

5.4. ZP-планирование в техноценозе

Итак, ZP-планирование представляет собой процедуру ZP-анализа ресурсопотребления, заключающуюся в разработке ZP-плана и предусматривающую для каждого объекта техноценоза на каждом временном интервале индивидуальные управляющие воздействия, направленные на ресурсосбережение и поставленные в зависимость от дифлекс-параметров. Осуществляемая в рамках ZP-анализа электропотребления процедура ZP-планирования может иметь различные стратегии, например: 1) достижение к заданному временному интервалу требуемого уровня снижения электропотребления; 2) достижение техноценозом уровня Z-потенциала энергосбережения (Z1 или Z2) к заданному временному интервалу.

Для реализации любой из стратегий требуется разработка ZP-плана энергосбережения, который предполагает предъявление каждому объекту техноценоза на каждом временном интервале индивидуальной нормы снижения электропотребления. Методика разработки плана общая для всех простых стратегий и основывается на том, что доля объекта в общем объеме снижения электропотребления должна быть пропорциональна доле его электропотребления в общем электропотреблении техноценоза до момента реализации ZP-плана (на текущий временной интервал). Следовательно, объем снижения электропотребления k-го объекта может быть определен следующим образом (из расчета на один временной интервал):

$$\Delta W_k^{PL} = \frac{W(r_k) \cdot \Delta W^{PL}}{\int_0^{\infty} W(r) dr}, \quad (5.30)$$

где ΔW^{PL} – величина, на которую в течение каждого временного интервала расчетного промежутка времени должно снижаться суммарное электропотребление;

$W(r_k)$ – текущее значение электропотребления k-го объекта;

$W(r)$ – аппроксимационная кривая, полученная для эмпирических значений электропотребления объектов на начальном этапе внедрения методики.

В соответствии с принципом оптимальности (5.29) норма ежегодного снижения электропотребления объекта должна быть поставлена в зависимость от степени близости текущего электропотребления объекта к нижней границе переменного доверительного интервала, получаемого по итогам ZP-нормирования. Решать задачу определения нормы предлагается с

помощью весовых коэффициентов, получению которых предшествует расчет для каждого объекта техноценоза ключевого дифлекс-параметра – относительного отклонения текущего значения электропотребления от величины, соответствующей его рангу на нижней границе переменного доверительного интервала. Расчет ведется для всех объектов техноценоза по отдельности на каждом временном интервале, где для k -го объекта имеем:

$$W^{\Delta}(r_k) = \frac{|W(r_k) - W^*(r_k)|}{W(r_k)}, \quad (5.31)$$

где $W^{\Delta}(r_k)$ – относительное отклонение значения электропотребления k -го объекта от величины, соответствующей его рангу на нижней границе переменного доверительного интервала, получаемого по итогам ZP-нормирования;
 $W^*(r_k)$ – значение электропотребления k -го объекта на нижней границе переменного доверительного интервала, получаемого по итогам ZP-нормирования.

Это позволяет для k -го объекта рассчитать весовой коэффициент:

$$\begin{cases} V_k^{PL} = W^{\Delta}(r_k) / \sum_{j=1}^n W_j^{\Delta}(r_k); \\ \sum_{k=1}^n V_k^{PL} = 1, \end{cases} \quad (5.32)$$

где V_k^{PL} – весовой коэффициент, рассчитанный для k -го объекта;
 n – общее количество объектов в техноценозе;
 j – вспомогательный формальный индекс суммирования.

В итоге, с учетом полученных весовых коэффициентов, индивидуальная норма снижения электропотребления k -го объекта (из расчета на один временной интервал) должна быть скорректирована:

$$\Delta \overline{W}_k^{PL} = \Delta W_k^{PL} + \Delta W_k^{PL} \cdot (V_k^{PL} - 0,5). \quad (5.33)$$

Смысл корректировки, при этом, заключается в следующем. Значение индивидуальной нормы снижения электропотребления рассматривается как центрированная величина, относительно которой в меньшую или

большую сторону, в зависимости от весового коэффициента, осуществляется изменение. Диапазон данного изменения равен самой величине индивидуальной нормы снижения электропотребления, а точное значение скорректированной нормы определяется на основе прибавления (если весовой коэффициент больше 0,5) или вычитания (если меньше 0,5) числа, равного произведению нормы на сам весовой коэффициент.

С целью гарантированного выполнения ZP-плана предлагается ввести систему поощрения объектов технотенеза за успехи в экономии электроэнергии и для этого создать план премирования и инвестиций, методика разработки которого также является общей для любых стратегий ZP-планирования, а средства в него поступают из так называемого фонда энергосбережения. Источником для формирования фонда являются средства, выручаемые за счет экономии электроэнергии отдельными объектами. Объем средств зависит от действующего тарифа на электроэнергию:

$$C_k^{PL} = \Delta \bar{W}_k^{PL} \cdot sc(r_k), \quad (5.34)$$

где C_k^{PL} – объем средств (в денежном выражении), выручаемых за счет экономии электроэнергии k-ым объектом;
 $sc(r_k)$ – тариф на электроэнергию, предъявляемый k-му объекту.

