доверительного интервала [83,86,108]. Понятие качества нормы основывается на понимании того, что, с одной стороны, норма должна понуждать объекты к снижению ресурсопотребления, и поэтому, чем она ниже, тем лучше. Однако, с другой стороны, норма не может опускаться ниже величины, соответствующей значению на нижней границе переменного доверительного интервала для данного ранга (рис. 4.46). В противном случае выполнение нормы будет нарушать нормальный технологический процесс функционирования оборудования, установленного в данный момент на объекте. Следовательно, показатель качества нормы может быть оценен величиной абсолютного или относительного отклонения от нижней границы переменного доверительного интервала. Для оценки качества нормирования используются данные, зарезервированные в векторе верификации.

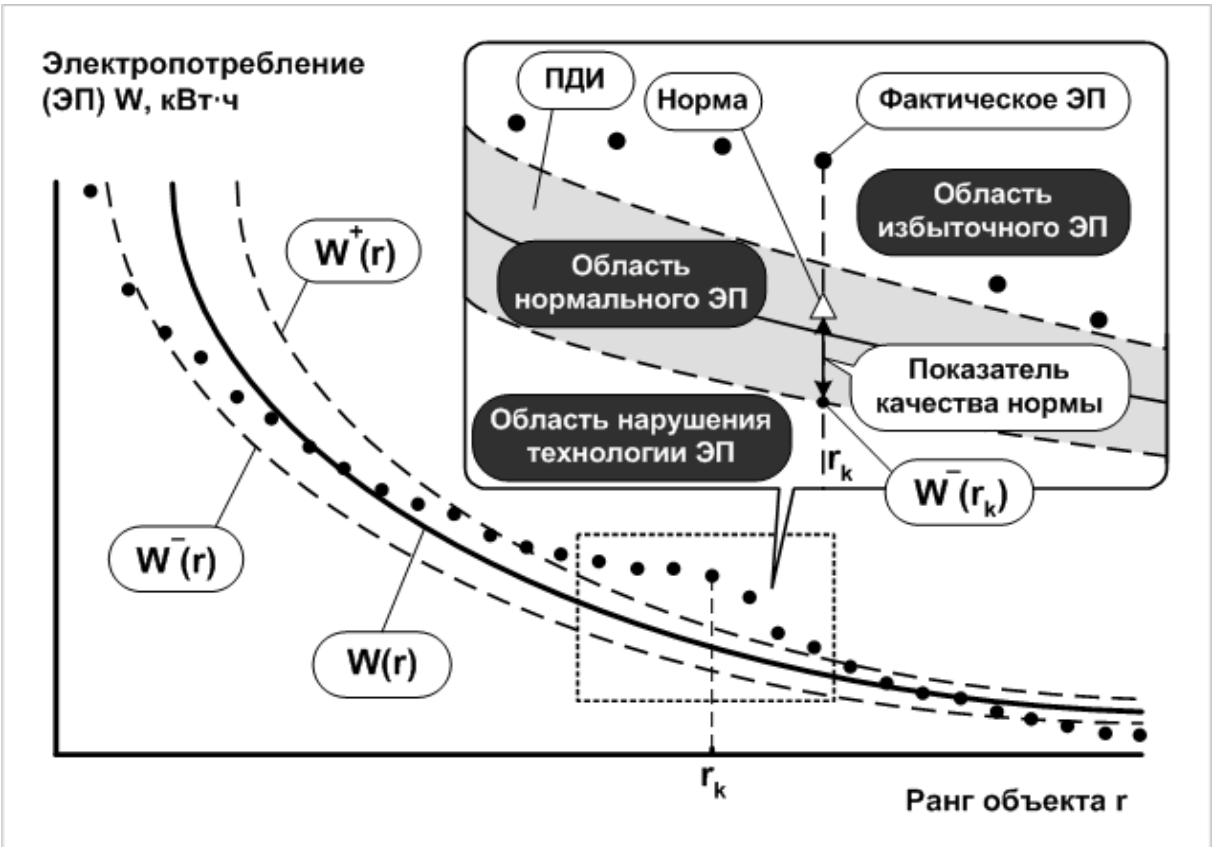

Рис. 4.46. К вопросу качества нормы электропотребления (определяется в кВт·ч за временной интервал): ПДИ – переменный доверительный интервал

Итак, количественно показатель качества нормы электропотребления может быть оценен величиной абсолютного или относительного отклонения от нижней границы переменного доверительного интервала:

$$\begin{cases} \Delta\overline{W}_k^a = \left|\overline{W}_k - W_k^-\right|; \\ \Delta\overline{W}_k^o = \dfrac{\left|\overline{W}_k - W_k^-\right|}{W_k}, \end{cases} \tag{4.88}$$

где $\Delta\overline{W}_k^a$ – абсолютный показатель качества нормы электропотребления k-го объекта техноценоза;

$\Delta\overline{W}_k^o$ – относительный показатель качества нормы;

$\overline{W}_k$ – норма электропотребления k-го объекта;

W_k – эмпирическое значение электропотребления;

$W(r)$ – аппроксимационная кривая рангового распределения;

W_k^+ – значение, соответствующее k-му рангу на верхней границе переменного доверительного интервала $W^+(r)$;

W_k^- – значение электропотребления, соответствующее k-му рангу на нижней границе $W^-(r)$.

Следует отметить, что выбор абсолютного или относительного показателя качества нормы зависит от специфики решаемой задачи. Если исследования осуществляются применительно к одному и тому же объекту техноценоза для сравнения результатов различных методов нормирования на отдельных этапах функционирования, то следует применять абсолютный показатель. Если нормированию подвергается выборка объектов техноценоза, то целесообразным видится относительный показатель.

При реализации процедуры ASR-анализа наиболее сложной задачей является определение соответствующей рангу каждого объекта техноценоза индивидуальной ASR-нормы, которая затем отнимается (или, напротив, добавляется) от среднекластерного значения и тем самым учитывает негауссовость эмпирических выборок электропотребления. В качестве одного из методов ASR-анализа впервые предлагается предельный алгоритм нормирования, позволяющий с использованием линейной комбинации результатов нормирования отдельными методами, оптимизации вторичных норм по критерию качества, а также уточнения по ASR-отклонению получать значение предельной нормы (рис. 4.47). Как представляется, получаемая в результате реализации предельного алгоритма норма отличается от среднекластерной именно на величину ASR-нормы [86,88,100-102,108].

