ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «БАЛТИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИММАНУИЛА КАНТА»

ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПО ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЮ В ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИОНАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Специальность: 2.3.1

Соискатель: кандидат технических наук, доцент Д.В. Луценко

Научный консультант:
доктор технических наук, профессор В.И. Гнатюк

Калининград 2026 г.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Региональный электротехнический комплекс **– ограниченная в пространстве и времени взаимосвязанная совокупность потребителей электрической энергии, функционирующая в условиях единых подсистем управления и всестороннего обеспечения.**

Цифровая платформа энергоэффективности **– это система алгоритмизированных взаимовыгодных, взаимоотношений участников, осуществляемых в единой информационной среде, приводящая к снижению транзакционных издержек, исключению посредников, предназначенная для автоматизации и повышения эффективности процессов энергосбережения.**

Электропотребление **– процесс расходования электроэнергии потребителями РЭК, сопровождающийся необратимым преобразованием электроэнергии в другие виды энергии.**

Энергоэффективность **– показатель, характеризующий способность системы выполнять заданные функции с минимальными затратами энергии, что приводит к сокращению энергопотребления без ущерба качеству результатов функционирования.**

Показатель **– мера, отражающая качественное свойство объекта или процесса.**

Параметр **– величина, характеризующая свойство (объекта, технического вида или изделия), количественная форма показателя.**

Ранговая динамика **– явление перемещения объектов системы по рангам, наблюдаемое при построении ранговых параметрических распределений в последовательные моменты времени.**

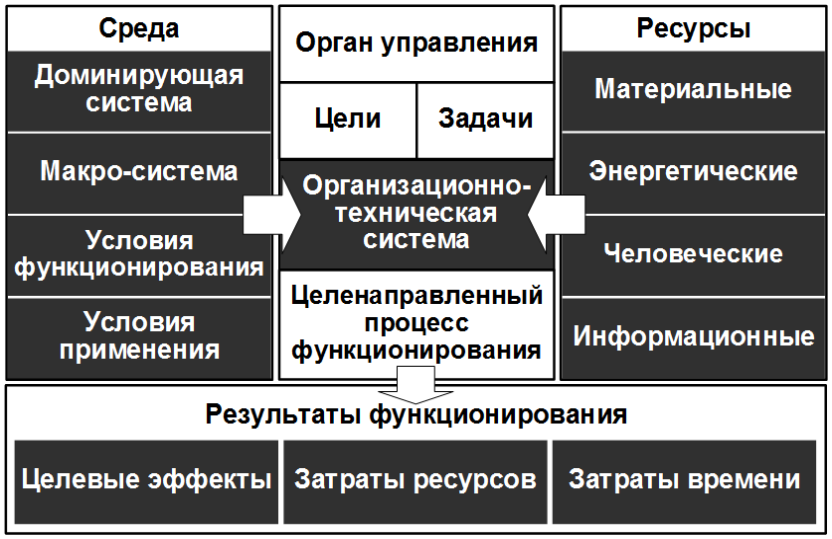
Ранговая конфигурация **– комбинаторная конфигурация, получаемая в результате комбинаторного представления результатов ранжирования.**

Ранговая структура **– дискретный объект, получаемый путём преобразования последовательности ранговых конфигураций в граф.**

Комбинаторный ранговый анализ **– раздел рангового анализа, изучающий свойства и отношения дискретных объектов на множестве ранговых распределений.**

СИСТЕМНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЭК

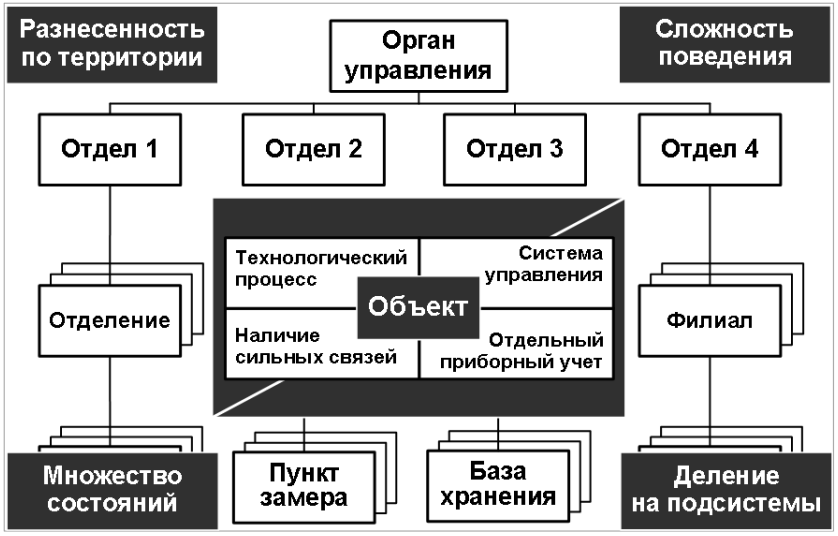
Операционный комплекс



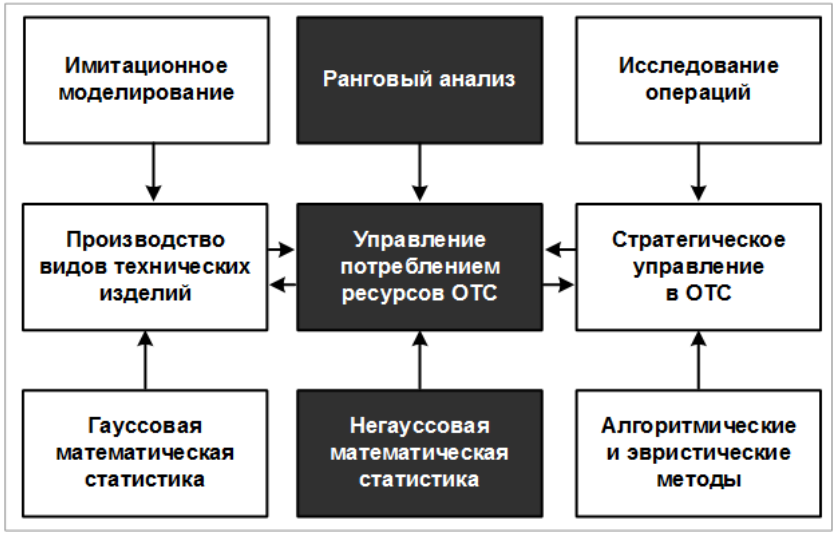
Подсистемы



Структура



Уровни исследования



ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ АКТУАЛЬНОСТЬ

Структурно-топологическая динамика	Комбинаторный ранговый анализ
Обработка данных по электропотреблению РЭК осуществляется на основе формы ранговой поверхности при условии постоянства рангов объектов	Обработка данных по электропотреблению РЭК основывается на учёте закономерностей изменения ранговых конфигураций и структур
МЭИ, НИ РХТУ, УлГУ, АГПС МЧС, СФУ, ЮрГУ, ТомПИ, МГУ, ИИЭТ, ИНП РАН, ИНЭИ РАН, ЦЭМИ РАН, ПАО «Россети»	МЭИ, ГГТУ, ТюмГУ, БФУ, ППГУ, МФТИ, МГУ, CalSU, KanSU, ШАД Yandex
Анализ структурной динамики системы осуществляется на основе форм ранговых распределений и совокупности траекторий отдельных объектов	В качестве исходных при анализе структурной динамики системы рассматривается последовательность негауссовых выборок данных

Для дальнейшего развития теории требуется:

- разработка комбинаторного рангового анализа, исследующего закономерности ранговой динамики в последовательности негауссовых выборок данных;
- разработка алгоритмов применения методов комбинаторного рангового анализа с целью повышения точности прикладных процедур обработки и анализа данных

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ АКТУАЛЬНОСТЬ

Классический подход	Техноценологический подход
Эффективность оценивается с помощью моделей, основанных на гауссовых распределениях	Эффективность оценивается на основе энтропийных показателей по видовым и ранговым распределениям
ОВА ВС РФ, ОВА ВКС, АМТО, АСвязи, ПенГУ, БВМИ, 46 ЦНИИ, АВН	МЭИ, СФУ, АГПС, ЮрГТУ, УлГУ, БВМИ, НИ РХТУ, КемТИПП, 16 ЦНИИ МО, 15 ЦНИИ МО
Оценка показателей качества и затрат основывается на применении гауссовых распределений, отражающих отдельные этапы жизненного цикла	Энтропийные показатели фиксируют для РЭК в целом состояние максимальной функциональности при минимальных затратах на всестороннее обеспечение

Для дальнейшего развития теории требуется:

- разработка интегрального показателя качества электропотребления РЭК, учитывающего негауссовый характер описывающих их распределений;
- разработка на основе энтропийного подхода показателя, характеризующего затраты на весь жизненный цикл номенклатуры приемников ЭЭ

ПРАКТИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА АНАЛИТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗНИКЛА НА ФОНЕ СЛЕДУЮЩИХ ПРОТИВОРЕЧИЙ:

- с одной стороны, осуществляется интенсивное развитие средств сбора и хранения данных по ЭП при недостаточном уровне развития методов обработки, учитывающих их негауссовую природу, с другой;
- между децентрализованным по своей природе управлением в цифровой платформе энергоэффективности, с одной стороны, и отсутствием моделей одновременного учета индивидуальных и системных свойств в поведении её участников, с другой.

НАУЧНАЯ ПРОБЛЕМА НЕДОСТАТОЧНОЙ РАЗРАБОТАННОСТИ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ НЕГАУССОВЫХ ВЫБОРОК ДАННЫХ ПО ЭП В ЦПЭ ОБУСЛОВЛЕНА ТЕМ, ЧТО:

- существующие процедуры рангового анализа не учитывают динамику и закономерности ранговых конфигураций;
- методы получения интегральных показателей эффективности электропотребления не учитывают системные свойства используемой номенклатуры приемников ЭЭ;
- модели функционирования потребителей ЭЭ не учитывают влияние среды, формируемой участниками ЦПЭ и их отношениями;
- механизм планирования ЭП не учитывает вероятностные закономерности ранговых конфигураций в оценке целевых показателей энергоэффективности.

ТЕМА: модели и методы аналитической обработки данных по электропотреблению в цифровой платформе энергоэффективности регионального электротехнического комплекса.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ: цифровая платформа энергоэффективности регионального электротехнического комплекса.

ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ: методы статистической обработки последовательности негауссовых выборочных совокупностей.