Как представляется, поощрительная премия, выплачиваемая объекту за успешную экономию электроэнергии, в соответствии с принципом оптимальности (5.29), также должна быть поставлена в зависимость от степени близости электропотребления объекта к нижней границе переменного доверительного интервала, получаемого по итогам ZP-нормирования. Решать задачу определения премии предлагается с помощью весовых коэффициентов, расчет которых осуществляется по методике, отличающейся от (5.32). Дело в том, что при определении нормы снижения электропотребления мы полагали, что чем меньше значение дифлекс-параметра, тем должна быть и меньше норма. А в случае расчета премии – все наоборот, чем меньше значение дифлекс-параметра, тем премия должна быть больше. Итак, для k-го объекта весовой коэффициент будет равен:

$$\begin{cases} V_k^{PR} = G_k / \sum_{j=1}^n G_{kj}; \\ G_k = 1 - W^\Delta(r_k) / \sum_{j=1}^n W_j^\Delta(r_k); \\ \sum_{k=1}^n V_k^{PR} = 1, \end{cases} \quad (5.35)$$

где V_k^{PR} – весовой коэффициент, рассчитанный для k -го объекта;
 G – вспомогательная переменная.

Индивидуальная доля премирования объекта техноценоза зависит от рассчитанного по выражению (5.35) весового коэффициента и состоит из двух слагаемых, первое из которых определяет размер премии персоналу за успехи в экономии электроэнергии, а второе – объем инвестиций в энергосбережение (первооружение и модернизацию электрооборудования):

$$\begin{cases} \bar{C}_k^{PR} = \gamma_1 \cdot (C_k^{PL} + C_k^{PL} \cdot (V_k^{PR} - 0,5)); \\ \bar{C}_k^{IN} = \gamma_2 \cdot (C_k^{PL} + C_k^{PL} \cdot (V_k^{PR} - 0,5)); \\ 0 \leq (\gamma_1 + \gamma_2) \leq 1, \end{cases} \quad (5.36)$$

где \bar{C}_k^{PR} – размер премии персоналу объекта техноценоза за успехи в экономии электроэнергии;
 \bar{C}_k^{IN} – объем инвестиций в энергосбережение (первооружение и модернизацию электрооборудования объекта);
 γ_1, γ_2 – коэффициенты, учитывающие установленную в системе управления техноценоза долю отчислений от сэкономленных средств в фонд энергосбережения (как правило, находятся в диапазоне от 0,2 до 0,3 каждый).

В итоге для каждого k -го объекта техноценоза получаем индивидуальную долю премирования в общем фонде энергосбережения техноценоза (из расчета на один временной интервал):

$$\bar{C}_k^{PL} = \bar{C}_k^{PR} + \bar{C}_k^{IN}. \quad (5.37)$$

Небольшой небаланс в текущем временном интервале, который может возникнуть в процессе применения выражений (5.33) и (5.36), будет скорректирован на следующем временном интервале. Кроме того, следует отметить, что при долгосрочном применении процедуры ZP-анализа, на каждом временном интервале по мере движения объектов к нижней границе переменного доверительного интервала будет постоянно происходить пересчет весовых коэффициентов и, соответственно, перераспределение премиальных средств в пользу тех объектов, которые на данный момент достигнут больших успехов в деле экономии электроэнергии.

Различие в простых стратегиях ZP-планирования сводится к методике расчета величины, на которую в течение каждого временного интервала расчетного промежутка времени должно снижаться суммарное электропотребление техноценоза. Для первой стратегии – достижения к заданному временному интервалу требуемого уровня снижения электропотребления техноценоза – выражение для расчета выглядит следующим образом:

$$\Delta W^{PL} = \frac{K^{PL} \cdot \int_0^{\infty} W(r) dr}{100 \cdot T}, \quad (5.38)$$

где K^{PL} – плановый коэффициент – задаваемая в процентах норма снижения электропотребления техноценоза;
 T – время реализации планового коэффициента, задаваемое в количестве временных интервалов, за которые должна быть достигнута заложенная норма.