Процесс нормирования электропотребления объектов техноценоза с помощью предельного алгоритма включает следующие основные этапы (рис. 4.47): 1) нормирования электропотребления всеми имеющимися в распоряжении методами применительно к каждому объекту; 2) вычисле-

ния взвешенных норм; 3) реализации оптимизационного процесса с целью определения лучших вторичных ном; 4) уточнения лучших вторичных норм по ASR-отклонению; 5) получения предельных норм.

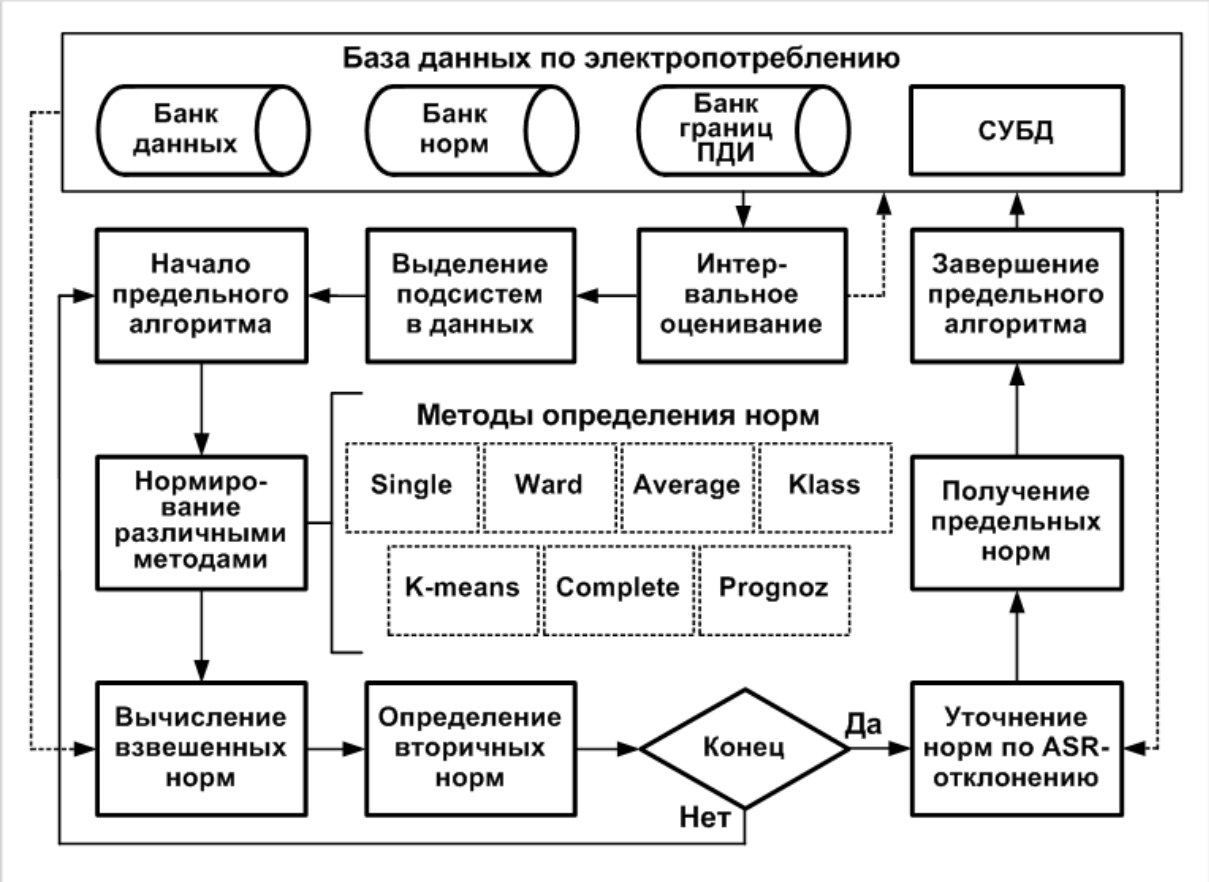

Рис. 4.47. Основные этапы предельного алгоритма нормирования

На рисунке 4.48 приведена упрощенная структура прогнозной базы данных техноценоза по электропотреблению. Из базы предварительно осуществляется выделение ряда информационных подсистем. Фактические известные данные по электропотреблению в текущем временном интервале (часу, сутках, месяце, году) составляют «Вектор верификации», который выделяется из базы данных для оценки качества получаемых норм. Все остальные известные данные за прошедшие временные интервалы образуют «Матрицу данных». Нормы электропотребления на будущем временном интервале определяются как «Вектор нормирования».

На первом этапе алгоритма осуществляется процедура интервального оценивания [83,86,108]. 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 верификации. Нижняя граница переменного доверительного интервала – гиперболическая кривая, полученная в ре-

зультате аппроксимации нижних границ 95 %-ых доверительных интервалов, рассчитанных для каждого из рангов рангового параметрического распределения. Следует еще раз подчеркнуть, что нижняя граница переменного доверительного интервала, построенного для вектора верификации, в последующем используется для оценки качества норм, полученных на статистическом материале матрицы данных [83,86,108].

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_{30}	?
4	…	W_{48}	W_{47}		W_{45}	W_{44}	W_{43}	B	W_{41}	W_{40}	?
5	…	W_{58}	W_{57}	W_{56}							?
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_{72}	W_{71}	W_{70}	?
……	…	……	……	……	……	……	…	…	……	……	……
n-1	…	$W_{(n-1)8}$	$W_{(n-1)7}$	$W_{(n-1)6}$	$W_{(n-1)5}$	$W_{(n-1)4}$	$W_{(n-1)3}$		$W_{(n-1)1}$	$W_{(n-1)0}$	?
n	…	W_{n8}	W_{n7}	W_{n6}	W_{n5}	W_{n4}	W_{n3}	W_{n2}		W_{n0}	?

Вектор верификации

Вектор нормирования

Матрица данных

Рис. 4.48. Структура базы данных объектов по электропотреблению: W_{km} – электропотребление k-го объекта техноценоза на (t – m)-ом временном интервале (часе, сутках, месяце, году)

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.

