

## **О ПОВЫШЕНИИ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СУБЪЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ (часть 2)**

*Представлена методика оценки устойчивости электроэнергетического обеспечения субъектов Российской Федерации, имеющая существенное значение для управления электроэнергетической безопасностью экономики и территорий Российской Федерации в условиях чрезвычайных ситуаций (часть 1 опубликована в предыдущем номере журнала).*

*Ключевые слова: технический анализ, электроэнергетическое обеспечение.*

**V.A. Sednev, A.V. Smurov**

## **ABOUT INCREASING SUSTAINABILITY OF ELECTRICITY ENSURING OF RUSSIAN FEDERATION SUBJECTS (part 2)**

*Presents a methodology for assessing the sustainability of electricity ensuring of Russian Federation subjects, having essential significance to management of electricity safety economy and territories of the Russian Federation (part 1 was published in the previous issue).*

*Key words: technical analysis, electricity ensuring.*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 10 сентября 2014 г.

### **Методика оценки устойчивости электроэнергетического обеспечения субъектов Российской Федерации в условиях чрезвычайных ситуаций**

Методика предназначена для оценки устойчивости электроснабжения потребителей **электроэнергетического обеспечения (ЭЭО)** территорий, и обоснования, на этой основе, мероприятий по **повышению устойчивости функционирования (ПУФ) региональных систем электроэнергетики (РСЭЭ) в чрезвычайных ситуациях (ЧС)**, впервые используя для этих целей техноценологический подход, относящийся к одному из наиболее общих законов развития технической системы. Специфика техноценологической методологии заключается в том, что она имеет отношение к негауссовым системам и базируется на теории устойчивых безгранично делимых негауссовых гиперболических  $H$ -распределений [1, 2, 5], – эти системы не могут быть описаны в рамках имитационного моделирования, основанного на традиционной гауссовой теории вероятностей и математической статистике, в основу которых положены центральная предельная теорема и закон больших чисел.

Применение методики позволяет максимизировать эффективность ЭЭО объектов в условиях ресурсных ограничений и минимизировать влияние фактора неопределённости при планировании их электропотребления, а также разработать рекомендации по оптимизации существующих структур видового со-

става электротехнических средств отдельных объектов и систем электроснабжения и электроэнергетических систем субъектов Российской Федерации.

Основным инструментом методики является ранговый  $H$ -анализ, предполагающий применение одного из трех видов гиперболических  $H$ -распределений (табл. 1) [1, 2]: ранго-видового, видового или рангового по параметру. Ранго-видовое  $H$ -распределение характеризует пропорции между численностью видов различных средств или изделий, видовое – между численностью каст, ранговое по параметру  $H$ -распределение служит для описания системы по выделенному параметру.

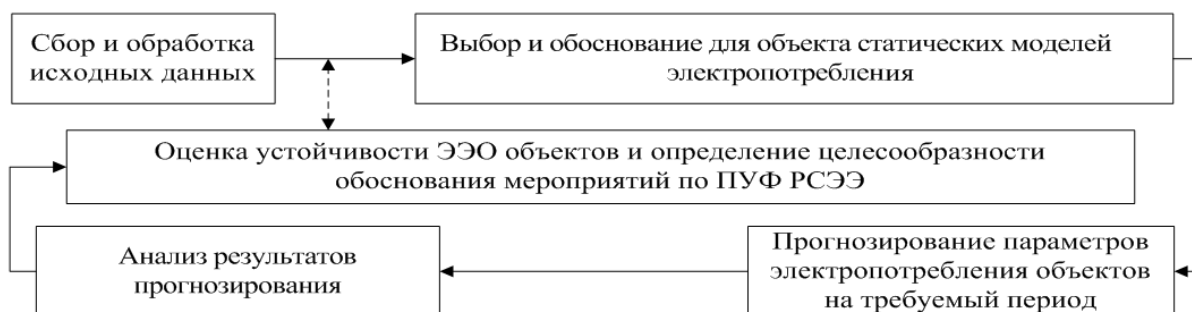
Таблица 1

**Математическое представление  $H$ -распределения**

Распределение	Ось абсцисс	Ось ординат	Форма записи
Видовое	Число изделий в виде (численность популяции). Дискретно	Количество видов с одинаковым количеством изделий. Дискретно	$\Omega(x) = W_0/x^{1+\alpha}$
Ранго-видовое	Ранг. Дискретно	Количество изделий в виде. Дискретно	$\Lambda(r) = B/r^\beta$
Ранговое по параметру		Значение параметра. Непрерывно	$W(r) = W_1/r^\beta$

Учитывая, что электропотребление непрерывно, исследование проводится в ранговой форме. Суть методики заключается в использовании данных по электропотреблению объектов, их обработке математическими методами, получении зависимости, связывающей указанные характеристики со временем, и прогнозировании объёмов электропотребления на заданный момент времени.