Вторая стратегия процедуры ZP-планирования состоит в достижении техноценозом уровня Z1 или Z2-потенциала энергосбережения к заданному временному интервалу. При данной стратегии суммарное электропотребление рассчитывается следующим образом:

$$\Delta W^{PL} = \frac{\int_0^{\infty} W(r) dr - \int_0^{\infty} W^*(r) dr}{T}, \quad (5.39)$$

где $W^*(r)$ – нижняя граница переменного доверительного интервала, получаемого по итогам ZP-нормирования (при необходимости может быть использована граница, рассчитанная для Z1 или Z2-потенциала);
 T – в данном случае – время достижения техноценозом потенциала энергосбережения требуемого уровня.

Важным элементом ZP-анализа является мониторинг результативности процесса энергосбережения, который предлагается осуществлять с помощью показателя конверсии. Данный показатель позволяет оценить, насколько адекватно премиальные средства, определенные по итогам процедуры ZP-планирования и вложенные в объект на предыдущем временном интервале, конвертировались (преобразовались, воплотились, превратились, реализовались, отразились) в фактическое снижение электропотребления на последующем временном интервале. Очевидно, что показа-

тель конверсии может быть рассчитан только по итогам двух и более временных интервалов реализации ZP-анализа. Для k-го объекта он равен:

$$\Pi_k^{t+1} = \frac{W_k^t - W_k^{t+1}}{\bar{C}_k^{PL(t)}}, \quad (5.40)$$

где Π_k^{t+1} – показатель конверсии k-го объекта техноценоза на (t+1)-ом временном интервале (измеряется в кВт·ч на денежную единицу);
 W_k^t – электропотребление k-го объекта на t-ом интервале;
 W_k^{t+1} – электропотребление k-го объекта на (t+1)-ом временном интервале;
 $\bar{C}_k^{PL(t)}$ – объем премиальных средств, определенных по итогам процедуры ZP-планирования и вложенных в объект на t-ом временном интервале.

Соотнесение показателя конверсии k-го объекта с суммой данных показателей для всех объектов техноценоза позволяет получить коэффициент конверсии, имеющий смысл весового коэффициента (рассчитывается отдельно для каждого временного интервала):

$$V_k^{IL(t)} = \Pi_k^t / \sum_{j=1}^n \Pi_j^t, \quad (5.41)$$

где $V_k^{IL(t)}$ – коэффициент конверсии k-го объекта техноценоза на t-ом временном интервале;
 Π_k^t – показатель конверсии k-го объекта на t-ом интервале;
j – формальный индекс суммирования.

В процедуре ZP-планирования коэффициент конверсии может быть использован вместо или совместно с коэффициентами, рассчитываемыми по выражениям (5.32) и (5.35). При этом в (5.33) и (5.36) будут применяться несколько видоизмененные весовые коэффициенты вида:

$$\begin{cases} \bar{V}_k^{PL} = \xi_1 \cdot V_k^{PL} + \xi_2 \cdot V_k^{IL}; \\ \bar{V}_k^{PR} = \xi_3 \cdot V_k^{PR} + \xi_4 \cdot V_k^{IL}; \\ \xi_1 + \xi_2 = 1; \xi_3 + \xi_4 = 1, \end{cases} \quad (5.42)$$

где $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4$ – веса, применяемые при пересчете весовых коэффициентов V_k^{PL} и V_k^{PR} (определяются, как правило, на основе априорной экспертной информации).

Показатель конверсии может быть рассчитан и для техноценоза в целом. При этом на $(t+1)$ временном интервале будем иметь:

$$\Pi_{\Sigma}^{t+1} = \frac{\int_0^{\infty} W^t(r) dr - \int_0^{\infty} W^{t+1}(r) dr}{\sum_{k=1}^n (\bar{C}_k^{PR(t)} + \bar{C}_k^{IN(t)})}, \quad (5.43)$$

где Π_{Σ}^{t+1} – совокупный показатель конверсии техноценоза в целом на $(t+1)$ -ом временном интервале (также измеряется в кВт·ч на денежную единицу);
 $W^t(r)$ – аппроксимированное ранговое параметрическое распределение объектов техноценоза по электропотреблению на t -ом временном интервале;
 $W^{t+1}(r)$ – ранговое параметрическое распределение объектов техноценоза на $(t+1)$ -ом временном интервале;
 $\bar{C}_k^{PR(t)}$ – объем средств, израсходованных на премии персоналу k -ого объекта на t -ом временном интервале;
 $\bar{C}_k^{IN(t)}$ – объем средств, инвестированных в модернизацию и перевооружение электрооборудования k -ого объекта на t -ом временном интервале.

Совокупный показатель конверсии техноценоза может применяться в любых стратегиях ZP-планирования, связанных с экономическими ограничениями, в частности – по конвертируемости средств, вкладываемых в энергосбережение. При данных стратегиях величина, на которую в течение каждого временного интервала должно снижаться суммарное электропотребление техноценоза, рассчитывается по выражениям, аналогичным (5.38) или (5.39). Однако в процессе реализации стратегии на каждом временном интервале осуществляется мониторинг конверсии. При этом циклический процесс ZP-анализа завершается при достижении показателем конверсии априорно заданного минимального уровня (см. рис. 5.5).