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 [190]:

$$P\,[\Theta^* - \delta < \Theta < \Theta^* + \delta] = \gamma, \text{ где } \delta \text{ – точность оценки.} \qquad (4.89)$$

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 [190]:

$$T = \frac{\overline{X} - m}{S/\sqrt{n}}, \qquad (4.90)$$

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

Плотность распределения Стьюдента определяется выражением:

$$S(t,n) = \frac{\Gamma(n/2)}{\sqrt{\pi(n-1)}\,\Gamma((n-1)/2)}\left(1 + \frac{t^2}{n-1}\right)^{-n/2}, \qquad (4.91)$$

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

Как видно из (4.90), распределение Стьюдента определяется одним параметром – объемом выборки n и не зависит от неизвестных параметров. Так как S(t, n) – четная функция от t, то вероятность неравенства

$$\frac{\overline{X} - m}{S/\sqrt{n}} < t_\gamma \qquad (4.92)$$

определяется следующим условием:

$$P\left(\left|\frac{\overline{X} - m}{S/\sqrt{n}}\right| < t_\gamma\right) = 2\int_0^{t_\gamma} S(t,n)dt = \gamma. \qquad (4.93)$$

При замене строгого неравенства в выражении (4.92) двойным неравенством, а также с учетом уравнения (4.93) получаем:

$$P\left(\overline{X} - t_\gamma\, S/\sqrt{n} < m < \overline{X} + t_\gamma\, S/\sqrt{n}\right) = \gamma. \qquad (4.94)$$

При замене случайных величин $\overline{X}$ и S неслучайными величинами $\overline{x}$ и s, найденными по выборке, получается доверительный интервал, покрывающий неизвестный параметр m с надежностью γ [190]:

$$((\overline{x} - t_\gamma\, s/\sqrt{n}),\ (\overline{x} + t_\gamma\, s/\sqrt{n})), \qquad (4.95)$$

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

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 $\overline{w}$ (рис. 4.49).

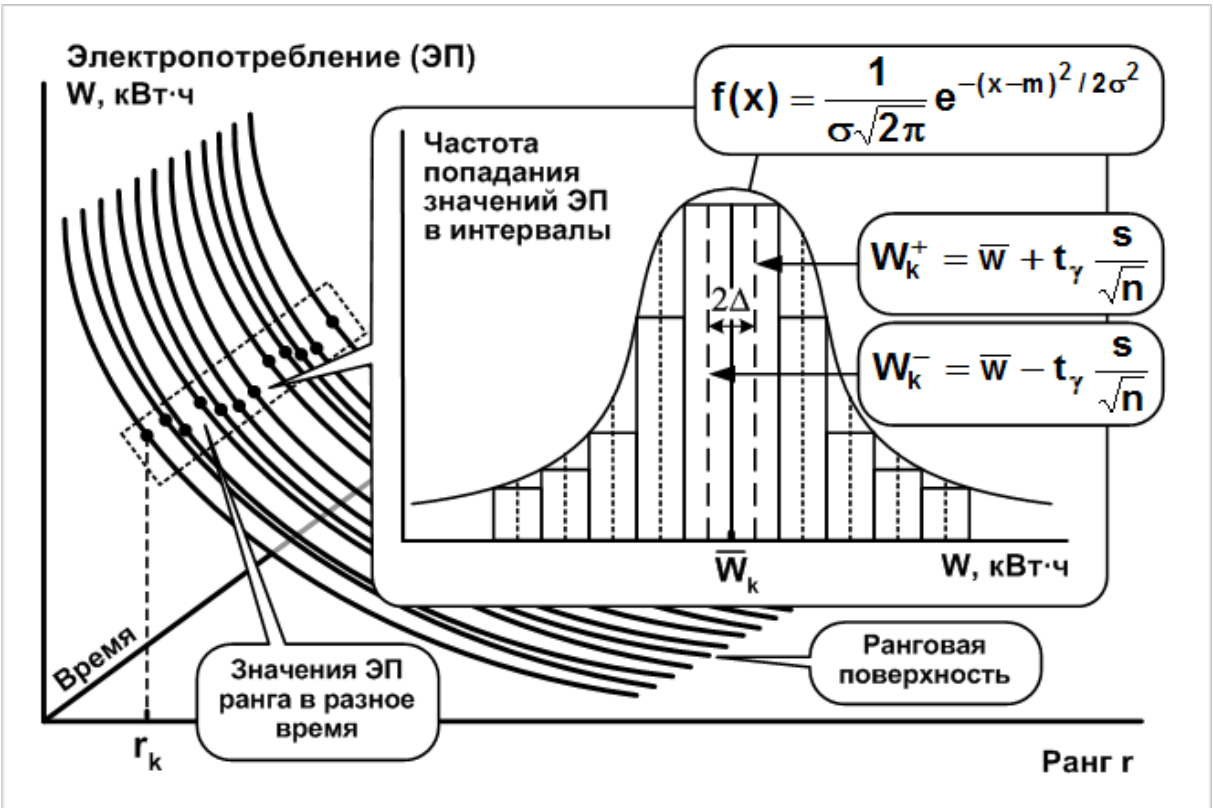

Рис. 4.49. Границы доверительных интервалов рангов техноценоза

После аппроксимации границ переменного доверительного интервала осуществляется расчет взвешенных норм электропотребления. Данная процедура реализуется путем линейной комбинации норм, рассчитанных различными методами, включая техноценологические, учитывающие системные свойства техноценоза и классические, учитывающие индивидуальные особенности объектов (рис. 4.50). Данный подход продолжает идею, реализованную нами ранее применительно к прогнозированию электропотребления в процедуре GZ-анализа. Суть подхода заключается в следующем. На основе имеющейся базы данных по электропотреблению за определенный промежуток времени применительно к каждому объекту техноценоза реализуются все имеющиеся методы нормирования. Полученная совокупность норм оценивается по критерию близости к нижней границе переменного доверительного интервала, построенного применительно к вектору верификации, заранее выделенному из базы данных. На основе оценок норм формируется матрица весовых коэффициентов методов нормирования. При этом применяется алгоритм расчета, реализующий принцип предпочтения: чем лучше норма, полученная данным методом, тем выше его весовой коэффициент (сумма последних для объекта равна единице). Затем применительно к каждому объекту реализуется линейная комбинация, позволяющая получить наилучшую норму электропотребления для данного объекта техноценоза на данном временном интервале.