Соответственно, основные этапы методики включают (рис. 1) [1, 4]: сбор и обработку исходных данных по электропотреблению; выбор и обоснование для объекта статических моделей; обработку информации об объекте исследования, её уточнение и факторов, влияющих на устойчивость развития объекта по электропотреблению; непосредственно прогнозирование, то есть получение характеристик объекта на заданный момент времени; обоснование мероприятий по повышению устойчивости функционирования РСЭЭ и электроснабжения потребителей.



**Рис. 1.** Блок-схема обобщённого алгоритма оценки устойчивости и прогнозирования параметров электропотребления объектов РСЭЭ

Первым этапом методики является сбор и обработка исходных данных по электропотреблению объектов РСЭЭ, включая:

- собственно сбор данных по ЭЭО объектов, при этом осуществляется создание базы данных, которая может включаться в состав информационно-аналитической системы и представляет отображение данных объектов по электропотреблению за выбранный временной период;

- оценку устойчивости ЭЭО объектов и определение целесообразности обоснования мероприятий по ПУФ РСЭЭ, используя показатели: устойчивости структуры, определяющей уровень удовлетворения потребностей объектов в электроэнергии; подготовленности системы к устойчивому функционированию, обеспечивающему выполнение требований по повышению устойчивости; обоснованности мероприятий по ПУФ системы, опирающийся на эффективность мероприятий, характеризуемую приростом показателя устойчивости, где ожидаемый прирост определяется с учётом реализации предполагаемого комплекса мероприятий и без него, и затраты, рассчитываемые с учётом возможного эффекта от безаварийной работы систем электроснабжения и бесперебойного электроснабжения потребителей, а также сроки разработки и осуществления мероприятий.

При принятии решения о необходимости разработки мероприятий по ПУФ РСЭЭ осуществляется уточнение и исследование дополнительных данных по электропотреблению объектов, выявление и исключение некорректных значений, замена их истинными или расчётными с использованием формальных методов анализа, имея ввиду, что наиболее совершенными методами восстановления данных являются [1, 3]:

- метод сглаживания с использованием скользящей средней;
- метод экспоненциального сглаживания;
- метод наименьших квадратов, являющийся наиболее точным в отношении ошибки приближения эмпирических данных теоретической кривой;

- выделение исследуемой *электроэнергетической системы (ЭЭС)* и её объектов-потребителей, основываясь на понятиях техноценологического подхода: выделяется ценоз – РСЭЭ, которая может состоять из одной или нескольких ЭЭС, при этом для энергосистемы вводится понятие "вид", формирующее представление об объектах ценоза, по сути, представление о входящих в неё подразделениях; из системы выделяется семейство элементарных потребителей РСЭЭ (или РСЭЭ в рамках Единой национальной энергетической системы России), далее выделяется соответствующий объектам исследуемый параметр – месячное (годовое) электропотребление;

- ранжирование объектов по электропотреблению, под которым понимается присваивание каждому из них ранга  $r$  – целого числа в порядке убывания исследуемого параметра электропотребления  $W_r$ , при этом объект-потребитель, имеющий максимальное электропотребление  $W_{\max}$ , получает ранг  $r = 1$ , а объекту-потребителю, имеющему минимальное электропотребление, будет присвоен ранг  $r = n$ , где  $n$  – количество исследуемых объектов. Определить пра-

вильность распределения рангов позволяет соотношение, где общая сумма рангов должна совпадать с расчётной. В результате формируется ранговое  $H$ -распределение объектов техноценоза.