ГИПОТЕЗА ИССЛЕДОВАНИЯ: ЭП РЭК возможно сократить до технологического минимума за счет организационных и (или) технических мероприятий.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: разработка научно-методических основ аналитической обработки данных по электропотреблению в цифровой платформе энергоэффективности регионального электротехнического комплекса.

ГРАНИЦЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В ТЕОРИИ: рассматривается область прикладной комбинаторики, имеющая отношение к безгранично делимым ранговым распределениям.

ГРАНИЦЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПРАКТИКЕ: алгоритмы и методы аналитической обработки данных по электропотреблению в цифровой платформе энергоэффективности регионального электротехнического комплекса.

ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Комбинаторный анализ ранговой динамики.

2. Методы получения показателей и оценки критериев эффективности электропотребления регионального электротехнического комплекса.

3. Вероятностно-автоматная модель электропотребления участников цифровой платформы энергоэффективности.

4. Алгоритм планирования электропотребления регионального электротехнического комплекса в цифровой платформе энергоэффективности.

5. Результаты реализации разработанной теории применительно к региональному электротехническому комплексу.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ



Первое положение, выносимое на защиту

КОМБИНАТОРНЫЙ АНАЛИЗ РАНГОВОЙ ДИНАМИКИ

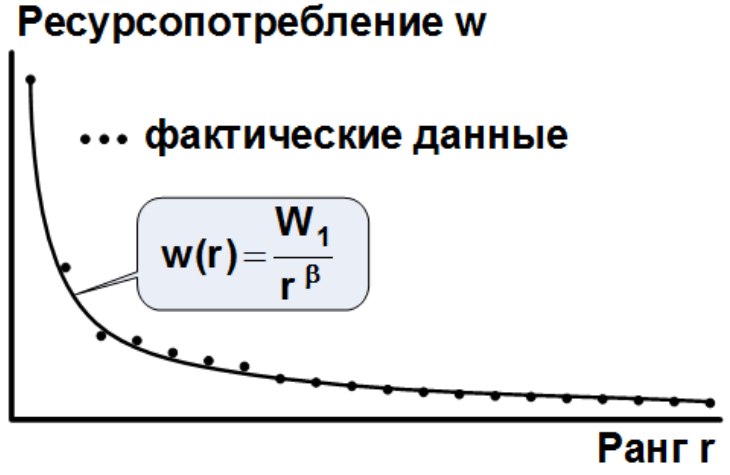
РАНЖИРОВАНИЕ ДАННЫХ

Матрица исходных данных

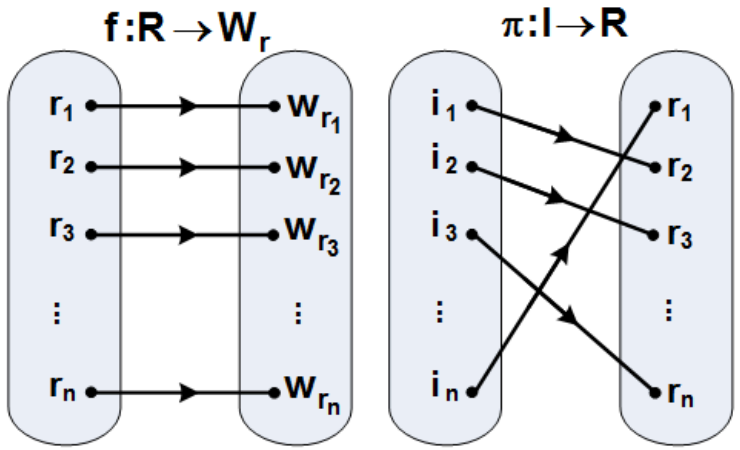
Номер объекта	t	t+1	t+2	...	T-1	T
1	$w_{1,t}$	$w_{1,(t+1)}$	$w_{1,(t+2)}$	...	$w_{1,(T-1)}$	$w_{1,T}$
2	$w_{2,t}$	$w_{2,(t+1)}$	$w_{2,(t+2)}$	...	$w_{2,(T-1)}$	$w_{2,T}$
3						
4						
...	...	...	...	...	...	...
n	$w_{n,t}$	$w_{n,(t+1)}$	$w_{n,(t+2)}$	...	$w_{n,(T-1)}$	$w_{n,T}$

Ресурсопотребление объектов за (год, месяц, день)

Ранговое распределение



Ранговое отображение



Аналитическое описание

Система $\forall t, t=1,\dots,T$ описывается:

$$W=\{w_i\}_{i=1}^{n};\ I,R=\{\overline{1,n}\};\ g:I\to W;$$

$$\forall i,j\in I\ (i\neq j)\ w_i\neq w_j,$$

в котором ранжируются значения

$$W_r=\{w_r\}_{r=1}^{n};\ \forall x,y\in W_r;\ x\neq y;\ x\,R\,y;\ y\,R\,x,$$

если $x\prec y$, то $x>y$.

В результате строится отображение:

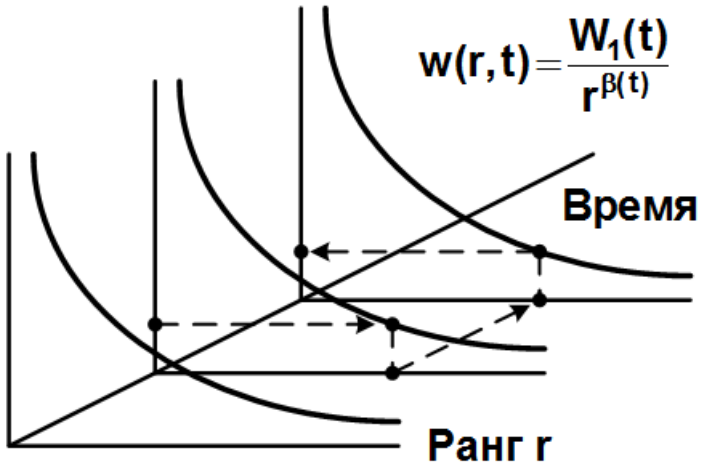
$$\pi:I\to R;\ r=\pi(i),$$

где i - номер объекта; r - ранг; t - время.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ КОНФИГУРАЦИЙ

СТП динамика 1,2 рода

Ресурсопотребление w



$$w(r,t)=\begin{cases} w_1=f_1(t); \\ \vdots \\ w_n=f_n(t), \end{cases}$$

где t – время;

$f_n(t)$ – функция ресурсопотребления n-го объекта;

$W_1(t)$, $\beta(t)$ – функции параметров.

Действия над конфигурациями

$$\pi(t)=[\pi_t]_{t=1}^{T};\ \sigma(t)=[\sigma_t]_{t=1}^{T-1};\ s(t)=[s_t]_{t=1}^{T-1}.$$

Левое умножение $\sigma_t=\pi_{(t-1)}^{-1}\circ\pi_t$

$R_{(t-1)}$	I
4	*a*
5	*b*
3	*c*
2	*d*
1	*e*
6	*f*

→

I	R_t
a	5
b	4
c	3
d	6
e	1
f	2

=

$R_{(t-1)}$	R_t
4	5
5	4
3	3
2	6
1	1
6	2

Правое умножение $s_t=\pi_{(t-1)}\circ\pi_t^{-1}$

I	$R_{(t-1)}$
a	1
b	2
c	3
d	4
e	5
f	6

→

R_t	I
1	*b*
2	*c*
3	*a*
4	*e*
5	*d*
6	*f*

=

I	I
a	*b*
b	*c*
c	*a*
d	*e*
e	*d*
f	*f*

РАНГОВЫЕ СТРУКТУРЫ

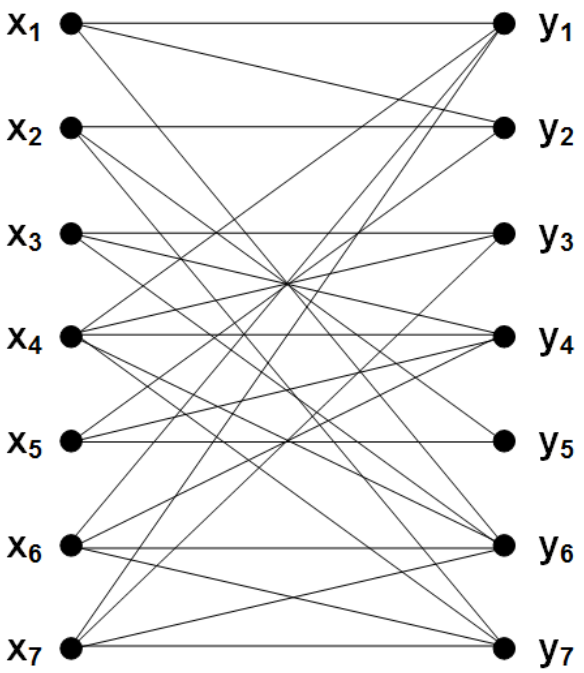
$$\pi(t)=[\pi_t]_{t=1}^{T};\quad \sigma(t)=[\sigma_t]_{t=1}^{T-1};\quad s(t)=[s_t]_{t=1}^{T-1};$$

$$\Pi=\|\pi_{i,j}\|_{i,j=1}^{n};\ \pi_{i,j}=\begin{cases}1, & \pi(i)=j;\\ 0, & \pi(i)\neq j;\end{cases}\ \Pi(t)=\|\Pi_t\|_{t=1}^{T};\ B=\bigvee_{t=1}^{T}\Pi_t=\|b_{i,j}\|_{i,j=1}^{n};$$

$$G=(X\cup Y,E)\ X\cap Y=\varnothing;\ E=\{(i,j):\forall i\in X,\forall j\in Y,b_{i,j}\neq 0\},$$

где X – вершины левой доли (объекты); Y – вершины правой доли (ранги); E – множество рёбер графа; Π – подстановочная матрица; B – смежности двудольного графа G.