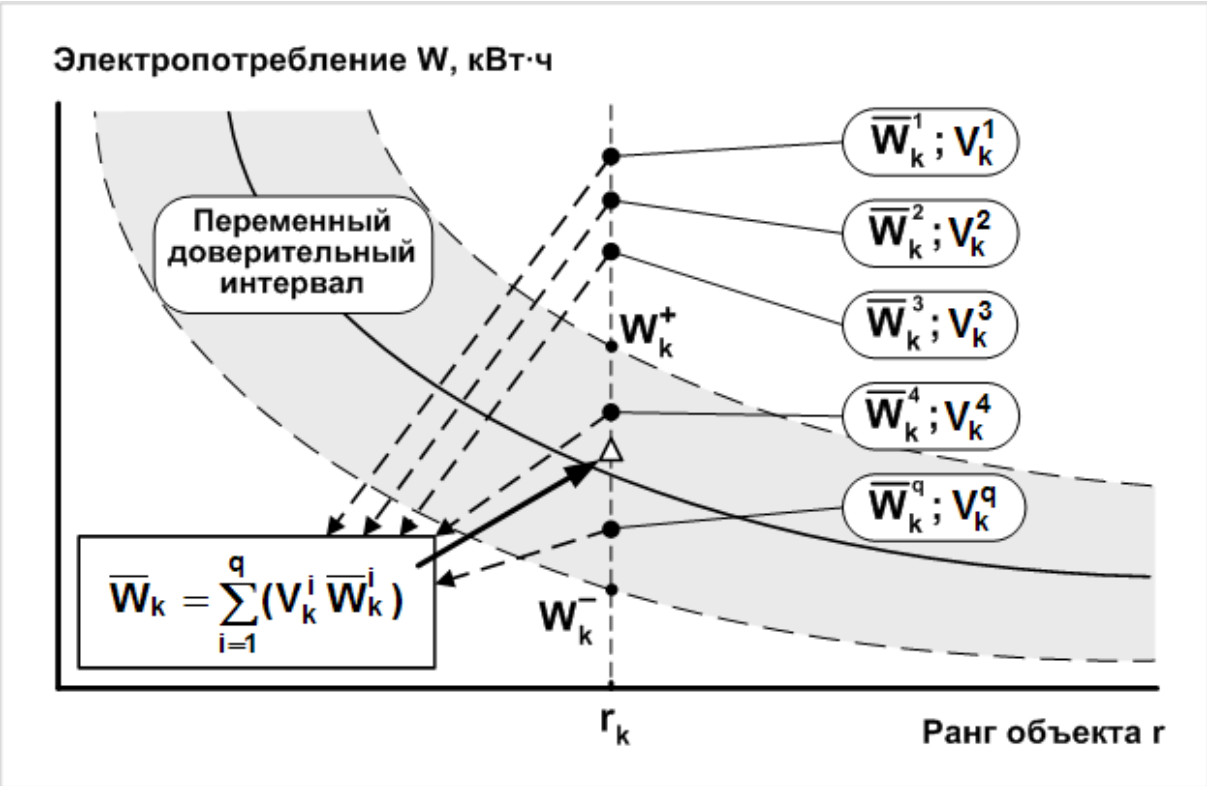

Рис. 4.50. Линейная комбинация методов нормирования

Алгоритмически получению весовых коэффициентов методов нормирования предшествует расчет отклонений значений норм от соответствующих значений на нижней границе переменного доверительного интервала. При этом используется абсолютный показатель качества нормирования электропотребления k-объекта техноценоза (см. (4.88)):

$$\Delta\overline{W}_k^{ai} = \left|\overline{W}_k^i - W_k^-\right|, \tag{4.96}$$

где $\overline{W}_k^i$ – норма, полученная i-ым методом для k-го объекта;
W_k^- – значение электропотребления k-го объекта на нижней границе переменного доверительного интервала.

Это позволяет рассчитать веса i-ых методов нормирования для k-го объекта техноценоза по следующим выражениям:

$$\begin{cases} V_k^i = G_k^i / \sum\limits_{j=1}^{q} G_k^j; \\ G_k^i = 1 - \Delta\overline{W}_k^{ai} / \sum\limits_{j=1}^{q} \Delta\overline{W}_k^{aj}; \\ \sum\limits_{i=1}^{q} V_k^i = 1, \end{cases} \tag{4.97}$$

где V_k^i – вес i-го метода нормирования для k-го объекта;
q – общее количество реализуемых методов нормирования;
j – вспомогательный формальный индекс суммирования.

В итоге для каждого объекта получаем взвешенную норму вида:

$$\overline{W}_k = \sum_{i=1}^{q} (V_k^i \cdot \overline{W}_k^i). \tag{4.98}$$

Как представляется, дальнейшее уточнение нормы может быть реализовано в процессе вторичного нормирования с последующей оптимизацией. При этом под оптимизацией норм понимается итерационный процесс определения лучшей вторичной нормы по критерию близости к нижней границе переменного доверительного интервала. Предполагается, что взвешенная норма используется в последующих расчетах как вторичная, под которой понимается норма, полученная в процессе нормирования, ко-

гда в качестве статистических данных используются не эмпирические данные, а нормы, полученные на предыдущем этапе итерационного процесса. Процесс повторяется до тех пор, пока значение вторичной нормы не приблизится экстремально к нижней границе переменного доверительного интервала. Вторичная норма, которая характеризуется максимальной близостью к нижней границе переменного доверительного интервала, называется лучшей вторичной нормой (рис. 4.51) [83,86,88,100-102,108]:

$$\begin{cases} \overline{W}^{vt}_{k\,ext} \xrightarrow[\Delta\overline{W}^{a}_{k}\to\min]{} \overline{W}^{vt}_{k\,min}; \\ \Delta\overline{W}^{a}_{kn} = \left|\overline{W}^{vt}_{kn} - W^{-}_{k}\right|, \end{cases} \tag{4.99}$$

где $\overline{W}^{vt}_{k\,ext}$ – лучшая вторичная норма k-ого объекта;

$\overline{W}^{vt}_{k\,min}$ – минимальная из всех вторичных норм;

$\overline{W}^{vt}_{kn}$ – вторичная норма k-ого объекта на n-ой итерации;

W^{-}_{k} – значение, соответствующее k-му рангу на нижней границе переменного доверительного интервала.