*Следующим этапом методики* является выбор и обоснование для объекта моделей электропотребления, при этом распределение значений подчиняется гиперболическому  $H$ -распределению, опирающемуся на бесконечно делимые распределения [1, 2, 5].

Подбор зависимости, наилучшим образом описывающей совокупность значений электропотребления объектов РСЭЭ, выполняет аппроксимация эмпирических ранговых распределений, которая осуществляется несколькими методами, по результатам которых выбирается наиболее корректный. В качестве аппроксимационной модели предлагается использовать двухпараметрическую гиперболическую зависимость (табл. 1), основанную на применении рангового анализа. Под ранговым анализом понимают [1, 2] метод исследования больших технических систем (инфраструктурных объектов), имеющий целью их статистический анализ, а также оптимизацию, и полагающий в качестве основного критерия форму видовых и ранговых  $H$ -распределений.

Ранговое  $H$ -распределение объёмов электропотребления объектов-потребителей РСЭЭ является ранговым  $H$ -распределением по параметру, так как определено [2]: если фигурирует какой-либо из видообразующих параметров, то распределение является ранговым параметрическим, а если в качестве параметра рассматривается мощность популяции (численность), то  $H$ -распределение называется ранговым видовым, где ранжируются виды, а в параметрическом – параметры объектов исследования.

Описание структуры ценоза, осуществляемое ранговым по параметру  $H$ -распределением, является восходящим к ранговым распределениям Ципфа-Мандельброта и принимает вид [1, 2]:

$$W(r) = \frac{W_1}{r^\beta}, \quad (1)$$

где  $W(r)$  – значение электропотребления;

$r$  – соответствующий ранг конкретного объекта ценоза;

$W_1$  – максимальное значение параметра, которому соответствует первый ранг;

$\beta$  – ранговый коэффициент, задающий форму аппроксимирующей кривой.

При определении вида и параметров закона распределения неизбежны расхождения между фактическим и теоретическим распределениями, – оценить значимость расхождения позволяют критерии согласия, сводящиеся к проверке гипотезы о подчинении нормальному закону распределения. Учитывая, что исследование потребителей РСЭЭ сводится к методам технического анализа, целесообразно применение критерия Колмогорова А.Н. [1-3]. Суть его заключается в принятии в качестве меры расхождения максимального значения абсолютной величины разности между эмпирической функцией распределения  $F^*(x)$  и соответствующей теоретической функцией распределения  $F(x)$ .

Исследование  $\beta$  и  $W_1$  рангового  $H$ -распределения сводится к оценке данных параметров, при этом для их определения могут быть применены различные методы (максимума правдоподобия и др.), однако минимальная ошибка получена для метода наименьших квадратов.

Графическое отображение значений электропотребления объектов РСЭЭ позволяет контролировать достоверность статистических показателей и выявить аномальные значения для объектов ЭЭС.

Оптимизация ценоза осуществляется двумя путями: номенклатурная оптимизация, под которой понимается целенаправленное изменение состава ценоза, устремляющее ранговое  $H$ -распределение объектов РСЭЭ по форме к каноническому; параметрическая оптимизация – целенаправленное изменение параметров отдельных объектов-потребителей, приводящих РСЭЭ к более устойчивому и эффективному состоянию. Практика применения  $H$ -распределений [2] свидетельствует, что любой ценоз устойчив, если

$$0,5 < \beta < 2, \quad (2)$$

при этом оптимальное состояние достигается при значении  $\beta$ , близком к единице.

На основе результатов исследования моделей, оценивающих устойчивость ЭЭО объектов, и доказательства возможности использования для этих целей техноценологического подхода осуществляется *переход к этапу прогнозирования параметров ЭЭО* на требуемый период. Применительно к РСЭЭ, прогнозирование выполняется на основе моделей, отражающих процесс электропотребления объектов. Сравнение прогнозных результатов с фактическими данными позволяет для каждого из объектов РСЭЭ определить наиболее эффективный метод.

Прогноз  $W_1$  и  $\beta$  позволяет осуществить прогноз электропотребления по особям (объекту) и ценозу (ЭЭС или РСЭЭ) в целом. Таким образом, статистический анализ может быть представлен в виде поэтапного исследования: показателей  $\beta$  и  $W_1$  – динамики 1-го рода; и *структурно-топологической динамики (СТД)* – динамики 2-го рода [4, 6] с учётом взаимного влияния электропотребления объектов.