Следует отметить, что показатель конверсии является важной динамической характеристикой процесса управления электропотреблением объектов техноценоза. Более глубокий экстремальный анализ показателя конверсии может охарактеризовать состояние техноценоза в целом и его объектов по отдельности с точки зрения их восприимчивости к управляю-

щим воздействиям, направленным на энергосбережение. Как представляется, на начальном этапе реализации процесса управления электропотреблением объекты будут активно реагировать на управляющие воздействия, что в процессе мониторинга даст большие значения показателя конверсии. Однако со временем данный показатель станет неотвратно снижаться, и системе управления важно своевременно уловить момент завершения очередного цикла с обязательным переходом на новую стратегию.

По мере накопления практического опыта внедрения методики оптимального управления электропотреблением на объектах техноценоза появляется возможность моделирования и реализации более сложных экстремальных стратегий ZP-планирования. Для этого требуется создание достаточно глубокой базы данных, содержащей реальные результаты электропотребления и затрат на энергосбережение объектов техноценоза:

$$\left\{ \begin{array}{l} \{(W_1^1, W_1^{\Delta 1}, C_1^1); (W_1^2, W_1^{\Delta 2}, C_1^2) \dots (W_1^t, W_1^{\Delta t}, C_1^t) \dots (W_1^m, W_1^{\Delta m}, C_1^m)\}; \\ \{(W_2^1, W_2^{\Delta 1}, C_2^1); (W_2^2, W_2^{\Delta 2}, C_2^2) \dots (W_2^t, W_2^{\Delta t}, C_2^t) \dots (W_2^m, W_2^{\Delta m}, C_2^m)\}; \\ \{(W_3^1, W_3^{\Delta 1}, C_3^1); (W_3^2, W_3^{\Delta 2}, C_3^2) \dots (W_3^t, W_3^{\Delta t}, C_3^t) \dots (W_3^m, W_3^{\Delta m}, C_3^m)\}; \\ \dots \\ \{(W_k^1, W_k^{\Delta 1}, C_k^1); (W_k^2, W_k^{\Delta 2}, C_k^2) \dots (W_k^t, W_k^{\Delta t}, C_k^t) \dots (W_k^m, W_k^{\Delta m}, C_k^m)\}; \\ \dots \\ \{(W_n^1, W_n^{\Delta 1}, C_n^1); (W_n^2, W_n^{\Delta 2}, C_n^2) \dots (W_n^t, W_n^{\Delta t}, C_n^t) \dots (W_n^m, W_n^{\Delta m}, C_n^m)\}, \end{array} \right. \quad (5.44)$$

- где W_k^t – электропотребление k-го объекта техноценоза на t-ом временном интервале;
- $W_k^{\Delta t}$ – расчетный дифлекс-параметр k-го объекта на t-ом временном интервале (рассчитывается относительно нижней границы соответствующего Z-потенциала);
- C_k^t – затраты на реализацию процедур оптимального управления электропотреблением k-го объекта на t-ом временном интервале (могут быть приняты равными $\bar{C}_k^{PL(t)}$ – объему премиальных средств, определенных по итогам процедуры ZP-планирования);
- m – количество рассматриваемых временных интервалов;
- n – общее количество объектов в техноценозе.

Значения электропотребления в матрице (5.44) не ранжируются, а записываются в том порядке, в котором они были проранжированы на первом временном интервале. Одновременно с (5.44) создаются матрицы показателей конверсии техноценоза и тарифов на электроэнергию:

$$\left\{ \begin{array}{l} \{\Pi_1^1, \Pi_1^2, \Pi_1^3, \dots, \Pi_1^t, \Pi_1^{t+1}, \dots, \Pi_1^m\}; \\ \{\Pi_2^1, \Pi_2^2, \Pi_2^3, \dots, \Pi_2^t, \Pi_2^{t+1}, \dots, \Pi_2^m\}; \\ \dots \\ \{\Pi_k^1, \Pi_k^2, \Pi_k^3, \dots, \Pi_k^t, \Pi_k^{t+1}, \dots, \Pi_k^m\}; \\ \dots \\ \{\Pi_n^1, \Pi_n^2, \Pi_n^3, \dots, \Pi_n^t, \Pi_n^{t+1}, \dots, \Pi_n^m\}; \\ \{\Pi_\Sigma^1, \Pi_\Sigma^2, \Pi_\Sigma^3, \dots, \Pi_\Sigma^t, \Pi_\Sigma^{t+1}, \dots, \Pi_\Sigma^m\}; \end{array} \right. \quad (5.45)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \{sc_1^1, sc_1^2, sc_1^3, \dots, sc_1^t, sc_1^{t+1}, \dots, sc_1^m\}; \\ \{sc_2^1, sc_2^2, sc_2^3, \dots, sc_2^t, sc_2^{t+1}, \dots, sc_2^m\}; \\ \dots \\ \{sc_k^1, sc_k^2, sc_k^3, \dots, sc_k^t, sc_k^{t+1}, \dots, sc_k^m\}; \\ \dots \\ \{sc_n^1, sc_n^2, sc_n^3, \dots, sc_n^t, sc_n^{t+1}, \dots, sc_n^m\}; \\ \{sc_\Sigma^1, sc_\Sigma^2, sc_\Sigma^3, \dots, sc_\Sigma^t, sc_\Sigma^{t+1}, \dots, sc_\Sigma^m\}, \end{array} \right. \quad (5.46)$$