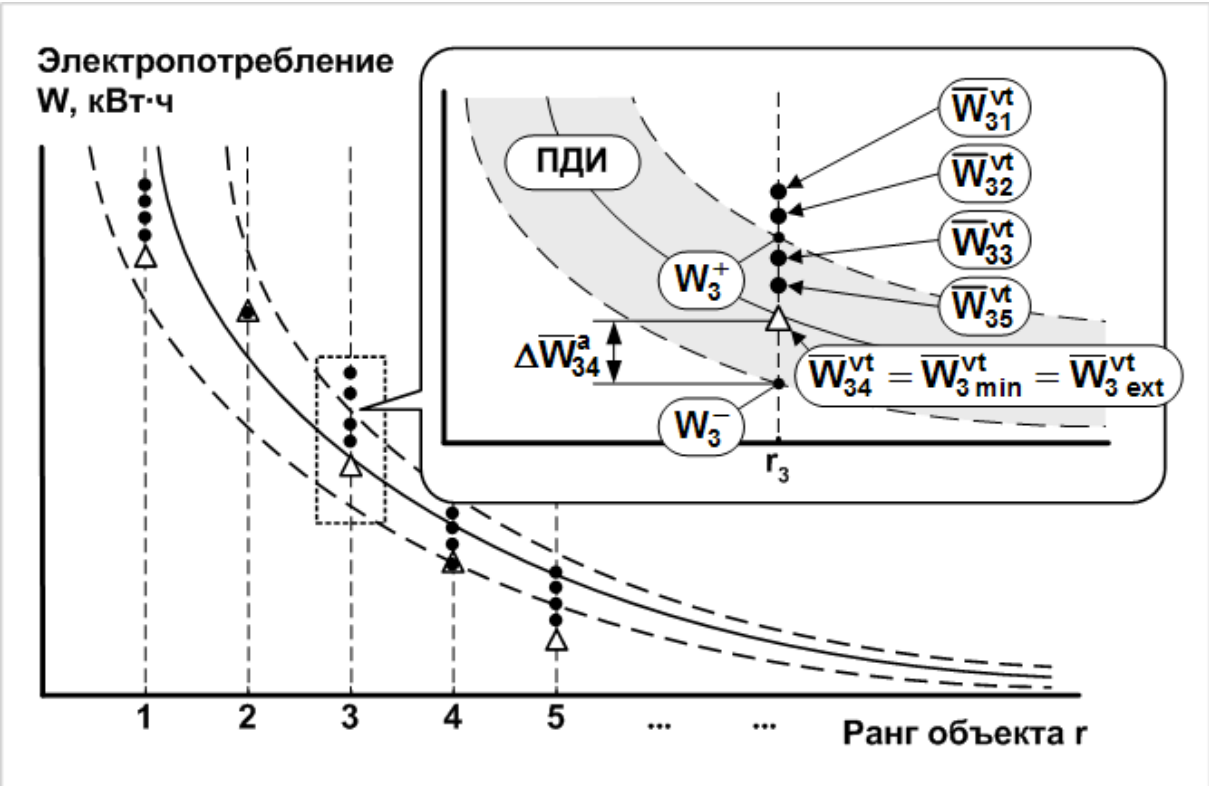

Рис. 4.51. К определению лучших вторичных норм

Как показали экспериментальные исследования, вторичное нормирование для разных объектов техноценоза приводит к различным результатам. Имеются пять типовых групп объектов, для которых вторичное нормирование (рис. 4.52): 1 – приводит к улучшению нормы до максимума, а затем – к ухудшению; 2 – приводит к последовательному ухудшению нормы; 3 – приводит к постоянному улучшению нормы с последующей стабилизацией данного процесса; 4 – приводит к ухудшению до минимума, а затем – к улучшению; 5 – не приводит к улучшению нормы. Причина подобного разнообразия результатов вторичного нормирования видится в сложном согласованно – рассогласованном процессе поведения отдельных объектов по отношению к техноценозу, а также, техноценоза, со своей стороны, – по отношению к объектам. Фундаментальное обоснование данного явления кроется в свойстве когерентности техноценозов [86,108].

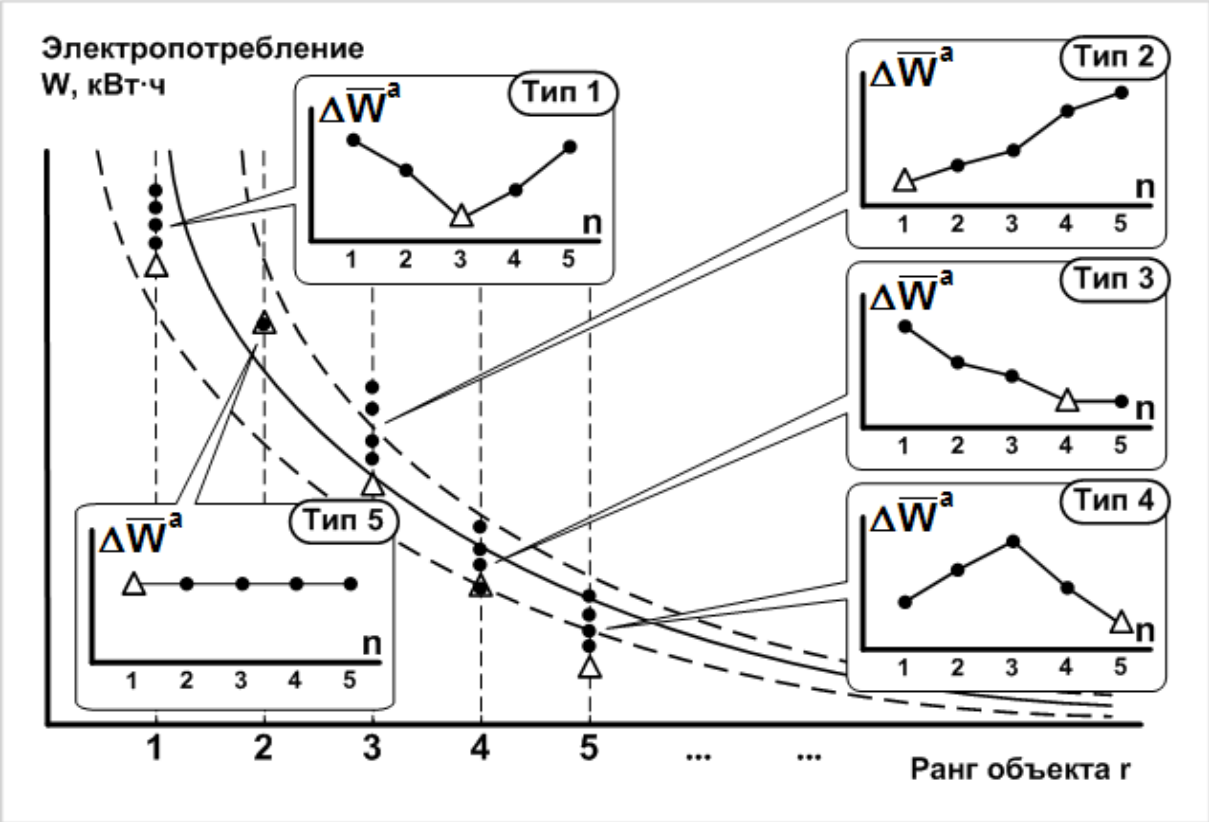

Рис. 4.52. Варианты результатов вторичного нормирования, осуществленного в ходе пяти итераций