Прогнозирование на основе динамики 1-го рода включает следующие шаги:

- рассчитываются показатели  $\beta$  и  $W_1$  за известный период времени;
- за последний, перед прогнозным, период определяется расчётный ранг, равный значению проекции рангового  $H$ -распределения на ось времени:

$$r = \left( \frac{W_{1i+1}}{W_{ji+1}} \right)^{\frac{1}{\beta_{i+1}}}, \quad (3)$$

где  $W_{1i+1}$  – фактическое значение первой точки (объекта с рангом  $r = 1$ ) на последний интервал предыстории;

$W_{ji+1}$  – фактическое значение электропотребления остальных объектов-особей на известный последний год предыстории;

$\beta_{i+1}$  – ранговый коэффициент на известный последний интервал предыстории;

• принимая расчётный ранг неизменным, прогнозируется значение электропотребления на заданное число периодов вперёд:

$$W_{(i+1)n} = \frac{W_{1(i+1)n}}{r_{i+1}^{\beta_n}}, \quad (4)$$

где  $W_{1(i+1)n}$  – прогнозное значение аппроксимирующего коэффициента кривой  $H$ -распределения;

$\beta_n$  – прогнозное значение рангового коэффициента;

$W_{(i+1)n}$  – прогнозное значение электропотребления;

• оценивается ошибка прогноза и разрабатываются мероприятия по её устранению либо уменьшению.

Использование динамики 1-го рода основано на неизменности ранга объектов в структуре общего электропотребления ЭЭС и позволяет упорядочить применение существующих методов прогнозирования к траекториям объектов.

Недостатком существующих методов прогнозирования является короткий горизонт прогнозирования (1-2 года), что можно устранить при создании динамической модели, отражающей процесс электропотребления объектов (ЭЭС или РСЭЭ) на среднесрочную перспективу – 5-7 лет и более, и применении структурно-топологической динамики, которая заключается в построении системы моделей рангового  $H$ -распределения объектов по электропотреблению.

Структурно-топологическая динамика  $H$ -распределения имеет особенности. При сохранении формы кривой во времени состав рангов объектов изменяется, что является следствием их перераспределения по структуре при развитии РСЭЭ. Для оценки согласованности изменения траекторий СТД может применяться коэффициент конкордации Кендалла, который равен 1, если ранги или число особей распределения во времени не изменяются, и является общесистемной характеристикой, позволяющей сравнивать ценозы различной величины по степени влияния ценоза (системы) на траекторию развития отдельной особи (объекта) рангового распределения. Структурно-топологическая динамика может быть выполнена как процедура синтеза структуры  $H$ -распределения, которая состоит из: прогноза параметра рангового  $H$ -распределения по системе моделей и построения по прогнозным значениям  $H$ -распределения. Шаг прогнозирования различен, но длина предыстории по количеству точек при разных шагах у всего  $H$ -распределения может быть одинакова.

Использование СТД позволяет осуществить переход от негауссовых  $H$ -распределений статики к практическим методам решения на базе моделей характеристических показателей, новых и саранчёвых каст  $H$ -распределений ценозов (вложенных или соподчиненных).

Уравнение баланса динамик двух родов рангового  $H$ -распределения по электропотреблению объектов является основой моделирования для ценоза (РСЭЭ) в целом и отдельных объектов: суммарная величина электропотребления РСЭЭ, полученная путем прогнозирования ранговой поверхности (динамика 1-го рода), должна быть равна величине электропотребления РСЭЭ, полученной по прогнозам отдельных объектов. Уравнение баланса позволяет оце-

нить устойчивость ЭЭО объектов и РСЭЭ, уточнить потребности в ЭЭ классическими способами прогноза и выделить 3 группы объектов, требующих различного подхода: первая точка  $H$ -распределения; средние объекты поинтеркасты; объекты виртуальной касты.