- где Π_k^t – показатель конверсии k-го объекта техноценоза на t-ом временном интервале;
 Π_Σ^t – совокупный показатель конверсии техноценоза на t-ом временном интервале;
 sc_k^t – тариф на электроэнергию, предъявляемый k-му объекту техноценоза на t-ом временном интервале;
 sc_Σ^t – усредненный тариф на электроэнергию, предъявляемый техноценозу на t-ом временном интервале.

Усредненный тариф на электроэнергию определяется как среднее от тарифов, предъявляемых объектам техноценоза на t-ом интервале:

$$sc_\Sigma^t = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n sc_k^t. \quad (5.47)$$

Анализ данных, формально расписанных в матрицах (5.44) – (5.46), позволяет отдельно для каждого k-го объекта и для техноценоза в целом аппроксимировать важные динамические функции, а также получить их

первые производные по времени. Все это позволяет сформировать ZP-матрицу априорной информации для последующего ZP-планирования:

$$\left\{ \begin{array}{l} \{W_1(\tau); W_1^\Delta(\tau); C_1(\tau); sc_1(\tau); \frac{dW_1(\tau)}{d\tau}; \frac{dW_1^\Delta(\tau)}{d\tau}; \frac{dC_1(\tau)}{d\tau}; \frac{dsc_1(\tau)}{d\tau}\}; \\ \{W_2(\tau); W_2^\Delta(\tau); C_2(\tau); sc_2(\tau); \frac{dW_2(\tau)}{d\tau}; \frac{dW_2^\Delta(\tau)}{d\tau}; \frac{dC_2(\tau)}{d\tau}; \frac{dsc_2(\tau)}{d\tau}\}; \\ \dots \\ \{W_k(\tau); W_k^\Delta(\tau); C_k(\tau); sc_k(\tau); \frac{dW_k(\tau)}{d\tau}; \frac{dW_k^\Delta(\tau)}{d\tau}; \frac{dC_k(\tau)}{d\tau}; \frac{dsc_k(\tau)}{d\tau}\}; \\ \dots \\ \{W_n(\tau); W_n^\Delta(\tau); C_n(\tau); sc_n(\tau); \frac{dW_n(\tau)}{d\tau}; \frac{dW_n^\Delta(\tau)}{d\tau}; \frac{dC_n(\tau)}{d\tau}; \frac{dsc_n(\tau)}{d\tau}\}; \\ \{W_\Sigma(\tau); W_\Sigma^\Delta(\tau); C_\Sigma(\tau); sc_\Sigma(\tau); \frac{dW_\Sigma(\tau)}{d\tau}; \frac{dW_\Sigma^\Delta(\tau)}{d\tau}; \frac{dC_\Sigma(\tau)}{d\tau}; \frac{dsc_\Sigma(\tau)}{d\tau}\}, \end{array} \right. \quad (5.48)$$

- где τ – непрерывная переменная времени;
- $W_\Sigma(\tau)$ – функция времени суммарного электропотребления объектов техноценоза $\left(W_\Sigma = \sum_{k=1}^n W_k \right)$;
- $W_\Sigma^\Delta(\tau)$ – функция времени суммарного расчетного дифлекса параметра объектов техноценоза $\left(W_\Sigma^\Delta = \sum_{k=1}^n W_k^\Delta \right)$;
- $C_\Sigma(\tau)$ – функция времени суммарных затрат на реализацию процедур оптимального управления электропотреблением на объектах техноценоза $\left(C_\Sigma = \sum_{k=1}^n C_k \right)$;
- $sc_\Sigma(\tau)$ – функция времени усредненного тарифа на электроэнергию, предъявляемого техноценозу $\left(sc_\Sigma = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n sc_k \right)$.

