

10% отдельные прогнозные уравнения и избежать грубых ошибок в оценке тенденций развития региона в целом.

Таким образом, устойчивость ранговой поверхности H -распределения (динамики первого рода), высокая степень согласованности и взаимокompенсированности траекторий электропотребления предприятий структурно-топологической динамики ставят вопрос учета ценологического фактора - всех на одно при прогнозировании развития электропотребления предприятий выделенной территориально-административной системы. Для решения расчета потребности в электроэнергии и проблем энергосбережения, нами выделяется три группы предприятий по ранговому H -распределению, которые требуют различного подхода в зависимости от их места в ценологической классификации:

- 1) самые крупные предприятия первой касты, образующие первую точку рангового H -распределения (регионообразующее предприятие №7);
- 2) средние предприятия поинтер-касты (75 предприятий персонифицированного учета свыше 750 кВА);
- 3) мелкие и мельчайшие предприятия виртуальной касты (применительно к Хакасии их более 1000).

Таким образом: 1) уравнение баланса динамик двух родов рангового H -распределения по электропотреблению предприятий республики Хакасия позволяет верифицировать расчеты в потребности электроэнергии классическими способами прогноза; 2) Структурно-топологическая динамика электропотребления региона подтвердила устойчивость видовых распределений согласованность и взаимокompенсированность динамики временных рядов отдельных предприятий между собой.

3.2. Анализ, моделирование и прогнозирование электропотребления предприятий первой точки

3.2.1. Технология выделения предприятий первой касты

Первой кастой называется электропотребление одного или группы (при соблюдении определенных условий) предприятий, образующих первую точку аппроксимирующего рангового распределения (3.1.1.1). Процедура (технология) выбора первой точки (касты) формализована двумя условиями: Первое. Строится последовательность ранговых H -распределений, где в каждом последующем исключается предприятие с наибольшим электропотреблением до тех пор, пока у отбрасываемых предприятий на рассматриваемом временном интервале совпадает траектория электропотребления с траекторией первого ранга; Второе. В случае выполнения первого усло-

вия при исключении предприятия с наибольшим электропотреблением не происходит изменения рангового показателя β .

Исключенное предприятие (либо их сумма) с самым крупным электропотреблением при выполнении двух условий одновременно и образует первую касту может быть первой точкой в уравнении (3.1.1.1). Практика показывает, что первая каста состоит из одного-трех предприятий с крупнейшими значениями электропотребления. Для Хакасии при исключении предприятия № 7 ($r=1$) и СМК ($r=2$) первое условие выполняется, но при исключении СМК ранговый показатель β меняется в среднем на 10%, то есть второе условие не выполняется. Поэтому на временном интервале с 1986-1999 гг. первую касту (точку) образует одно предприятие - предприятие № 7, которое необходимо рассматривать отдельно, на которое не оказывают влияние внешние условия и которое само оказывает существенное влияние как внешний фактор на все остальные, является системообразующим, градообразующим, регионообразующим. Процедура определения первой касты - пошаговое исключение предприятий с $r=1$ применительно к Хакасии изображены на рис. 3.2.1.1.

В общем случае первой точкой могут быть меняющиеся предприятия. Первый ранг на протяжении рассматриваемого периода принадлежал: в 1979-1981гг. Тейскому рудоуправлению, в 1982-1985 гг. - УС КГЭС, с 1986г. - предприятию №7. Решение задачи прогнозирования $A_1(t)$ - это одновременно и задача прогнозирования электропотребления одного, самого крупного - регионообразующего предприятия №7. Моделирование $A_1(t)$ также необходимо для моделирования поверхности (3.1.1.2).

3.2.2. Динамика, модели и прогнозирование электропотребления предприятий первой касты

Для разработки моделей электропотребления предприятий и региона в целом применима экстраполяция - классический метод технического анализа, учитывающий сложившуюся тенденцию развития процесса (в данном случае динамика электропотребления и ее долговременная эволюция). Обычно тенденцию стремятся представить в виде более или менее гладкой кривой, которой соответствует некоторая функция времени. Это кривая (тренд) характеризует основную закономерность движения, хотя и не свободна от случайных воздействий. Для нахождения параметров приближенных зависимостей между прогнозируемыми величинами по их эмпирическим значениям, использован метод наименьших квадратов. На его основе установлено, что, например, в 1989 г. временной ряд электропотребления предприятия №7 наилучшим образом отображается квадратичной параболой, $x = t$ (год):