Графовое представление



Ранговый граф
$G^{(\pi)}=(X\cup Y,E)$

Переходный граф
$G^{(\sigma)}=(X\cup Y,E)$

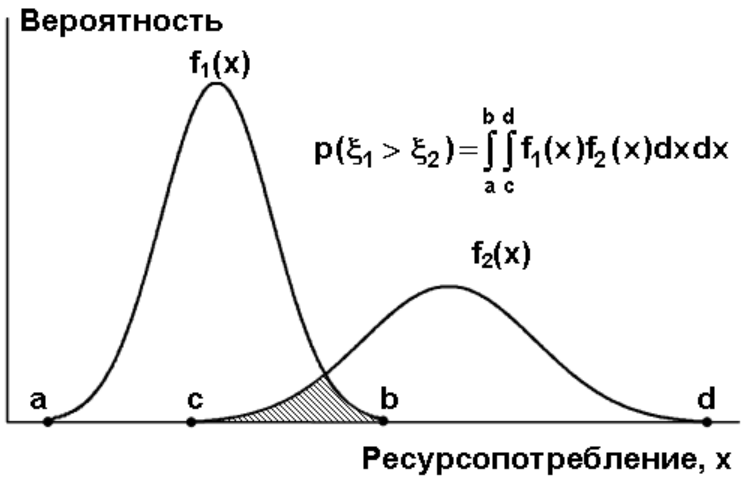
Подстановочный граф
$G^{(s)}=(V,E)$

Матричное представление

	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7
x_1	1	1	0	0	0	1	0
x_2	0	1	0	0	1	0	1
x_3	0	0	1	1	0	1	0
x_4	1	0	1	1	0	1	1
x_5	0	1	0	1	1	0	0
x_6	1	0	0	1	0	1	1
x_7	1	0	1	0	0	1	1

ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ КОНФИГУРАЦИИ

Парное сравнение



$$p(\xi_1 > \xi_2) = \int_a^b \int_c^d f_1(x) f_2(x) dx dx$$

Дважды стохастическая матрица

Пусть $\xi_1,\ldots,\xi_n$ последовательность случайных величин парных рангов. Тогда вероятность рангового размещения $P(\pi)$ есть:

$$P(\xi_i = \pi(i)) \cdot P(\xi_2 = \pi(2) \mid \xi_1) \cdot,\ldots, P(\xi_n = \pi(n) \mid \xi_1,\ldots,\xi_{n-1}),$$

где $P(\pi(3)|\xi_1,\xi_2)$ – вероятность занятия ранга 3-м объектом при условии занятия 1-го и 2-го .

$$P = \sum_{\Omega_\pi} P(\pi) \cdot \Pi = \| p_{i,j} \|_{i,j=1}^{n}; \Omega_\pi = \{\pi : \forall \pi \in S_n, P(\pi) = 0\},$$

где P – дважды стохастическая матрица ранговых размещений;

Ω_π – множество разрешённых ранговых размещений.

Случайный парный ранг

$$\xi = a - \sum_{j=1}^{b} \eta_j;\ a - b \le \xi \le a;\ a = n - c,$$

где ξ – случайная величина парного ранга;

η – бернуллиевская случайная величина;

c – количество объектов для p(x>y) = 1;

b – количество объектов для 0<p(x>y)<1.

$$Q = \| q_{i,j} \|_{n \times n};\ 1 \le i, j \le n;\ q_{i,j} = \begin{cases} P(\xi_i = j), & j \in [a_i - b_i, a_i]; \\ 0, & j \notin [a_i - b_i, a_i], \end{cases}$$

где Q – строчно стохастическая матрица вероятностей парных рангов.

Вероятностная модель

$$RC(n, p_{i,j}) = (\Omega_n, F_n, P_{n,p_{i,j}}),$$

где n – количество объектов системы;

Ω_n – множество разрешённых ранговых размещений, составляющих множество элементарных событий;

F_n – множество подмножеств из Ω_n.

P_n вероятностная мера события A из F_n:

$$P_n(A) = \frac{|A|}{|\Omega_n|},$$

где A – множество элементарных событий, благоприятствующих A.

ВЫВОДЫ ПО ПЕРВОМУ ПОЛОЖЕНИЮ, ВЫНОСИМОМУ НА ЗАЩИТУ

1. **Впервые рассмотрены дискретные свойства ранговых распределений, как не учитываемые ранее в ранговом анализе результаты ранжирования.**
2. **Введены действия над последовательностью ранговых отображений, по результатам которых формируются другие последовательности ранговых конфигураций, объясняющие структурно-топологическую динамику 3 рода.**
3. **Свойства ранговых конфигураций подтверждают устойчивость и упорядоченность больших систем, описываемых негауссовыми распределениями.**
4. **Введено понятие ранговой структуры, основанное на соответствующем математическом объекте – графе.**
5. **Разработана вероятностная модель ранговой конфигурации, закладывающая теоретический фундамент для исследования ранговых конфигураций методами теории вероятностей.**
6. **Разработанный логико-математический аппарат составляет основу комбинаторного рангового анализа.**

Второе положение, выносимое на защиту

МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ОЦЕНКИ КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

Оценка интегрального показателя качества

Процедуры управления

Интервальное оценивание	Прогнозирование
Нормирование	Потенширование

Модели

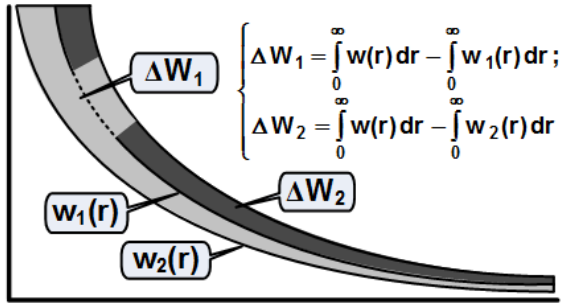
$$w(r, T+1) = \frac{W_1(T+1)}{r^{\beta(T+1)}}$$

$$\hat{\pi}_{(T+1)} = \pi_T \circ \hat{\sigma}$$

Анализ ранговой динамики

Левое, правое умножение	Построение ранговых структур
Комбинаторная оптимизация	Пересчёт, перечисление

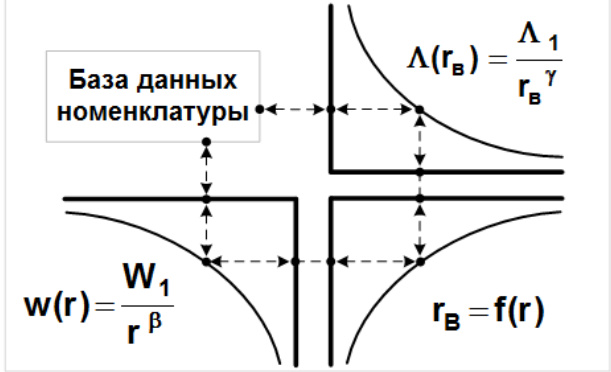
Ресурсопотребление за интервал



$$\begin{cases} \Delta W_1 = \int_0^{\infty} w(r)\,dr - \int_0^{\infty} w_1(r)\,dr; \\ \Delta W_2 = \int_0^{\infty} w(r)\,dr - \int_0^{\infty} w_2(r)\,dr \end{cases}$$

Оценка эффективности

- Интегральный показатель качества
- Интегральный показатель затрат



Оценка интегрального показателя затрат

Параметрическое нормирование

Построение распределений	Определение $r_в = f(r)$
Построение номограммы	Решение прямой, обратной задач

Модели

$$w(r),\ \Lambda(r_B),\ \Omega(x)$$

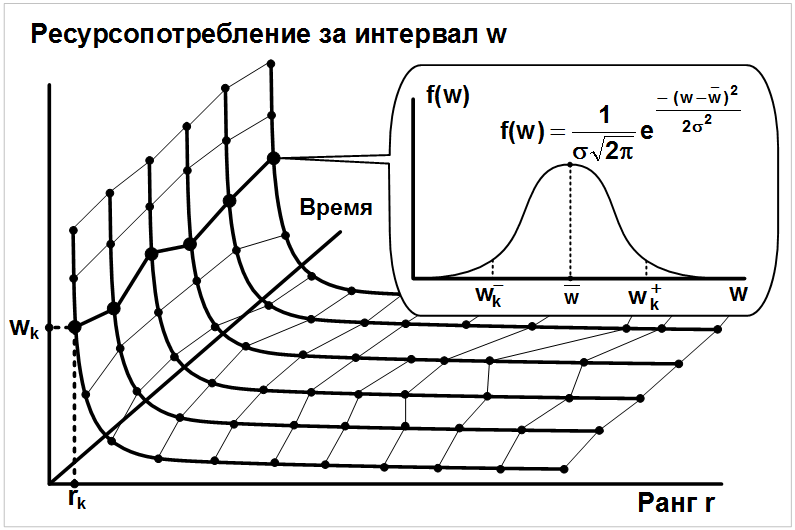
$$-\sum_i \frac{R_i}{R} \cdot \ln\left(\frac{R_i}{R}\right) \rightarrow \max$$

Параметрический анализ

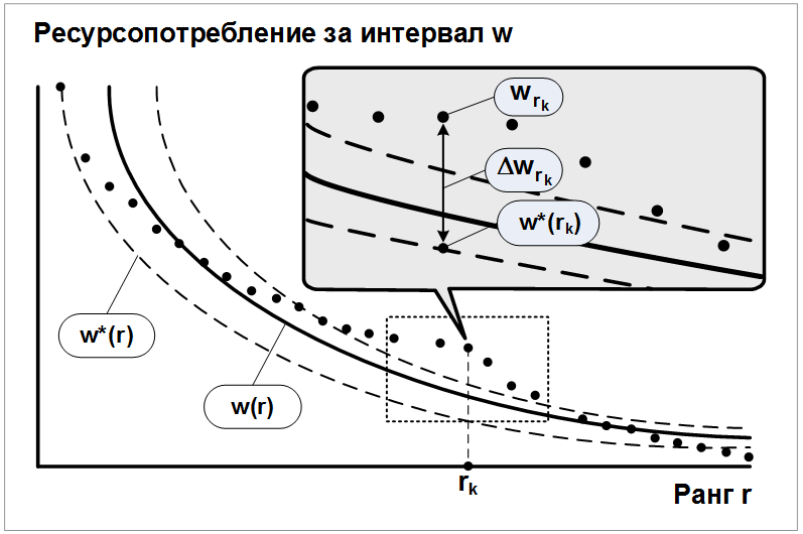
Оценка ресурсной энтропии	Исследование тех. документации
Восстановление параметров	Встраивание вариантов

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ КАЧЕСТВА

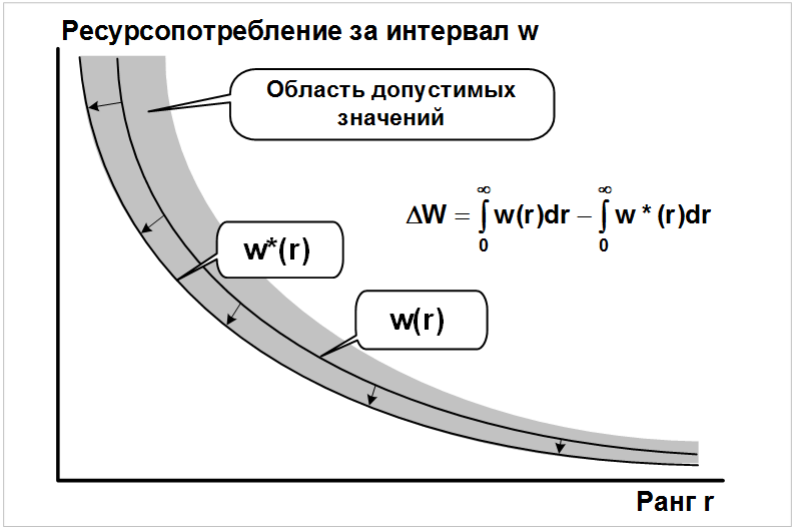
Область допустимых значений



Дифлекс-параметр



Потенциал ресурсосбережения



Оценка показателя

$$\Delta W(t)=\int_0^\infty w(r,t)dr-\int_0^\infty w^*(r)dr,$$

где $\Delta W(t)$ – потенциал ресурсосбережения в момент времени t;
$w^*(r)$ – аппроксимационная кривая, соответствующая нижней границе области допустимых значений;
$w(r,t)$ – аппроксимационная кривая, полученная для фактических значений в момент времени t.

$$IW(t)=\frac{\Delta W(t)}{\Delta W}=\frac{\int_0^\infty w(r)dr-\int_0^\infty w(r,t)dr}{\int_0^\infty w(r)dr-\int_0^\infty w^*(r)dr};\ IW\in[0,1],$$

где w(r) – аппроксимационная кривая, соответствующая состоянию системы в начальный момент времени.