Процесс вторичного нормирования относится к типу безусловных задач одномерной оптимизации, которая реализуется в соответствии с критерием (4.99) по алгоритму, показанному на рисунке 4.53. Алгоритм последовательно включает два цикла, первый из которых предназначен для формирования базы вторичных норм объектов техноценоза, а второй – для фиксации лучшей вторичной нормы по каждому объекту. В первом цикле

осуществляется открытый итерационный процесс, завершение которого происходит, когда по всем объектам будет надежно зафиксировано прохождение экстремума с учетом априорно заданной точности. Второй цикл имеет предопределенное количество итераций (равное количеству вторичных норм, полученных в процессе первого цикла из расчета на один объект) и включает простой перебор вторичных норм, определение их отклонений от нижней границы переменного доверительного интервала и фиксацию лучшей из всех вторичных норм по каждому объекту.

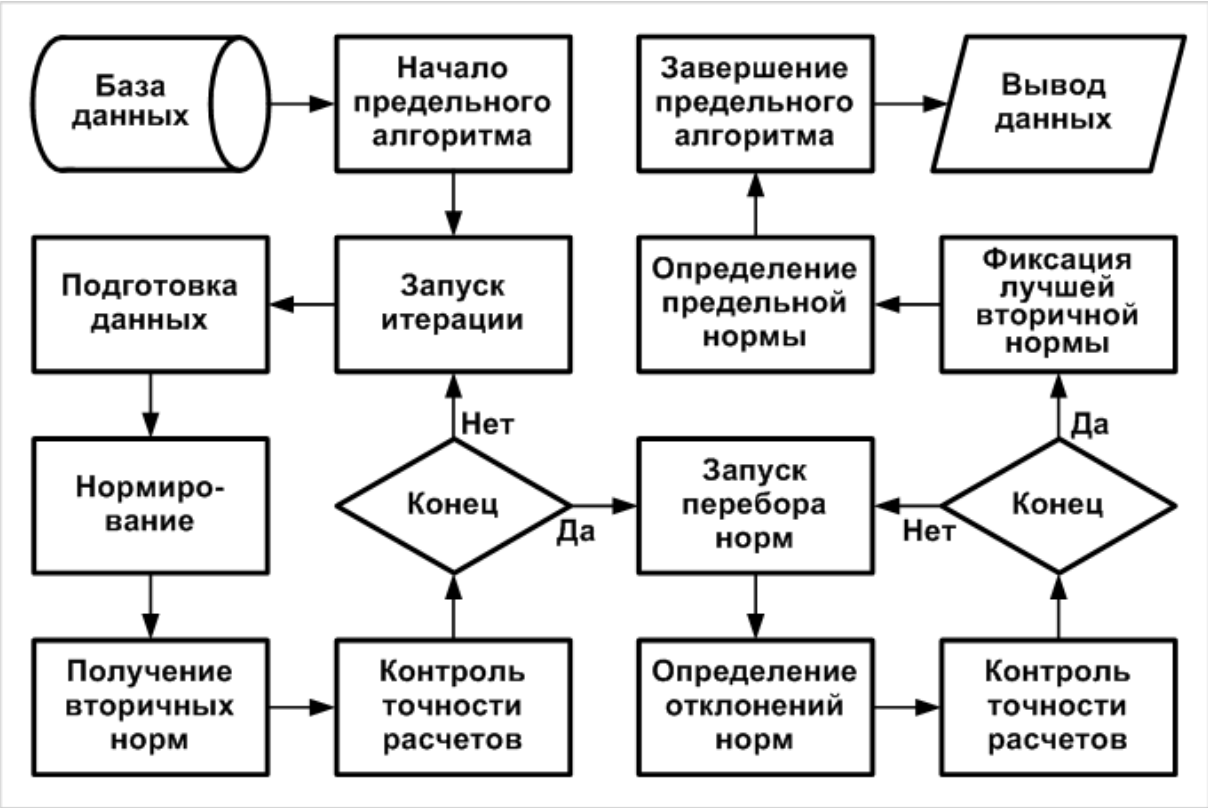

Рис. 4.53. Алгоритм вторичного нормирования

На заключительном этапе предельного алгоритма осуществляется дополнительное уточнение норм электропотребления, которое производится только для объектов, лучшие вторичные нормы которых выходят за границы переменного доверительного интервала и составляют совокупность так называемых «аномальных норм». Реализация уточняющей процедуры заключается в вычитании (или добавлении) из лучшей вторичной нормы соответствующего его рангу ASR-отклонения, под которым понимается отклонение значения лучшей вторичной нормы от значения на нижней или верхней границе переменного доверительного интервала (в зависимости от того, где расположена лучшая норма) с учетом коэффициента управляющего воздействия. При этом, чем существенней будет ASR-отклонение, тем большее значение приобретает коэффициент управляю-

щего воздействия. Следовательно, при реализации вычислительных процедур данного этапа алгоритма от значения лучшей вторичной нормы k-го объекта отнимается (или прибавляется) ASR-отклонение, помноженное на коэффициент управляющего воздействия (рис. 4.54). В итоге получается предельная норма электропотребления (она же – результирующая ASR-норма из (4.87)) для k-го объекта техноценоза с учетом лучшей вторичной нормы, ASR-отклонения и коэффициента управляющего воздействия:

$$\overline{W}_k^{ASR} = \overline{W}_k^{pr} = \overline{W}_{k\,ext}^{vt} \mp \Delta_k^{ASR} K_{yk}, \qquad (4.100)$$

где $\overline{W}_k^{ASR}$ – результирующая норма электропотребления, полученная для k-го объекта техноценоза;

$\overline{W}_k^{pr}$ – предельная норма k-го объекта;

$\overline{W}_{k\,ext}^{vt}$ – лучшая вторичная норма, полученная по результатам оптимизационного процесса;

Δ_k^{ASR} – ASR-отклонение, рассчитанное для k-го объекта;

K_{yk} – коэффициент управляющего воздействия k-го объекта.