Информация, сосредоточенная в ZP-матрице (5.48), может быть использована в качестве исходных данных для решения двух взаимосвязанных задач: 1) моделирование процесса электропотребления техноценоза на среднесрочную перспективу (5 – 7 временных интервалов); 2) информационное обеспечение экстремальной стратегии ситуационного управления электропотреблением объектов техноценоза.

Первая задача, заключающаяся в моделировании значений электропотребления объектов техноценоза на каждом из исследуемых временных интервалов, решается с помощью описанных выше преобразующих функций (4.27) и (4.28), параметры которых получаются путем статистической обработки данных из матриц (5.44) – (5.48). При моделировании возможна отработка инерционного сценария развития техноценоза, а также различных сценариев, связанных с управляющим воздействием, формирующимся с помощью выражений (4.33) и (4.34). Простейшая методика задания управляющего воздействия аналитически описана в выражении (4.35).

Как было заявлено, экстремальная стратегия ситуационного управления электропотреблением объектов техноценоза связана с нахождением оптимальной стратегии (оптимальной экстремали для общего случая вариационного счисления), минимизирующей критерий-функционал (5.24), удовлетворяющий уравнению Гамильтона – Якоби (5.25). В условиях дискретного времени, с учетом полученного ранее критерия эффективности оптимального управления электропотреблением техноценоза (см. (5.16) – (5.19)), численное решение функционального уравнения (5.26) заключается в шаговой конструкции класса оптимальных стратегий для некоторого класса начальных состояний. В условиях численной реализации, при решении вариационной задачи с «закрепленными концами» применительно к исходным данным, сосредоточенным в матрицах (5.44) – (5.48), критерий-функционал (5.24) вырождается в аддитивный критерий вида:

$$IP(\{W_k^t\}, \{C_k^t\}, \{sc_k^t\}) = \sum_{t=1}^m \sum_{k=1}^n \left(\frac{W_k^1 \cdot sc_k^1 - W_k^{t+1} \cdot sc_k^{t+1}}{W_k^{\Delta 1} \cdot sc_k^1 + C_k^{t+1}} \right) \rightarrow \max, \quad (5.49)$$

- где $\{W_k^t\}$ – матрица значений электропотребления k -го объекта техноценоза на t -ом временном интервале;
- $\{C_k^t\}$ – матрица затрат на реализацию процедур оптимального управления электропотреблением;
- $\{sc_k^t\}$ – матрица значений тарифа на электроэнергию для k -го объекта техноценоза на t -ом временном интервале;
- W_k^1 – значение электропотребления k -го объекта на начальном этапе моделирования;
- $W_k^{\Delta 1}$ – значение расчетного дифлекс-параметра k -го объекта на начальном этапе моделирования;
- sc_k^1 – значение тарифа, предъявляемого k -му объекту на начальном этапе моделирования.

Постановка задачи ситуационного управления в данном случае выглядит следующим образом. Требуется за расчетное число временных интервалов ($t = 1 \dots m$) привести электропотребление техноценоза, включаю-

шего n -объектов, из начального состояния, характеризующегося вектором значений электропотребления $\{W_k^1, k = 1 \dots n\}$, в конечное, описываемое вектором $\{W_k^1 - W_k^{\Delta 1}, k = 1 \dots n\}$. При этом, варьируя векторами текущих значений электропотребления $\{W_k, k = 1 \dots n\}$ и текущих затрат на управление электропотреблением $\{C_k, k = 1 \dots n\}$, а также матрицей тарифов на электроэнергию $\{sc_k^t, t = 1 \dots m, k = 1 \dots n\}$, требуется максимизировать аддитивный критерий $IP(\{W_k^t\}, \{C_k^t\}, \{sc_k^t\})$, записанный в (5.49).

Некоторое упрощение задачи может быть достигнуто выведением из числа переменных варьирования матрицы тарифов на электроэнергию. При этом получаем, так называемый, сценарный вариант, когда оптимизация осуществляется только по двум переменным, однако несколько раз – применительно к различным фиксированным тарифным матрицам, отражающим вероятные сценарии развития ситуации на рынке электроэнергии. В качестве решения задачи должны быть получены две матрицы: значений электропотребления $\{W_k^t, t = 1 \dots m, k = 1 \dots n\}$ и текущих затрат на управление электропотреблением $\{C_k^t, t = 1 \dots m, k = 1 \dots n\}$. По сути, это не что иное, как оптимальный ZP-план энергосбережения техноценоза.