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ЗАТРАТ

Параметрический показатель

$$IC(t) = 1 + \frac{\int_0^{\infty} c(r,t)\,dr}{sc \cdot \left(\int_0^{\infty} w(r)\,dr - \int_0^{\infty} w^*(r)\,dr \right)};\ IC \in [1, \infty),$$

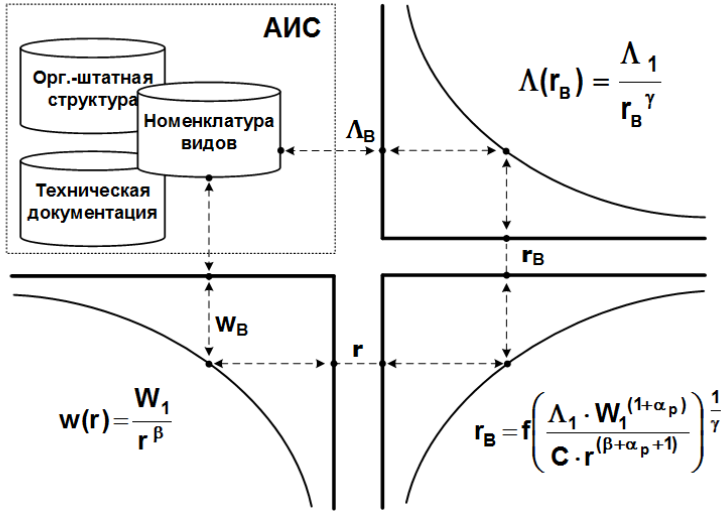
где $w^*(r)$ – аппроксимационная кривая, соответствующая нижней границе области допустимых значений;

$w(r)$ – аппроксимационная кривая, соответствующая исходному состоянию системы;

$c(r,t)$ – ранговое распределение затрат в момент времени t;

sc – стоимость единицы ресурса.

Номенклатурная номограмма



Номенклатурный показатель

$$R_k = \int_{r_k}^{r_k + \Lambda(r_{B_k})} w(r)\,dr;\ R = \int_0^{\infty} w(r)\,dr;\ H = -\sum_{k=1}^{n} \frac{R_k}{R} \cdot \ln\left(\frac{R_k}{R}\right);$$

$$y = \{W_1, \beta, \Lambda_1, \gamma\};\ Y = \{\overline{1,s}\};\ y_{max} = \underset{y \in Y}{\operatorname{argmax}}(H^{<y>}),$$

где R_k – ресурс, приходящийся на k-й вид;

Y – множество вариантов переоснащения;

$H^{<y>}$ – ресурсная энтропия для варианта y.

$$IH(y) = 1 + \frac{H^{<y_{max}>} - H^{<y>}}{H^{<y_{max}>} - H}.$$

где H – базовое значение ресурсной энтропии до реализации мероприятий по переоснащению.

Формы распределений

$$\Omega(x) = \frac{\Omega_0}{x^{(1+\alpha)}};\ \Lambda(r_B) = \frac{\Lambda_1}{r_B^{\gamma}};\ w(r) = \frac{W_1}{r^{\beta}};$$

$$n(w) = \frac{C}{w^{(1+\alpha_p)}};\ r_B = f\left(\frac{\Lambda_1 \cdot W_1^{(1+\alpha_p)}}{C \cdot r^{(\beta+\alpha_p+1)}} \right)^{\frac{1}{\gamma}},$$

где $w(r)$ – ранговое параметрическое распределение технических изделий;

$\Lambda(r_B)$ – ранговое видовое распределение;

$\Omega(x)$ – видовое распределение;

$n(w)$ – распределение частотное по параметру;

$r_B = f(r)$ – зависимость между видовым и параметрическим рангами;

x – непрерывный аналог численности.

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Параметрическое оценивание

Оценка качества ресурсопотребления

$$IW(t) = \frac{\Delta W(t)}{\Delta W} = \frac{\int_0^{\infty} w(r)dr - \int_0^{\infty} w(r,t)dr}{\int_0^{\infty} w(r)dr - \int_0^{\infty} w^*(r)dr}.$$

Оценка затрат

$$IC(t) = 1 + \frac{\int_0^{\infty} c(r,t)dr}{sc \cdot \left(\int_0^{\infty} w(r)dr - \int_0^{\infty} w^*(r)dr \right)}.$$

Интегральный показатель эффективности

$$EP(t) = \frac{IW(t)}{IC(t)};\ EP(t) \xrightarrow[t=1,\ldots,T]{} 1\ ,$$

где t – момент времени (шаг моделирования);
IW – параметрический интегральный показатель качества;
IC – параметрический интегральный показатель затрат;
w(r,t) – ранговое параметрическое распределение объектов, характеризующее состояние системы в момент времени t.

Номенклатурное оценивание

Оценка качества ресурсопотребления

$$IN(y) = \frac{\Delta W(y)}{\Delta W} = \frac{\int_0^{\infty} w(r)dr - \int_0^{\infty} w(r,y)dr}{\int_0^{\infty} w(r)dr - \int_0^{\infty} w^*(r)dr}.$$

Оценка затрат

$$IH(y) = 1 + \frac{H^{<y_{max}>} - H^{<y>}}{H^{<y_{max}>} - H}.$$

Интегральный показатель эффективности

$$EH(y) = \frac{IN(y)}{IH(y)};\ EH(y) \xrightarrow[y=1,\ldots,s]{} 1\ ,$$

где y – вариант переоснащения;
IN – номенклатурный интегральный показатель качества;
IH – номенклатурный интегральный показатель затрат;
w(r,y) – ранговое параметрическое распределение объектов, характеризующее состояние системы после номенклатурных изменений по варианту переоснащения y.

ВЫВОДЫ ПО ВТОРОМУ ПОЛОЖЕНИЮ, ВЫНОСИМОМУ НА ЗАЩИТУ

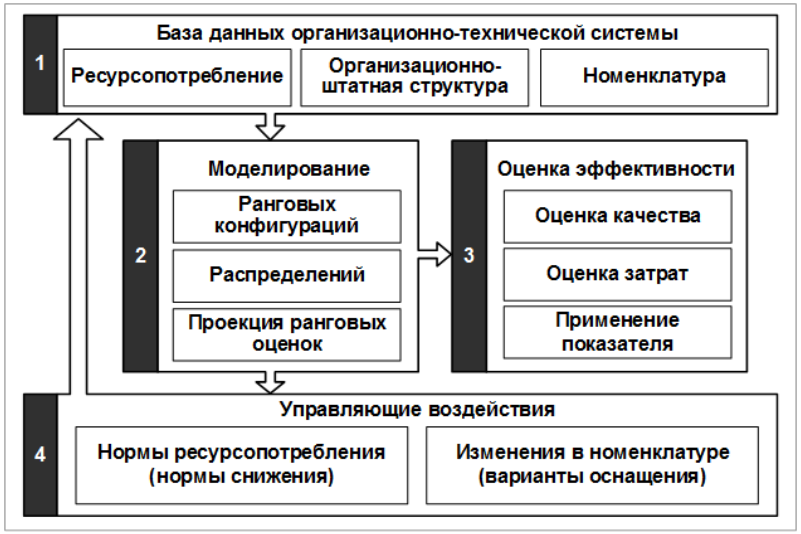
1. **Разработан интегральный показатель качества электропотребления РЭК, учитывающий негауссовый характер описывающих её ранговых параметрических распределений.**
2. **Разработан параметрический интегральный показатель затрат, основанный на обработке ранговых распределений стоимости мероприятий организационного характера.**
3. **Разработан номенклатурный интегральный показатель затрат, основанный на используемом в техноценологическом подходе показателе ресурсной энтропии, комплексно характеризующем изменение затрат на всестороннее обеспечение РЭК в целом при модификации номенклатуры приёмников ЭЭ.**
4. **Разработаны интегральные показатели оценки эффективности электропотребления, первый из которых ориентирован на организационные мероприятия, а второй – на мероприятия по техническому переоснащению и изменению номенклатуры ПЭЭ.**
5. **Разработанные интегральные показатели качества и затрат, а также способы их определения составляют методологическую основу оценки эффективности электропотребления РЭК.**

Третье положение, выносимое на защиту

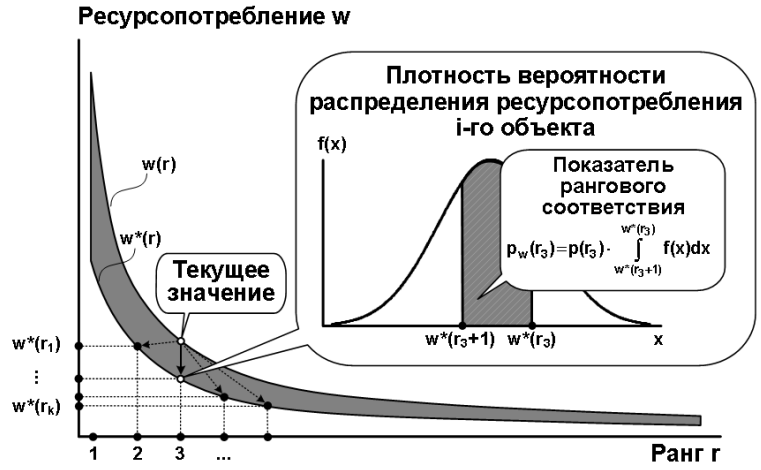
ВЕРОЯТНОСТНО-АВТОМАТНАЯ МОДЕЛЬ РЕСУРСОПОТРЕБЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ПРЕДСТАВЛЯЮЩАЯ СОВМЕСТНОЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ИГРОЙ АВТОМАТОВ, ОТЛИЧАЮЩАЯСЯ ОДНОВРЕМЕННЫМ УЧЁТОМ СВОЙСТВ ОТДЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМЫ В ЦЕЛОМ