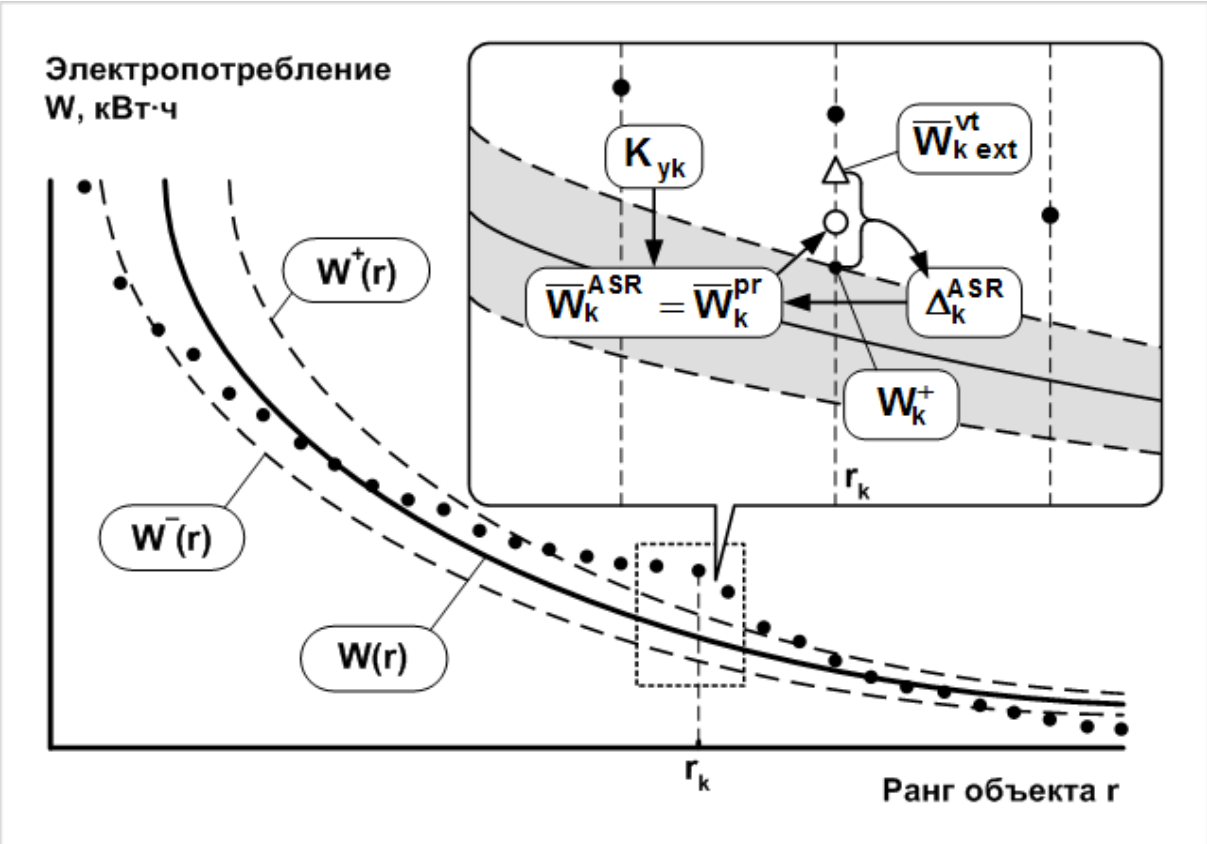

Рис. 4.54. Получение результирующей (предельной) нормы

В выражении (4.100) знак «минус» ставится в том случае, если точка находится выше верхней границы переменного доверительного интервала, а «плюс», – если ниже нижней границы. Кроме того, ASR-отклонение определяется в зависимости от положения самой точки относительно границ переменного доверительного интервала следующим образом:

- для объектов, лучшая вторичная норма которых оказалась выше верхней границы переменного доверительного интервала:

$$\Delta_k^{ASR} = \left| \overline{W}_{k\,ext}^{vt} - W_k^{+} \right|; \qquad (4.101)$$

- для объектов, лучшая вторичная норма которых лежит ниже нижней границы переменного доверительного интервала:

$$\Delta_k^{ASR} = \left| \overline{W}_{k\,ext}^{vt} - W_k^{-} \right|. \qquad (4.102)$$

При определении коэффициента управляющего воздействия может быть реализована различная «политика энергосбережения», а также учтены следующие факторы: стохастичность процесса электропотребления; сильная зависимость от метеоусловий; степень мотивации персонала к осуществлению энергосберегающих процедур; возможные существенные изменения технологии потребления электроэнергии; влияние на процесс энергосбережения государственной тарифной политики; вероятная многовариантность структурных изменений в техноценозе и некоторые другие. Мы предлагаем, как минимум, поставить коэффициент управляющего воздействия в прямую зависимость от величины ASR-отклонения. При этом он приобретает смысл линейного весового коэффициента, полученного отдельно на каждом из двух подмножеств аномальных норм:

$$K_{yi} = \Delta_i^{ASR} / \sum_{j=1}^{h} \Delta_j^{ASR}, \qquad (4.103)$$

где K_{yi} – коэффициент управляющего воздействия, определяемый для i-ой аномальной нормы;

Δ_i^{ASR} – ASR-отклонение для i-ой аномальной нормы;

h – общее количество аномальных норм в подмножестве;

j – вспомогательный формальный индекс суммирования, исчисляемый в пределах общего количества норм.

Напомним, что выражение (4.103) отдельно реализуется для двух групп аномальных норм: 1 – расположенных выше верхней границы доверительного интервала; 2 – расположенных ниже нижней границы. И последнее, для всех лучших вторичных норм, оказавшихся в пределах доверительного интервала, в рамках универсальной процедуры можно принять коэффициент управляющего воздействия равным нулю.

Предельный алгоритм нормирования на эмпирическом материале всей имеющейся базы техноценоза позволяет закрепить за каждым объектом на каждом временном интервале (часе, сутках, месяце, годе) индивидуальную норму электропотребления. Процедура аппроксимации дает динамическую функцию нормы k-го объекта во времени [88,100-102,108]:

$$\overline{W}_k^{ASR}(t), \tag{4.104}$$

где t – время функционирования техноценоза.

Реализация процедур прогнозирования применительно к функции (4.104) позволяет оценить динамику норм электропотребления объектов, а также разработать программу нормирования техноценоза на среднесрочную перспективу, реализующую следующий критерий [88,100-102,108]:

$$\sum_{k=1}^{n}\left(\int_0^{t_m} \overline{W}_k^{ASR}(t)\,dt\right) \to \overline{W}_{const}^{ASR}, \tag{4.105}$$

где n – количество объектов техноценоза;

$t = 0 \ldots t_m$ – временной диапазон моделирования;

$\overline{W}_{const}^{ASR}$ – кумулятивное требование внешней системы управления к электропотреблению техноценоза.