После точной постановки задачи ситуационного управления перейдем собственно к методологии оптимизационного процесса. Как было показано выше (см. рис. 4.15 и выражения (4.40) – (4.42)), в условиях данной постановки, достаточно эффективным (и, видимо, единственно возможным) является метод наискорейшего подъема с использованием одномерного поиска. В качестве конечного аналитического ядра целевой функции оптимизации принимается формируемый имитационной моделью управления электропотреблением объектов техноценоза интегральный показатель эффективности IP . В соответствии с критерием (5.49), в процессе оптимизации функция должна максимизироваться. Аналитическая постановка задачи, при этом, формально выглядит следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^t \phi(\{W_k^j\}) \xrightarrow{t=1 \dots m} \max, \\ \phi(\{W_k^j\}) = \sum_{k=1}^n \left(\frac{W_k^1 \cdot sc_k^1 - W_k^j \cdot sc_k^j}{W_k^{\Delta 1} \cdot sc_k^1 + (W_k^{j-1} - W_k^j) \cdot sc_k^j} \right); \\ \phi(\{W_k^{j=1}\}) = 0; \\ W_k^1 - W_k^j \leq W_k^{\Delta 1}, \quad k = 1 \dots n; \\ W_{\Sigma}^1 - W_{\Sigma}^j \leq W_{\Sigma}^{\Delta}, \quad k = 1 \dots n; \quad j = 1 \dots (t+1), \end{array} \right. \quad (5.50)$$

где $\phi(\{W_k^j\})$ – целевая функция на j -ом этапе итерационного процесса оптимизации;
 j – формальная переменная суммирования.

К системе (5.50) необходимо сделать ряд пояснений. Во-первых, рекуррентное критериальное выражение, записанное в первой и второй строках системы, является однопараметрическим вырожденным вариантом критерия (5.49), учитывающим линейную связь между параметрами электропотребления и затрат на энергосбережение ($C_k^{j+1} = (W_k^{j-1} - W_k^j) \cdot sc_k^j$), а также принцип оптимальности Беллмана и фиксированный сценарий тарифной политики на рынке электроэнергетики. Во-вторых, ограничение, записанное в четвертой строке, определяет условие завершения корректировки значения электропотребления любого объекта техноценоза, удовлетворяющего данному условию. В-третьих, ограничение, записанное в пятой строке, задает условие полной остановки оптимизационного процесса.

Какова же технология оптимизационного процесса с использованием постановки (5.50). Прежде всего, по результатам имитационного моделирования процесса электропотребления с использованием динамических функций ZP-матрицы (5.48) получают матрицу модельных значений электропотребления объектов на глубину 5 – 7 временных интервалов для инерционного варианта развития техноценоза. После этого с использованием матриц (5.44) – (5.46) осуществляется определение Z-потенциалов энергосбережения, начального и конечного состояния техноценоза, а также требуемого количества итераций оптимизационного процесса.

Затем циклично осуществляется одномерный поиск в направлении наискорейшего подъема с использованием выражений (4.41) и (4.42):

$$w_k^{\text{new}} = w_k^{\text{old}} + h_k G, \quad (5.51)$$

где w_k^{new} – новое значение электропотребления k -го объекта;
 w_k^{old} – старое значение электропотребления k -го объекта;
 h_k – k -ый коэффициент в ортогональном разложении градиента целевой функции (5.50);
 G – априорно принимаемый параметр, нормирующий шаги наращивания оптимизируемого параметра и, тем самым, задающий скорость оптимизационного процесса.

Ортогональное разложение градиента определенной в (5.50) целевой функции относительно единичного вектора $\{e_k\}$, компоненты которого направлены вдоль осей координат, выглядит следующим образом:

$$\frac{\partial \phi}{\partial w_1} \{e_1\} + \frac{\partial \phi}{\partial w_2} \{e_2\} + \dots + \frac{\partial \phi}{\partial w_k} \{e_k\} + \dots + \frac{\partial \phi}{\partial w_n} \{e_n\}. \quad (5.52)$$

Коэффициенты в (5.52) получаются путем численного расчета:

$$h_k = \frac{\partial \phi}{\partial w_k} / \sqrt{\left(\sum_{j=1}^n \frac{\partial \phi}{\partial w_j} \right)^2}. \quad (5.53)$$

Получив одномерный оптимум в направлении данного градиента, находят новый градиент и повторяют процесс (рис. 5.10).