РАНГОВЫЙ ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АВТОМАТ

Стохастическая модель СТД

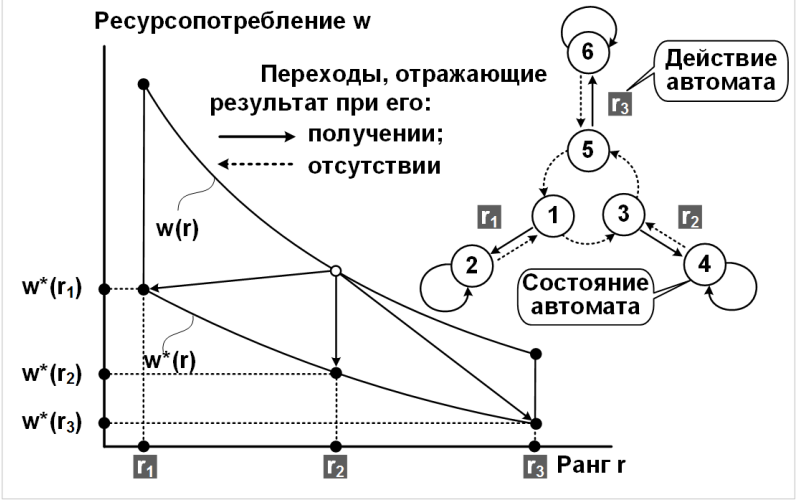


Показатель рангового соответствия



$R_k = \{r_1, r_2 \ldots, r_k\}$ - ранги, занимаемые i-ым объектом

Конструирование автомата



Условия функционирования

w(r) - ранговое распределение, характеризующее текущее ресурсопотребление ОТС;

w*(r) - ранговое распределение, характеризующее целевое ресурсопотребление ОТС;

$R^{(i)} = \{r_1, \ldots, r_{k-1}, r_k\}$ - множество рангов, устанавливающих возможное положение i-го объекта в системе;

f(x) - функция плотности вероятности, характеризующая распределение ресурсопотребления объекта;

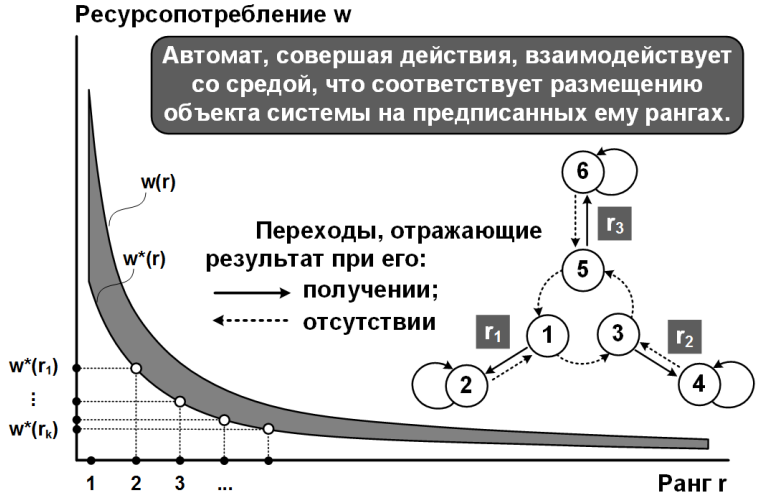
x - случайная величина ресурсопотребления объекта;

$p_w(r)$ - показатель рангового СООТВЕТСТВИЯ, характеризующий способность объекта при нахождении на целевом распределении w*(r) не превысить требуемого значения ресурсопотребления (вероятность выполнения задачи);

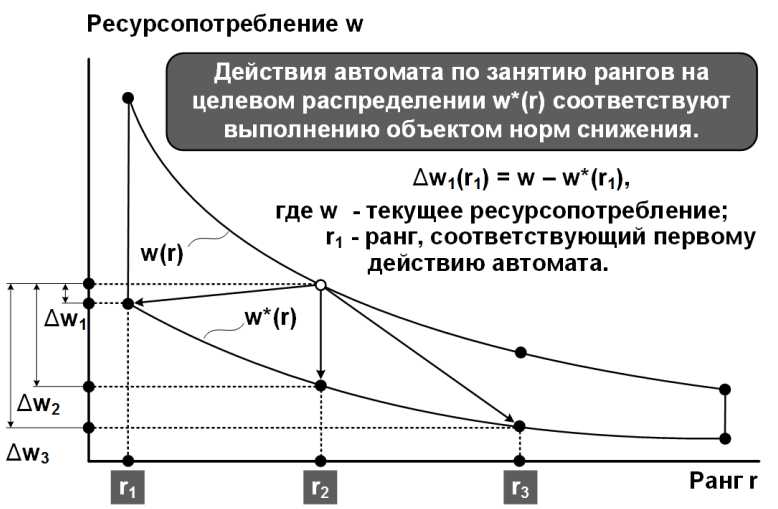
$1 - p_w(r)$ - показатель рангового НЕСООТВЕТСТВИЯ, характеризующий способность объекта при нахождении на целевом распределении w*(r) превысить требуемое значения ресурсопотребления (вероятность невыполнения задачи)

СОДЕРЖАНИЕ ДЕЙСТВИЙ АВТОМАТА

Занятие ранга



Выполнение нормы снижения



Эквивалент выигрыша

Результат взаимодействия автомата со средой при выполнении действия характеризуется математическим ожиданием выигрыша, передаваемого объекту при получении требуемого результата и возвращаемого ему при его отсутствии.

$$y = p \cdot x - x \cdot (1 - p),$$

где y - математическое ожидание выигрыша, характеризующего действие автомата;

p - вероятность получения требуемого результата, равная показателю рангового соответствия;

x - норма снижения ресурсопотребления, соответствующая действию автомата по занятию на целевом распределении w*(r) ранга.

Условия игры автоматов

$$P = \| p_{i,j} \|_{i,j=1}^{n}; \quad X = \| x_{i,j} \|_{i,j=1}^{n}; \quad Y = \| y_{i,j} \|_{i,j=1}^{n};$$

$$y_{i,j} = x_{i,j} \cdot (2 \cdot p_{i,j} - 1); \; 1 \le i, j \le n,$$

где P - матрица показателей рангового соответствия;

X - матрица норм снижения;

Y - матрица средних выигрышей;

$p_{i,j}$ - показатель рангового соответствия,

$x_{i,j}$ - норма снижения ресурсопотребления,

$y_{i,j}$ - математическое ожидание выигрыша при занятии i-ым объектом на целевом ранговом распределении ранга, равного j.

СВЯЗЬ ПРИМЕНЯЕМЫХ КАТЕГОРИЙ

Категории	Отражение в теории		
	Ранговый анализ	Теория автоматов	Теория игр
Элемент системы	Объект (пространственно-технологический кластер)	Автомат	Участник игры
Состояние элемента системы	Ранг, характеризующий положение объекта в системе	Действие, выполненное автоматом, соответствующее некоторому множеству его состояний	Стратегия, реализованная участником игры
Состояние системы	Ранговое параметрическое распределение объектов	Совокупность действий, выполненных семейством автоматов	Партия, представляющая собой совокупность стратегий, реализованных участниками игры
Последовательность, характеризующая смену состояний системы	Процесс ресурсопотребления, представляемый ранговой параметрической поверхностью в координатах ранг-время-параметр	Работа семейства автоматов	Совершаемая при определённых условиях и правилах игра участников

ПОКАЗАТЕЛИ И КРИТЕРИИ «ИГРЫ В РАЗМЕЩЕНИЕ»

Партия в «игре в размещение»

Показатели рангового соответствия

Нормы

№ авт.	Ранг 1	2	3	4
1	$x_{1,1}$	$x_{1,2}$	$x_{1,3}$	0
2	0	$x_{2,2}$	$x_{2,3}$	$x_{2,4}$
3	0	0	0	$x_{3,4}$
4	0	$x_{4,2}$	$x_{4,3}$	$x_{4,4}$
5	0	0	0	0
6	$x_{6,1}$	$x_{6,2}$	$x_{6,3}$	$x_{6,4}$
7	0	0	0	0

Выигрыши

№ авт.	1	2	3
1	$y_{1,1}$	$y_{1,2}$	$y_{1,3}$
2	0	$y_{2,2}$	$y_{2,3}$
3	0	0	0
4	0	$y_{4,2}$	$y_{4,3}$
5	0	0	0
6	$y_{6,1}$	$y_{6,2}$	$y_{6,3}$
7	0	0	0

№ авт.	Ранг 1	2	3	4	5	6	7
1	$p_{1,1}$	$p_{1,2}$	$p_{1,3}$	0	0	0	0
2	0	$p_{2,2}$	$p_{2,3}$	$p_{2,4}$	$p_{2,5}$	0	0
3	0	0	0	$p_{3,4}$	$p_{3,5}$	$p_{3,6}$	$p_{3,7}$
4	0	$p_{4,2}$	$p_{4,3}$	$p_{4,4}$	0	0	0
5	0	0	0	0	$p_{5,5}$	$p_{5,6}$	$p_{5,7}$
6	$p_{6,1}$	$p_{6,2}$	$p_{6,3}$	$p_{6,4}$	0	0	0
7	0	0	0	0	$p_{7,5}$	$p_{7,6}$	$p_{7,7}$

▨ - подстановка, рассматриваемая как результат «игры в размещение» ранговых вероятностных автоматов

Результаты партии

$$x_\Sigma(s)=\sum_{i=1}^{n} x_{i,s(i)};\quad n_\Sigma(s)=\sum_{i=1}^{n} p_{i,s(i)};\quad y_\Sigma(s)=\sum_{i=1}^{n} y_{i,s(i)},$$

где $x_\Sigma(s)$ - мощность партии, в которой нормы снижения выполнены всеми без исключения объектами системы;

$n_\Sigma(s)$ - математическое ожидание количества не выполнивших норму снижения объектов;

$y_\Sigma(s)$ - математическое ожидание, характеризующее выигрыш системы;

s - подстановка.