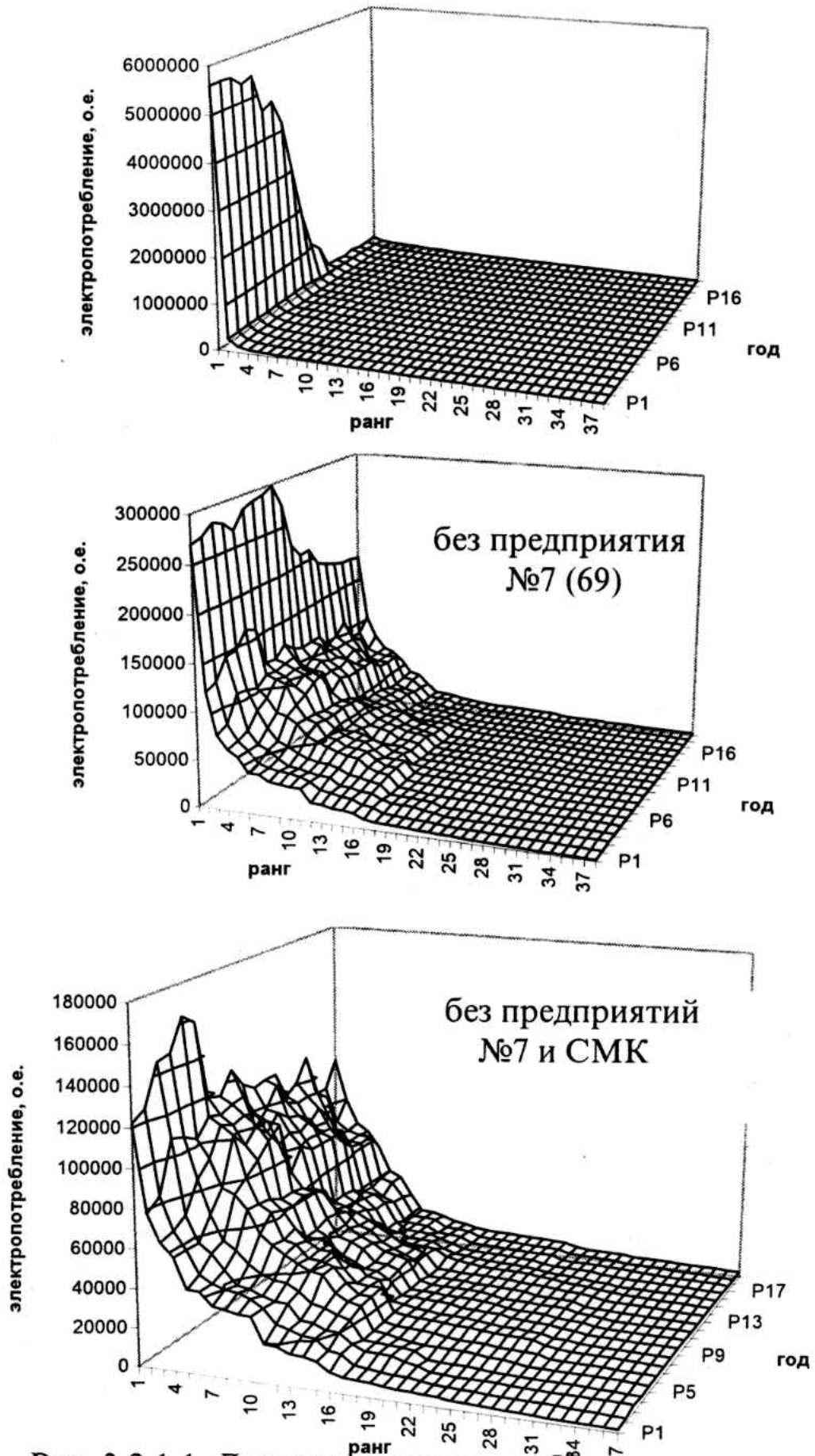


Рис. 3.2.1.1. Динамика рангового H -распределения первого рода.

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2; \quad (3.2.2.1)$$

с 1985 по 1989 год - прямой:

$$y = a_0 + a_1 x. \quad (3.2.2.2)$$

оба вида уравнений и другие используются нами для нахождения математической модели динамики электропотребления (уравнения подбираются автоматически и хранятся в базе данных, превращаясь постепенно в базу знаний).