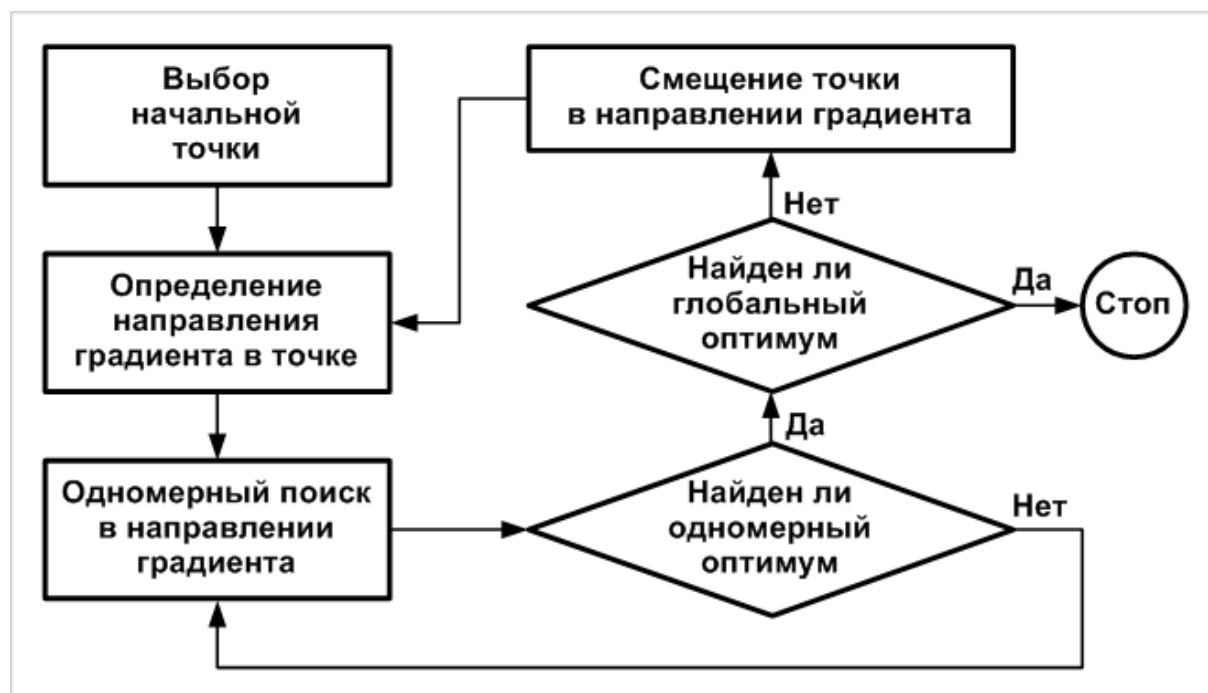


Рис. 5.10. Алгоритм оптимизационного процесса

Если компоненты вектора градиента не могут быть вычислены непосредственным дифференцированием целевой функции, то приближенные значения частных производных в непосредственной окрестности рассматриваемой точки можно найти методом «приближения секущей» [19,20]:

$$\frac{d\phi}{dw_k} \cong \frac{\phi(w_1, w_2, \dots, w_k + \Delta, \dots, w_n) - \phi(w_1, w_2, \dots, w_k, \dots, w_n)}{\Delta}, \quad (5.54)$$

где $d\phi/dw_k$ – первая производная целевой функции по k -му варьируемому параметру w_k ;
 Δ – небольшое смещение в направлении w_k .

Таким образом, одной из ключевых процедур оптимального управления техноценозом является процедура потенцирования. Она заключается в определении потенциала энергосбережения, на величину которого на данном временном интервале может быть сокращено электропотребление техноценоза без ущерба его нормальному функционированию. Потенциал энергосбережения – полученная 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. Тонким дополнением к стандартной процедуре потенцирования является ZP-анализ, под которым понимается тонкая процедура оптимального управления электропотреблением, осуществляемая на этапе потенцирования с целью разработки ZP-плана энергосбережения техноценоза. В основе ZP-анализа лежит методика оценки Z-потенциала, причем в качестве конечного рассматривается ранговое параметрическое распределение, соответствующее нижней границе переменного доверительного интервала, полученного в процедуре интервального оценивания после ZP-нормирования – процедуры пересчета электропотребления объектов внутри функциональных групп техноценоза на основе реально существующих графиков нагрузок и лучших внутригрупповых показателей электропотребления. ZP-планирование предусматривает для каждого объекта на каждом временном интервале управляющие воздействия, поставленные в зависимость от дифлекс-параметров. Процедуры ZP-нормирования и ZP-планирования выступают основными элементами ZP-модуля оптимального управления электропотреблением, причем ZP-нормирование имеет целью определение Z-потенциала техноценоза и в этом смысле является подготовительной процедурой к ZP-планированию. Основным результирующим документом ZP-анализа является ZP-план энергосбережения, который предполагает предъявление каждому объекту техноценоза на каждом временном интервале индивидуальной нормы снижения электропотребления. С целью гарантированного выполнения норм вводится система поощрения объектов техноценоза за успехи в экономии электроэнергии и для этого, как часть общего ZP-плана, создается план премирования и инвестиций. Важным элементом ZP-анализа является мониторинг результативности процесса энергосбережения, который осуществляется с помощью показателя конверсии. Данный показатель позволяет оценить, насколько адекватно премиальные средства, определенные по итогам ZP-планирования, конвертировались в фактическое снижение электропотребления.