Показатели и критерии

$$e_n(a)=n_{max}-\bar{n}_a;\quad e_x(a)=x_{max}-\bar{x}_a;\quad e_y(a)=y_{max}-\bar{y}_a;$$

$$e_n(a)\xrightarrow[a\in A]{}0;\quad e_x(a)\xrightarrow[a\in A]{}0;\quad e_y(a)\xrightarrow[a\in A]{}0,$$

где A - множество алгоритмов, реализующих правила непосредственного информационного взаимодействия между автоматами;

$\bar{x}_a, \bar{n}_a, \bar{y}_a$ - среднестатистические результаты игры, в которой информационное взаимодействие выполнено по алгоритму $a\in A$.

Экстремальные значения

$$n_{max}=\max_{s\in S_n}\left(\sum_{i=1}^{n} p_{i,s(i)}\right);\quad x_{max}=\max_{s\in S_n}\left(\sum_{i=1}^{n} x_{i,s(i)}\right);$$

$$y_{max}=\max_{s\in S_n}\left(\sum_{i=1}^{n} y_{i,s(i)}\right),$$

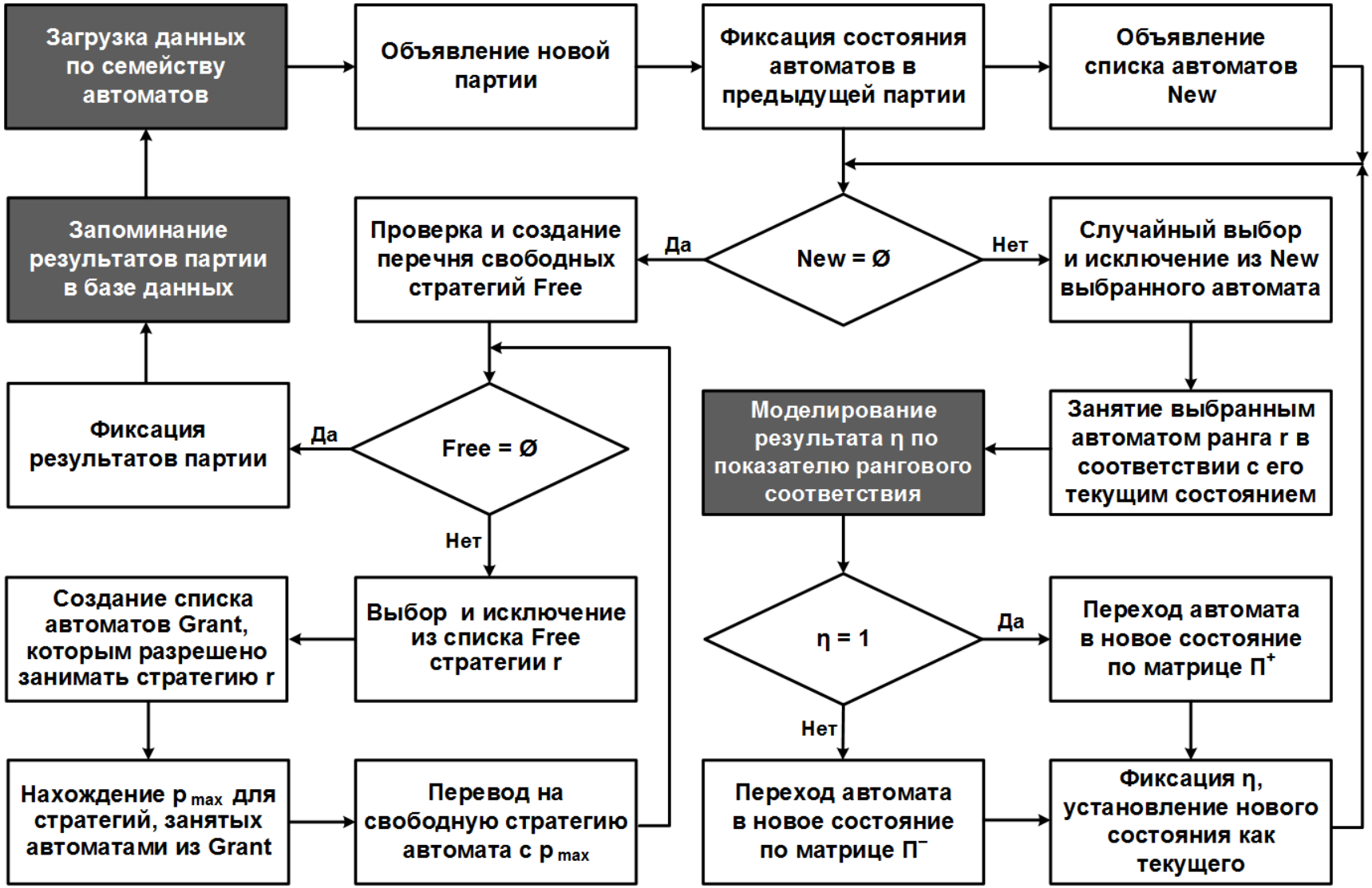
где n_{max} - математическое ожидание максимального количества объектов, получивших требуемый результат;

x_{max} - максимальная мощность партии;

y_{max} - максимальное значение математического ожидания выигрыша;

S - множество подстановок, разрешённых для системы.

СХЕМА «ИГРЫ В РАЗМЕЩЕНИЕ»



ВЫВОДЫ

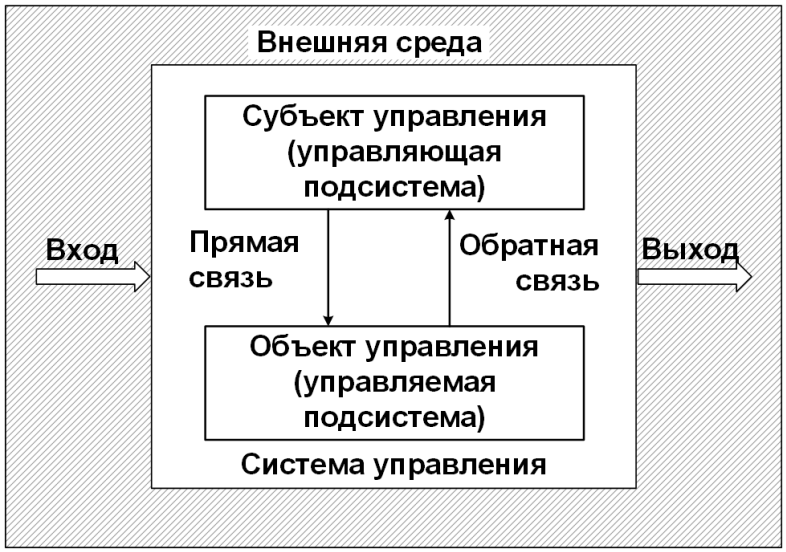
1. **Впервые введено понятие рангового автомата, моделирующего отдельный объект РЭК, что позволило учесть двойственную природу рангового параметрического распределения.**
2. **Функционирование РЭК представляется работой семейства автоматов, которая моделируется «игрой в размещение».**
3. **Разработаны показатели и критерии, при помощи которых оператору ЦПЭ представляется возможным сделать выбор правил взаимодействия объектов для достижения системного результат.**
4. **Разработаны алгоритмы, моделирующие различные варианты «игры в размещение», а также методики хранения и обработки протоколов полученных результатов.**
5. **Разработанные модели и способы их реализации составляют содержание методологии вероятностно-автоматного моделирования электропотребления РЭК, находящую применение в процедурах рангового анализа.**

Четвертое положение, выносимое на защиту

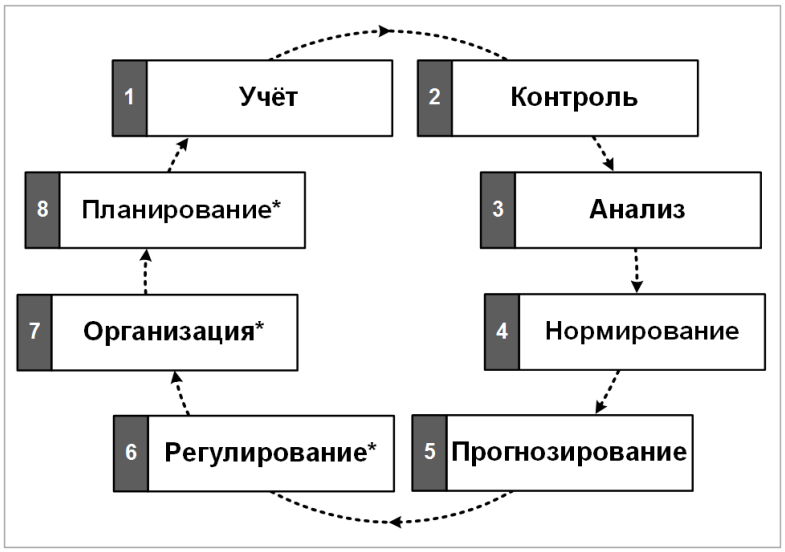
АЛГОРИТМ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА В ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

СОДЕРЖАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ

Структура процесса управления



Фазы управления



Преобразование информации

Первичная информация	Входная информация	Управляющая информация
Состояние ОБУ	Учётные данные в базе данных	Приказы
Состояние среды	Отклонения от нормативов	Распоряжения
Цели и задачи системы	Контрольные значения	Инструкции
Требования ВСС	Аналитические данные	Планы
Ограничения суперсистемы	Прогнозные оценки	Регламенты

Постановка задачи управления

$$w(t) = F\{w(t_0);\ f(t_0, t);\ u(t_0, t)\};\ w(t) \in W;\ u(t) \in U,$$

где w(t) - вектор, характеризующий состояние объекта управления;
$u(t, t_0)$, $f(t, t_0)$ - многомерные вектора, определяющие управляющие и возмущающие воздействия на интервале времени $[t, t_0]$;
W, U - замкнутые области, ограничивающие возможные состояния объекта управления и управляющие воздействия.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РАНГОВЫХ НОРМ

Исходные данные

$w(r);\quad P=\| p_{i,j} \|_{i,j=1}^{n};\quad F_1(w),\ldots, F_n(w),$

$$\Delta W_\Sigma = \sum_{r=1}^{n} w(r) - \sum_{r=1}^{n} \hat{w}(r),$$

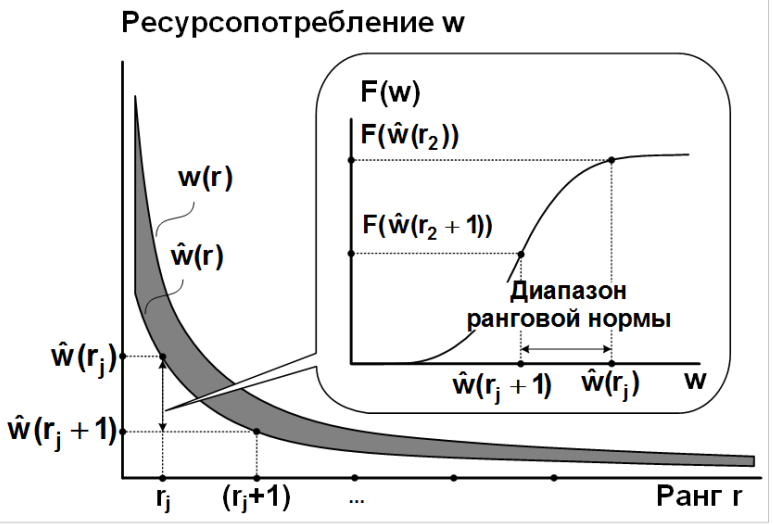
где $w(r)$ - текущее распределение;

P - дважды стохастическая матрица, отражающая ранговую динамику;

$F_n(w)$ - функция распределения ресурсопотребления n-го объекта;

ΔW_Σ - величина, устанавливающая требование по снижению текущего ресурсопотребления.