Первую точку образует первая каста, включающая электропотребление одного или группы объектов [1, 2, 6]. Для получения моделей электропотребления объектов и системы следует применить классический метод технического анализа – экстраполяцию, учитывающий тенденцию развития электропотребления объектов РСЭЭ. Параметры зависимостей между прогнозируемыми величинами определяют по их значениям с применением метода наименьших квадратов, а их уравнения – основа модели динамики электропотребления. Для регистрации изменений параметров и структуры тренда используют сглаживание с использованием скользящей средней. Для прогнозирования электропотребления объектов выбирают такую длину предыстории, которая обеспечит минимум ошибки, – выбор оптимальной длины осуществляется преобразованием исходного временного ряда  $y_1, y_2, \dots, y_{t-1}, y_t$  в серии рядов, один из которых обеспечит наилучшее уравнение.

Группа объектов с электропотреблением, ряд которого определяет значение рангового показателя  $\beta$ , называется [2] поинтер-кастой (средние объекты  $H$ -распределения), – структуру её исследуют на основе анализа изменений рангов объектов по годам (СТД), при этом модели электропотребления, коэффициенты уравнений и преобладающие факторы индивидуальны для объектов, уровней РСЭЭ, времени потребления ЭЭ и целей. Выбор моделей рекомендуется осуществлять с использованием индикатора выбора моделей прогнозирования [6]:

$$A_k = \sum_{i=1}^r A(r, t) - \sum_{i=1}^r [A_i(t) - A_k(t)], \quad (5)$$

где  $A_k$  – электропотребление расчётного объекта.

Первая сумма получается моделированием траектории суммарного электропотребления ценноза и прогнозированием поверхности по динамике 1-го рода, для чего необходимы первая точка траектории и ранговый показатель  $\beta$ ; вторая сумма – электропотребление ценноза без искомой траектории. Разность между прогнозами даст величину электропотребления объекта.

Учитывая, что для малых потребителей количество необходимой ЭЭ определяют, опираясь на мощность единичных электроприемников, величина их электропотребления определяется как разность между отпущенной ЭЭ  $W_{\text{ЭЭС}}$  и учтенной  $W_r$  – суммой годового электропотребления объектов учёта:

$$W_B = W_{\text{ЭЭС}} - \sum_1^n W_r. \quad (6)$$

При этом необходимо проводить мероприятия, обеспечивающие контроль за потреблением ЭЭ малыми объектами и позволяющие перевести их в категорию объектов с применением моделей прогнозирования, для чего требуется построить  $H$ -распределение их видов деятельности по повторяемо-

сти, определить многочисленные и уникальные виды деятельности и развернуть видовое распределение в ранговое.

В отличие от существующих, методика оценки устойчивости электроэнергетического обеспечения и обоснования мероприятий по обеспечению электроэнергетической безопасности субъектов Российской Федерации в условиях чрезвычайных ситуаций позволяет, одновременно, обосновывать и прогнозировать параметры электропотребления объектов, уточнить состав СЭС на разных уровнях иерархических систем, основываясь на представлении об РСЭЭ как системе, имеющей внутреннюю постоянную устойчивую структуру.

### **Результаты применения методики на примере главных управлений МЧС России по субъектам Российской Федерации**

Методика оценки устойчивости электроэнергетического обеспечения субъектов Российской Федерации проверена на статистических данных *главных управлений (ГУ)* МЧС России по субъектам Российской Федерации (Белгородская, Владимирская, Воронежская, Ивановская, Костромская, Орловская и Смоленская области), входящих в *Центральный региональный центр (ЦРЦ)* МЧС России. Рассмотрению подлежал 201 объект. Данные использованы за период с 2002 г. по 2011 г.