В течении анализируемого периода значения параметров тренда и его структура претерпевают изменения. Аппроксимирующая модель должна "отслеживать" эти изменения. Задача осложняется тем, что "переключения" тренда происходят на фоне случайной ошибки ε . Трудно отличить, является ли отклонение нового наблюдения от ожидаемого следствием влияния только ε или оно произошло в результате изменения тренда. Для отслеживания случайной помехи и возможных изменений параметров и структуры тренда использовано сглаживание с помощью скользящей средней, которое основано на взаимном погашении случайных отклонений. В качестве первого осредненного сглаживающего значения берется значение S_1 , полученное путем осреднения первых n_0 значений ряда y_1, \dots, y_n :

$$S_1 = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_{n_0}}{n_0}. \quad (3.2.2.3)$$

Для S_2 исключается y_1 , а добавляется y_{n_0+1} . Или в общем виде:

$$S_t = S_{(t-1)} + \frac{y[t + (n_0 - 1)] - y(t-1)}{n_0}. \quad (3.2.2.4)$$

При данном сглаживании для получения прогнозных величин используются только последние n_0 наблюдений, а все предыдущие забываются. Поэтому и вводится дополнительное экспоненциальное сглаживание - процедура сглаживания значений временного ряда y_1, \dots, y_n , в которой веса при наблюдениях убывают во времени в геометрической прогрессии (по экспоненте). Заменяв $1/n_0$ величиной $0 < \alpha < 1$, в общем виде получаем оператор экспоненциального сглаживания

$$C_{(t)} = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot C_{(t-1)}, \quad (3.2.2.5)$$

из которого следует, что текущее сглаженное значение $C_{(t)}$ является линейной комбинацией всех наблюдений, вес которых убывает со временем. Текущее наблюдение y_t имеет вес α . Значение $\alpha = 0$ соответствует

$p_0 = \infty$ при этом $C_t = C_{(t-1)}$: значение C настолько стабильно, что можно не использовать новую информацию о процессе. При $\alpha = 1$, что соответствует $p_0 = 0$, прошлая информация не учитывается, а во внимание принимается только текущее значение y_t . То есть, если α близко к нулю, то веса, с которыми берутся наблюдения временного ряда, убывают очень медленно и в прогнозе участвуют все или почти все прошлые наблюдения, если α близко к единице, то учитываются влияния лишь последних наблюдений [309].

Таким образом, для описания динамики электропотребления предлагаются: -линейный или квадратичный многочлен; -линейные уравнения с экспоненциальным "отслеживанием" оценки коэффициентов. Результаты прогнозирования иллюстрируются рис. 3.2.2.1.

При прогнозировании электропотребления необходимо выбрать оптимальную длину предыстории, что позволит использовать модель, обеспечивающую адекватность моделирования при самых неблагоприятных для вычисления сочетаниях исходных данных. Для выбора оптимальной длины предыстории исходный временной ряд $y_1, y_2, \dots, y_{t-1}, y_t$ преобразуется в серии рядов, из которых выбирается наилучшее уравнение:

$$I - y_1, y_2, \dots, y_{t-1}; \quad II - \begin{cases} y_1, y_2, \dots, y_{t-2} \\ y_2, y_3, \dots, y_{t-2} \\ \dots \\ y_{t-3}, y_{t-2}, y_{t-1} \end{cases}; \quad t - \begin{cases} y_1, y_2, \dots, y_3 \\ y_2, y_3, y_4 \\ \dots \\ y_{t-3}, y_{t-2}, y_{t-1} \end{cases} \quad (3.2.2.6)$$

Для всех исходных уравнений в каждой серии для каждого ряда методом наименьших квадратов рассчитываются коэффициенты a_0, a_1, a_2 . Затем по уравнению для каждого ряда проводится прогноз на следующий для каждого ряда период времени: для I серии - период t , для второй - период $t-1, t$ и т. д. Критерий выбора уравнения является минимум ошибки:

$$\delta = \min_j \left(\sum_{k=1}^j \left[\frac{y_{np}^k - y_f^k}{y_f^k} \right]^2 \right)^{1/2}, \quad (3.2.2.7)$$

где j - номер серии; k - количество рядов в серии; y_{np}^k, y_f^k - прогнозируемое и фактическое значения для k -го ряда.