Процедуры, описываемые выражениями (4.104) и (4.105), мы впервые называем динамическим нормированием. Следует также отметить, что получаемые таким образом нормы эффективны только для исследуемого техноценоза и не применимы для других, однако для данного они надежны и устойчивы [83,86,108]. В любом случае их можно непрерывно уточнять одновременно с изменением базы данных по электропотреблению.

Реализация предельного алгоритма осуществлялась применительно к одному из техноценозов, расположенных на территории Калининградской области [83,86,108]. Статистическая обработка месячных данных по электропотреблению объектов техноценоза за период с 1995 по 2010 годы позволила разработать программу нормирования электропотребления объектов техноценоза на ближайшие пять лет (до 2015 года) (рис. 4.55).

Код объекта	ЭП, кВт·ч	Предельная норма по годам, кВт·ч в год					
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1433421	1404590	1364666	1324918	1293225	1261225	1248737
2	1789030	1609214	1565995	1520383	1487533	1474482	1430180
3	388419	435139	408983	397071	397883	393665	389767
4	222241	174192	170342	165381	163729	159223	156086
65	4631						
66	1376						
67	1908						
68	11112						
Сумма	18778854	18082644	17658870	17144534	16503891	16161517	15892812

Kmeans	Single	Average	Complete	Ward	Klass	Prognoz
1	2	3	4	5	6	7
176094	203584	256563	256563	152563	197888	176094
ВН	ЛВН	НГ	ВГ	ПН	Ку	%
8	9	10	11	12	13	14
197930	174132	179538	197418	174192	0.0120	27

Снижение ЭП	Годы					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Требуемое снижение ЭП	-3	-6	-9	-12	-15	-18
С использованием предельного алгоритма	-3,85	-6,34	-9,53	-13,78	-16,19	-18,16

Рис. 4.55. Программа нормирования исследуемого техноценоза (фрагмент)

Следует отметить, что предлагаемая программа нормирования позволяет предъявить каждому объекту техноценоза на каждом временном интервале индивидуальный лимит электропотребления, который, с одной стороны, будет способствовать последовательному снижению электропотребления, а с другой, – является вполне «посильным» для объектов и ни на одном временном интервале не нарушит нормальный технологический процесс. Важным является то, что реализация в рамках предельного алгоритма завершающей процедуры уточнения норм электропотребления по ASR-отклонению с использованием коэффициента управляющего воздействия позволяет в рамках программы нормирования осуществлять постоянный мониторинг выполнения каждым объектом и техноценозом в целом кумулятивных контрольных нормативов, заложенных в базовые федеральные и ведомственные документы по энергосбережению [83,86,108].

Кроме того, анализ результатов нормирования с использованием предельного алгоритма позволил сделать два весьма важных вывода, касающихся работоспособности методологии. Во-первых, на обширном статистическом материале был подтвержден теоретический вывод об устойчивом характере оптимизационного процесса вторичного нормирования

(рис. 4.56). Во-вторых, удалось продемонстрировать достаточно высокие экономические показатели предельного алгоритма (рис. 4.57, 4.58).

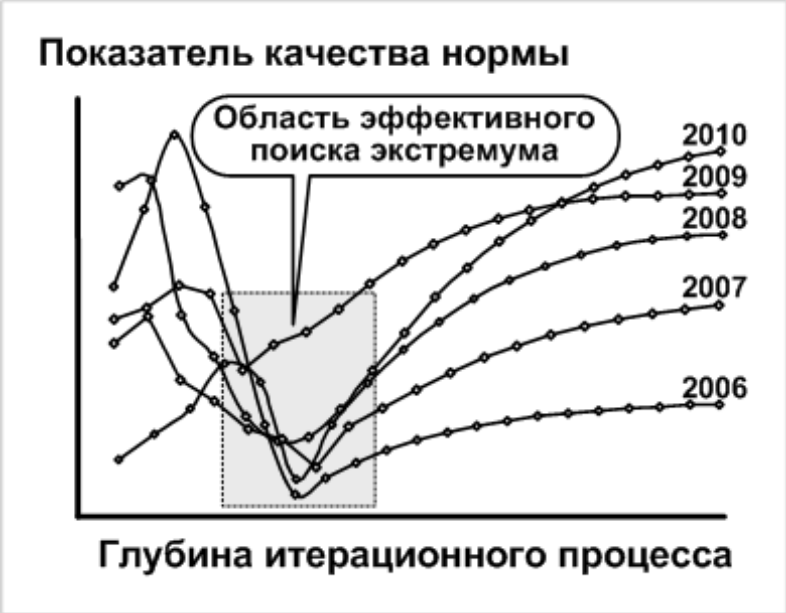

Рис. 4.56. Характер оптимизационного процесса вторичного нормирования (данные получены для техноценоза в целом)

Рис. 4.57. Годовой перерасход электроэнергии исследуемого техноценоза относительно нижней границы ПДИ в денежном эквиваленте (в тыс. руб.)

Рис. 4.58. Годовые вероятные затраты на электроэнергию исследуемого техноценоза при обязательном выполнении предельных норм (в млн. руб.)

Таким образом, выполняемая в рамках нормирования классификация объектов техноценоза позволяет выделить группы объектов, которые на определенном временном интервале потребляют ресурс сходным образом. Процедуры кластер-анализа, будучи применены сами по себе в процессе нормирования техноценоза, дают неплохие результаты, однако обладают одним существенным недостатком. Они усредняют анализируемый параметр в пределах кластера на основе гауссовой математической статистики и тем самым не учитывают системный ресурс параметрического кластера техноценоза. Устраняется данный недостаток в рамках процедуры ASR-анализа (Adding System Resource analysis), являющейся тонким дополнением к нормированию. Одной из форм реализации ASR-анализа является предельный алгоритм нормирования электропотребления, который позволяет с использованием линейной комбинации результатов нормирования отдельными методами, оптимизации вторичных норм по критерию качества норм, а также уточнения по ASR-отклонению получать значения предельной (лучшей) нормы. Предельный алгоритм позволяет весьма существенно улучшить процедуру нормирования, как с технологической, так и экономической точек зрения. Опыт нормирования электропотребления с использованием предельного алгоритма дает улучшение показателя качества на 7 – 9 %, а экономию денежных средств – до 10 %.