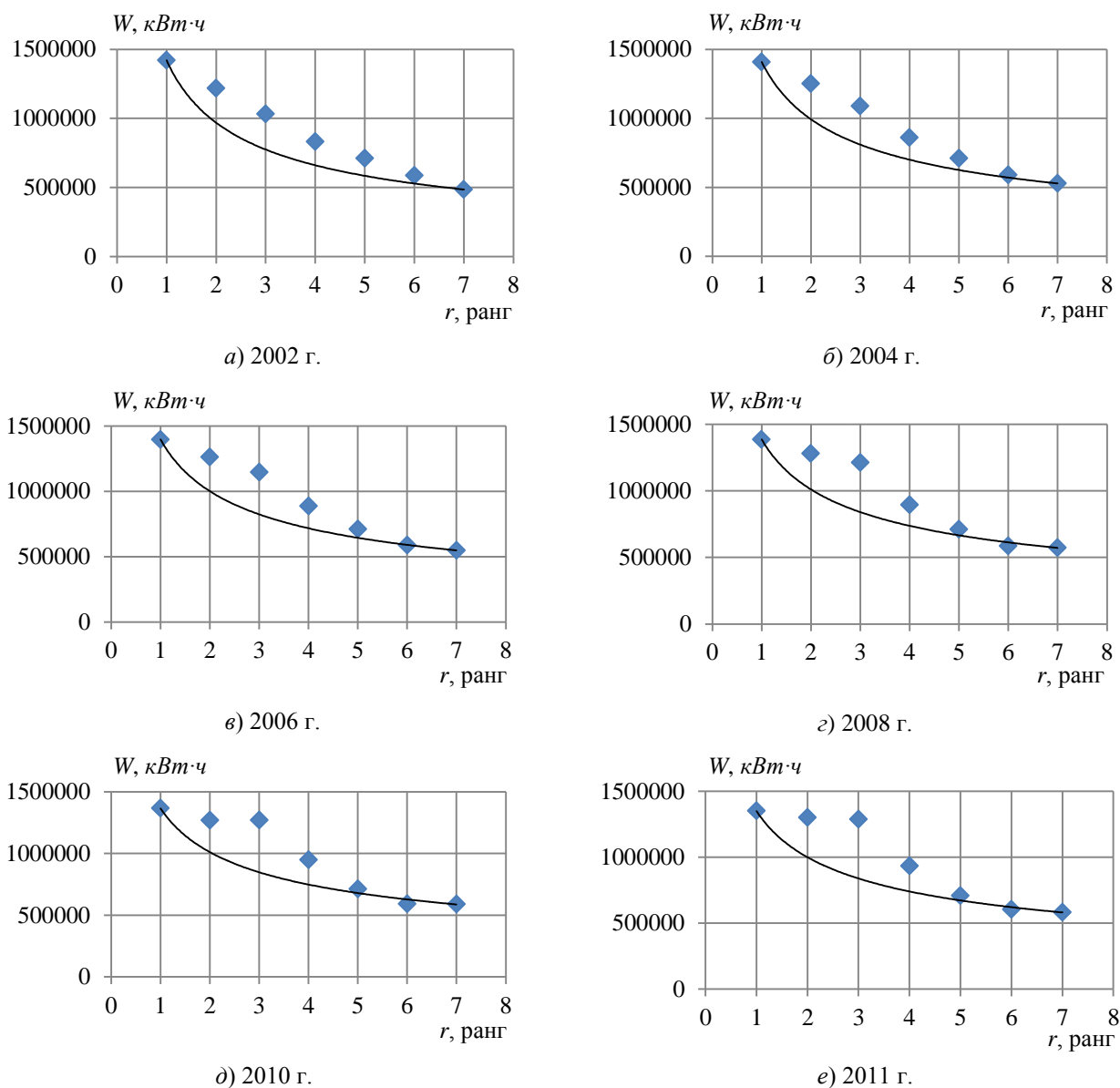
В качестве объектов исследований выделены региональные центры МЧС России (на примере ЦРЦ МЧС России) и ГУ МЧС России по субъектам РФ; выделено семейство объектов-потребителей – пожарные части ГУ МЧС России по субъектам РФ; выделен соответствующий объектам-потребителям исследуемый параметр – *годовое электропотребление*. Объекты проранжированы и первый ранг присваивался ГУ МЧС России по субъекту РФ с наибольшим электропотреблением. При этом особый интерес представляют ГУ МЧС России по субъектам РФ, изменяющие свой ранг в течение исследуемого периода.

Выбор и обоснование для объектов моделей по электропотреблению основывался на исследовании *H*-распределений, экспоненциальных, степенных и логарифмических видов распределений. Наилучшей моделью, описывающей характер электропотребления ГУ МЧС России по субъектам РФ с 2002 г. по 2011 г., фиксирующей первую и последнюю точки распределения, является модель *H*-распределения (рис. 2), при этом хорошие результаты также даёт экспоненциальная функция, однако при её использовании наблюдается значительное искажение значения электропотребления первой точки (18-25 %), что влияет на точность последующего прогнозирования.