Рис. 3.2.2.1. Процентный состав предприятия №7 в суммарном электропотреблении

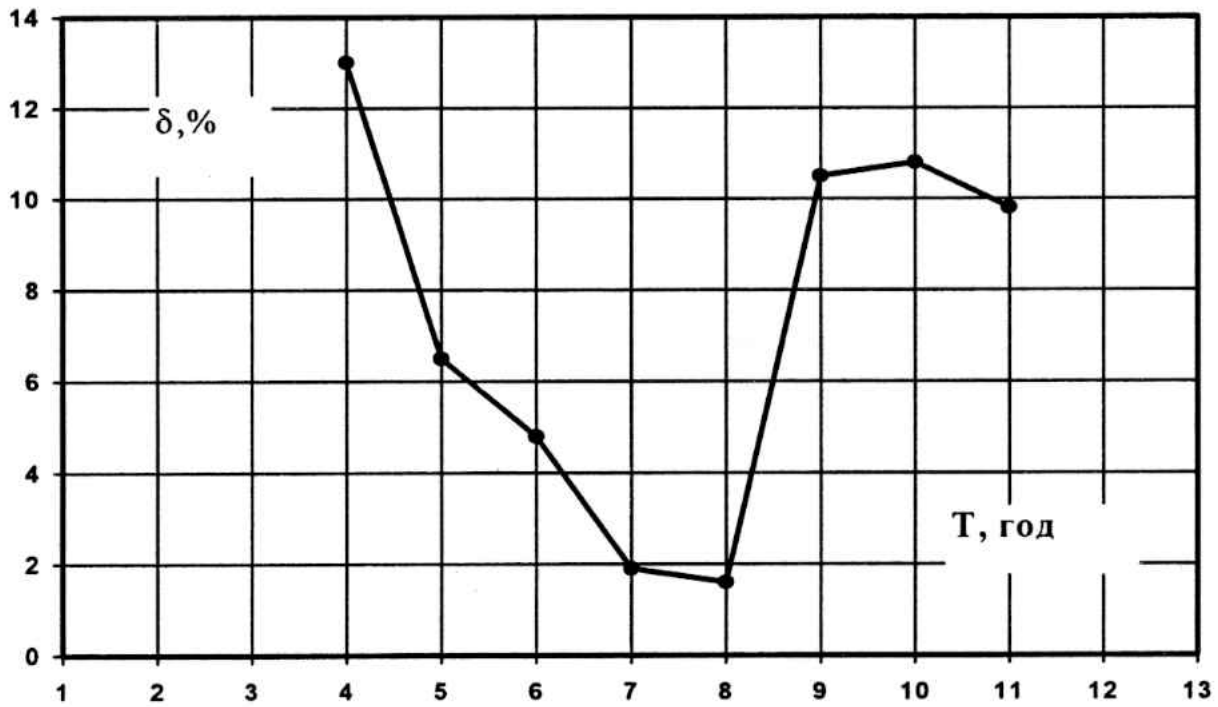


Рис. 3.2.2.2. Зависимость величины средней ошибки прогнозирования от длины предыстории

Для выбранного уравнения оптимальная длина предьстории определяется как длина серии, в которой достигается минимум ошибки δ [7]. Например, для предприятий и Хакасии в целом минимальная ошибка $\delta_{\min} = 0,016$ наблюдается при длине ряда - 8 членов, то есть оптимальная длина предьстории восемь лет (рис. 3.2.2.2). Математическая модель в основном - квадратичный многочлен. Длина предьстории в восемь лет позволяет учесть качественные изменения временного ряда электропотребления и наиболее полно использовать его при проведении расчетов. Область применения предлагаемой модели краткосрочное и среднесрочное прогнозирование. При этом применение более длинного временного ряда не имеет смысла, так как с течением времени информация стареет и достоверность ее может быть поставлена под сомнение. Выбранная длина оптимизирует информационный банк электропотребления и обеспечивает надежные расчеты в условиях ограниченного объема исходной информации.

Учитывая длину предьстории и определяя начальные экспоненциальные средние при $\alpha = 0,8$ получены результаты прогнозирования электропотребления предприятия № 7 с ошибкой 0,17-2,12% за время выполнения расчетов в 1987 - 1998 гг.

Модель прогнозирования электропотребления предприятия №7 в функции параметров производства так же имеет место. Производственный процесс определяется цехами производства алюминия электролизом и характеризуется минимальными изменениями электрической нагрузки в течении смены, суток, недели, месяца, устойчивой технологией и однородной продукцией [246, 247]. Установлен удельный расход электроэнергии на тонну алюминия. Статистически зависимость удельного электропотребления представляет собой нормальный закон распределения. Отсутствует зависимость электропотребления от времени суток, дней недели. Это позволяет с погрешностью 0,6-1,0% прогнозировать объем годового электропотребления.

Таким образом:

1. Разработаны модели прогнозирования первой точки рангового распределения как электропотребления регионообразующего предприятия с учетом оптимальной длины предьстории;

2. Показано, что на динамику электропотребления предприятий первой касты не оказывает влияния ценологический фактор, так как данная группа предприятий сама является ценозообразующей и влияет на развитие всей экономики и, в частности, на электропотребление каждого из остальных предприятий.