Анализ результатов моделирования позволил выделить аномальные значения и определить ряд ГУ МЧС России по субъектам РФ, влияющих на устойчивость ЭЭО ЦРЦ МЧС России. Для уточнения параметров электропотребления объектов, электропотребление ГУ МЧС России по субъектам РФ может быть развёрнуто до отдельных подразделений (при наличии данных), при этом объекты также ранжируются и осуществляется выбор их моделей электропотребления.



Устойчивость ЭЭО ГУ и ЦРЦ МЧС России оценивается также характеристическим показателем  $\beta$ , который распределён по нормальному закону и для его оценки возможно использование математического ожидания. Анализ динамики показателя распределения  $\beta$  показал, что форма  $H$ -распределения во времени изменяется мало и, в целом, удовлетворяет для ЦРЦ МЧС России условию:  $-0,5 < \beta < 2$ .



**Рис. 2.** Модели электропотребления на основе  $H$ -распределения по ЦРЦ МЧС России (с 2002 г. по 2011 г.)

На основании результатов исследования устойчивости ЭЭО ЦРЦ МЧС России проведено прогнозирование параметров ЭЭО, считая данные за 2011 год неизвестными. Результаты прогнозирования параметров  $H$ -распределения по электропотреблению ЦРЦ МЧС России методом динамики 1-го рода (определение  $\beta$  и  $W_1$ ) представлены в табл. 2-3 и на рис. 3.

Таблица 2

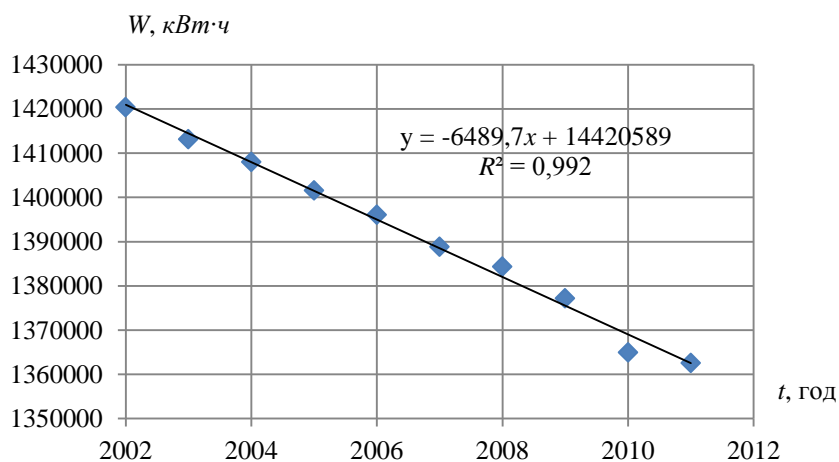
Выбор модели прогнозирования параметров  $W_1$  и  $\beta$ 

Параметр	Название функции	$R^2$	Формула
$\beta$	Линейная	0,9791	$y = -0,014x + 28,585$
	Степенная	0,988	$y = 2E + 193 x^{-58,6}$
	Экспоненциальная	0,9879	$y = 1E + 25e^{-0,029x}$
	Логарифмическая	0,9793	$y = -28,11 \ln(x) + 214,22$
$W_1$	Линейная	0,992	$y = -6493,3 x + 14420589$
	Степенная	0,9913	$y = 1E + 37 x^{-9,362}$
	Экспоненциальная	0,9913	$y = 2E + 10e^{-0,005x}$
	Логарифмическая	0,991	$y = -1E + 7 \ln(x) + 1E + 8$

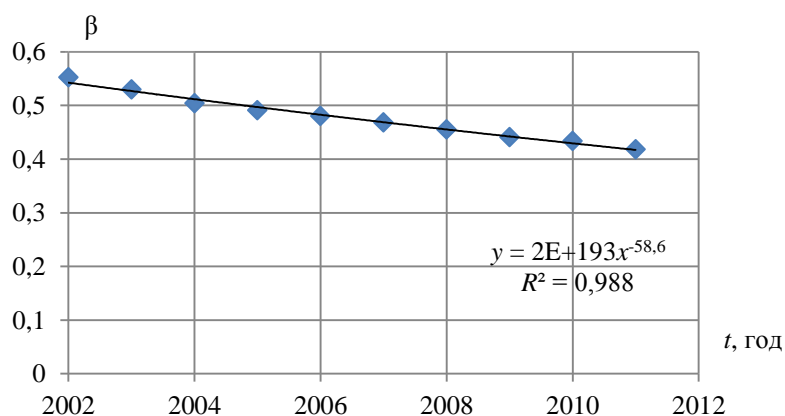
Таблица 3

Результаты прогнозирования показателей  $W_1$  и  $\beta$  на 2011 год за ЦРЦ МЧС России

Параметр	Прогнозные значения	Фактические значения	Ошибка, %
$\beta$	0,4184	0,433576	3,5
$W_1$	1362562,7	1350850	0,9



а) линейная функция



б) степенная функция

Рис. 3. Прогнозирование электропотребления первой точки ( $W_1$ ) и  $\beta$  на 2011 год рассматриваемыми функциями

В результате установлено, что показатели  $W_1$  и  $\beta$   $H$ -распределения не определяют его форму, при этом  $W_1$  наилучшим образом описывается линейной функцией, а  $\beta$  – степенной. Сравнительный анализ результатов прогнозирования с использованием классических моделей и динамики 1-го рода показан в табл. 4. Если значения  $W_1$  и  $\beta$  с 2002 г. по 2011 г. уменьшаются, то общее электропотребление ЦРЦ МЧС России растёт, и значения его за 2011 г. существенно отличаются, по сравнению с 2002 г., поэтому, исследовав длину предыстории, для прогноза выбран период с 2005 г. по 2011 г.

Таблица 4

**Обобщённые результаты прогнозирования электропотребления  
ЦРЦ МЧС России на 2011 год**

Метод прогнозирования	Прогноз электропотребления, кВт·ч	Фактическое электропотребление, кВт·ч	Ошибка, %
Динамика 1-го рода	6039991	6763876	11,9
Динамика 2-го рода	6098702		9,8
Классический метод прогнозирования	4841216		28,43

Если требуется уточнить параметры электропотребления, используют динамику 2-го рода, когда рассматривается тенденция движения каждой точки (табл. 4).

Таким образом, упорядочивание применения классических методов прогнозирования параметров электропотребления для оценки устойчивости ЭЭО территорий позволяет уточнить расчёты при использовании динамики 1-го и 2-го родов, соответственно, на 16,5 % и 19 %.

Это позволяет рационально использовать ЭЭ и финансовые средства и снизить вероятность принятия неправильного решения по повышению устойчивости ЭЭО объектов. На основе прогнозных значений параметров ЭЭО объектов обосновываются мероприятия по повышению устойчивости функционирования РСЭЭ в условиях чрезвычайных ситуаций.

#### Литература

1. *Седнев В.А.* Техноценологические методы построения и управления развитием многоуровневых систем: монография. М.: Академия ГПС МЧС России. 2008. 132 с.
2. *Кудрин Б.И.* Введение в технетику. Томск: изд-во Томск. гос. ун-та, 1993. 552 с.
3. *Седнев В.А., Смуров А.В.* Методы оценки и обоснования мероприятий по обеспечению электроэнергетической безопасности субъектов Российской Федерации в условиях чрезвычайных ситуаций: монография. М.: Академия ГПС МЧС России. 2014. 115 с.
4. *Седнев В.А., Смуров А.В.* Методология оценки электроэнергетической безопасности экономики и территорий Российской Федерации и оптимизации сложившейся структуры средств МЧС России // Проблемы управления рисками в техносфере. 2011. № 3. С. 80-91.
5. *Гнеденко Б.В., Колмогоров А.Н.* Предельные распределения для сумм независимых случайных величин. М.: гос. изд-во техн. теор. лит., 1949. 264 с.
6. *Кудрин Б.И.* Математика ценозов: видовое, ранговидовое, ранговое по параметру гиперболические  $H$ -распределения и законы Лотки, Ципфа, Парето, Манделъброта // Философские основания технетики. Новомосковск: Центр системных исследований. Вып. 19. 2002. С. 357-413.
7. *Седнев В.А., Смуров А.В.* Научно-методический подход обоснования и прогнозирования потребностей объектов в электроэнергетическом обеспечении // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2010. № 1. С. 33-51.