Ранговая норма



Вероятностная оценка

$$P_\Sigma(\hat{w}(r_j)) = \sum_{i=1}^{n} [p_{i,r_j} \cdot (F_i(\hat{w}(r_j)) - F_i(\hat{w}(r_j+1))],$$

где p_{i,r_j} - вероятность того, что i-й объект займёт ранг r_j;

$F_i(\hat{w}(r_j)) - F_i(\hat{w}(r_j+1))$ - вероятность того, что ресурсопотребление i-го объекта будет принадлежать диапазону, устанавливаемому ранговой нормой.

$$p_w(r_j) = \frac{p(r_j)\cdot p(\hat{w}(r_j))}{P_\Sigma(\hat{w}(r_j))},$$

где $p_w(r_j)$ - вероятность того, что ранговая норма выполнена определённым объектом.

Целевая функция

$$\delta(\hat{W}_1, \hat{\beta}) = \frac{1}{n}\sum_{r=1}^{n} P_\Sigma\left(\hat{W}_1 \Big/ r^{\hat{\beta}}\right) \to \max.$$

Сократим количество переменных

$$\hat{W}_1(\hat{\beta}) = \left(\sum_{r=1}^{n} w(r) - \Delta W_\Sigma\right) \Big/ \sum_{r=1}^{n} r^{-\hat{\beta}}.$$

$$\hat{\beta} = \arg\max_{\beta} \frac{1}{n}\sum_{r=1}^{n} P_\Sigma\left[\frac{W_1(\beta)}{r^{\beta}}\right],$$

где $\beta \in [0{,}5;\ 2{,}5]$ - диапазон изменения рангового коэффициента;

$W_1(\beta)$ - функция зависимости первой точки W_1 от рангового коэффициента β.

ЗАДАЧА ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Постановка задачи

$$W = w_0(r), w_1(r), \ldots, w_m(r),$$

где W - траектория ЦПР, характеризующая перевод системы из текущего состояния $w(r)$ в целевое $w^*(r)$.

$$W = \underset{W \in W}{\arg\max} \left(\sum_{k=0}^{m} Y(w_k(r), w_{(k-1)}(r)) \right),$$

где $Y(w_k(r), w_{(k-1)}(r))$ - функция определения эквивалента выигрыша, получаемого при переводе системы с (k – 1) в k-е состояние;
W - множество возможных траекторий ЦПР.

Эквивалент выигрыша

$$\Delta M_{\Sigma,1} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{r=1}^{n} (w_i - w_1(r)) p_{i,r} [F_i(w_1(r)) - F_i(w_1(r+1))],$$

где $\Delta M_{\Sigma,1}$ - ожидаемый эквивалент выигрыша системы, получаемый на первом шаге;
w_i - ресурсопотребление i-го объекта;
$p_{i,r}$ - вероятность размещения i-го объекта в ранге r;
$F_i(w_1(r)) – F_i(w_1(r+1))$ - вероятность выполнения i-ым объектом ранговой нормы, равной $w_1(r)$;
$w_1(r)$ - ранговое распределение, характеризующее первый шаг управления.

Расчёт управляющих воздействий

$$P_1 = \| p_{1\,i,r} \|_{i,r=1}^{n}; \quad p_{1\,i,r} = \frac{p_{i,r} \cdot [F_i(w_1(r)) - F_i(w_1(r+1))]}{P_\Sigma(w_1(r))};$$

$$\pi_1 = \underset{\pi \in \hat{s}_n}{\arg\max} \sum_{i=1}^{n} p_{1\,i,\pi(i)}; \quad U_1 = \| u_{1i} \|_{i=1}^{n};$$

$$u_{1i} = w_0(\pi_0(i)) - w_1(\pi_1(i)),$$

где P_1 - расчётная дважды стохастическая матрица для первого шага;
π_1 - ранговое отображение, полученное для первого шага;
U_1 - вектор, компоненты которого суть требования объектам по снижению ресурсопотребления на первом шаге.

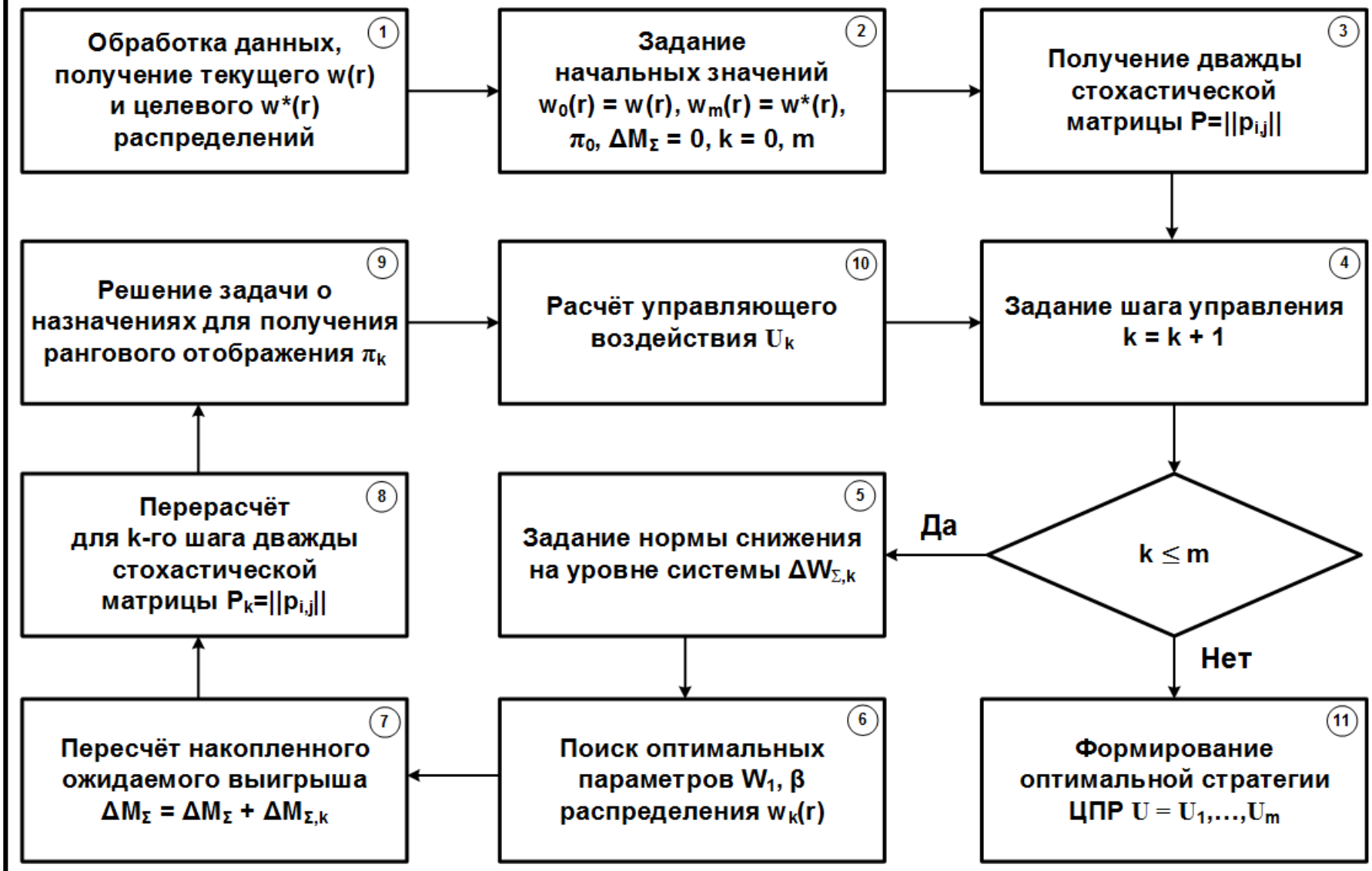
Целевая функция

$$\begin{bmatrix} W \\ \Pi \end{bmatrix} = \underset{\substack{W \in W, \\ \Pi \in \Pi}}{\arg\max} \left(\sum_{k=1}^{m} \Delta M_{\Sigma,k} \begin{pmatrix} w_{k-1}(r), w_k(r), \\ \pi_{k-1}, \pi_k, \Delta W_{\Sigma,k} \end{pmatrix} \right);$$

$$U = F\{W; \Pi\},$$

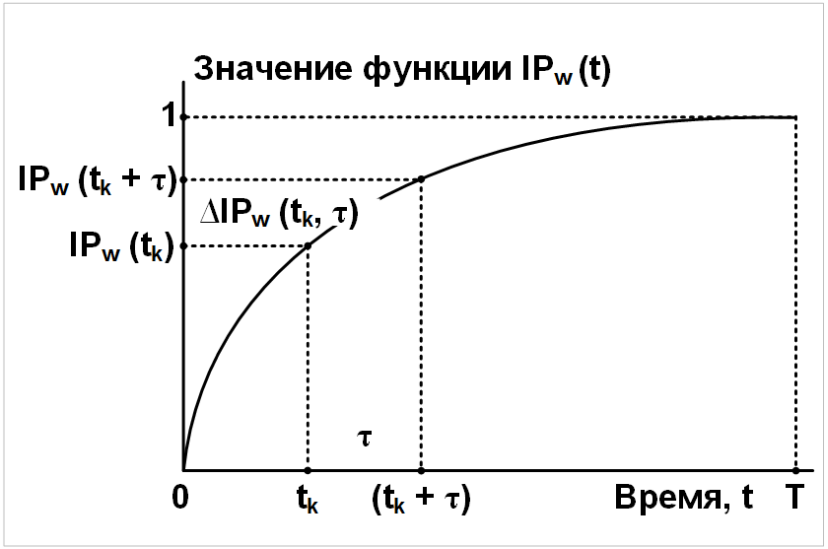
где $\Delta M_{\Sigma,k}$ - эквивалент выигрыша, получаемый при переводе системы с (k – 1) в k-е состояние;
W - траектория ранговых распределений;
Π - траектория ранговых конфигураций;
U - траектория управляющих воздействий;
$F\{W; \Pi\}$ - уравнение связи.

МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

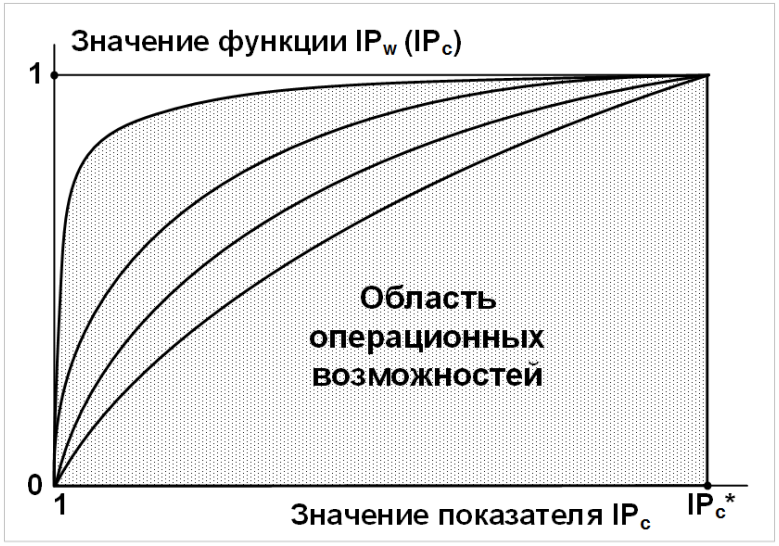


РАСЧЁТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

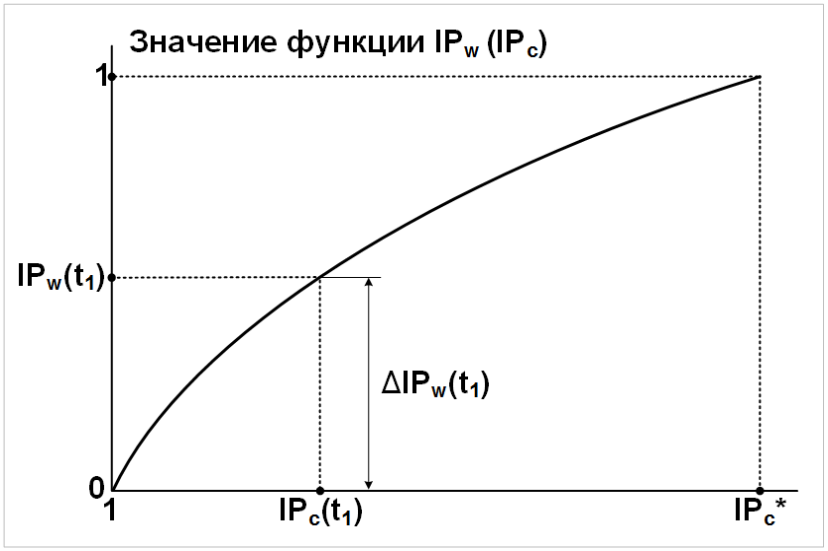
Операционная функция



Семейство операционных функций



Инициализация



Связь показателей

$$\Delta IP_w(t_k) = IP_w(t_k) - IP_w(t_{k-1}) = \frac{\sum_{r=1}^{n} w_{t_{(k-1)}}(r) - \sum_{r=1}^{n} w_{t_k}(r)}{\sum_{r=1}^{n} w(r) - \sum_{r=1}^{n} w^*(r)};$$

$$IP_w(t_k) = \frac{\sum_{r=1}^{n} w(r) - \sum_{r=1}^{n} w_{t_k}(r)}{\sum_{r=1}^{n} w(r) - \sum_{r=1}^{n} w^*(r)}; \quad \Delta IP_w(t_k) = \Delta W_{\Sigma,t_k} / \Delta W_{\Sigma},$$

где $\Delta IP_w(t_k)$ - приращение интегрального показателя качества;

$\Delta W_{\Sigma,t_k}$ - требование к системе по снижению текущего ресурсопотребления.

ВЫВОДЫ

1. **Обосновано понятие условной вероятности выполнения ранговой нормы, позволившее решить задачу по установлению параметров формы рангового распределения, максимизирующего вероятность достижения цели.**
2. **Применительно к ЭП разработана методика решения задачи динамического программирования, отличающаяся использованием ранговых распределений и ранговых конфигураций.**
3. **Разработан способ преобразования требований вышестоящей системы в исходные данные для задачи динамического программирования, отличающийся использованием операционных функций.**
4. **Разработанный научно-методический аппарат, реализующий положения комбинаторного рангового анализа, интегральные показатели эффективности, учитывающие негауссовость данных по ЭП, составляет основу для планирования процесса электропотребления в ЦПЭ.**

Пятое положение, выносимое на защиту

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕАЛИЗАЦИИ РАЗРАБОТАННОЙ ТЕОРИИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К РЕГИОНАЛЬНОМУ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОМУ КОМПЛЕКСУ

ФУНКЦИИ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ЭЭФ



ПОДСИСТЕМЫ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ЭЭФ

Подсистема сбора и обработки данных	Геоинформационная подсистема	Подсистема управления и ППР
Подсистема представления данных	Подсистема информирования и оповещения	Подсистема мониторинга окружающей среды
Подсистема информационного взаимодействия	Информационно-справочная подсистема	Подсистема решения ИРАЗ

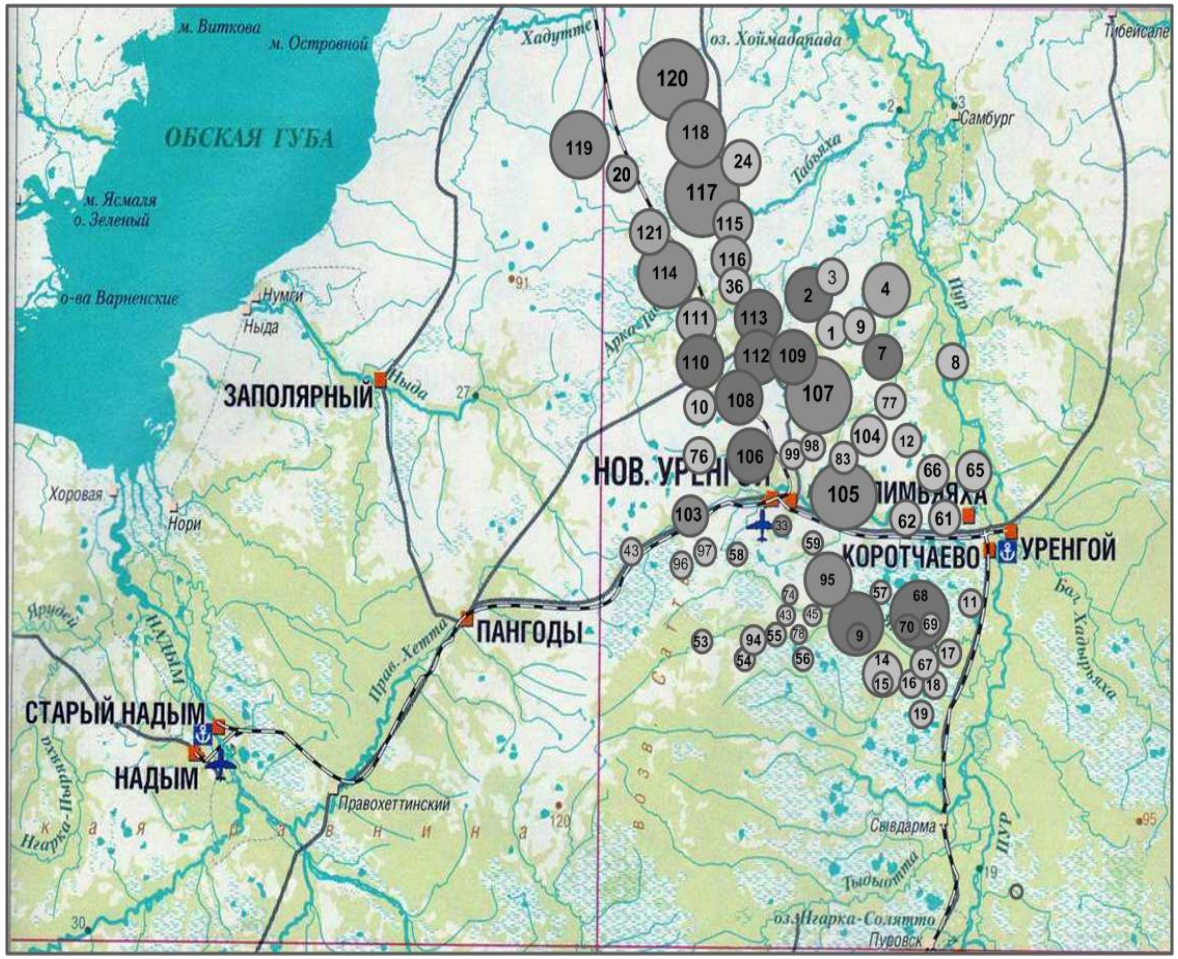
ПРОГРАММНАЯ АРХИТЕКТУРА



НАПРАВЛЕНИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАНИЙ



РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ООО «ГАЗПРОМ ДОБЫЧА УРЕНГОЙ»



Характеристика предприятия:

- 16 газовых промыслов;
- 2 нефтяных промысла;
- 12000 человек;
- 121 объект;
- 17 функциональных групп;
- 252,7 млн. кВт·ч в год;
- 664,6 млн. руб. в год.

ДАННЫЕ ПО ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЮ РЭК

Годовые данные по электропотреблению, кВт·ч

	1	2			5	6
1	$1.474\cdot10^{6}$	$1.613\cdot10^{6}$		$\cdot10^{5}$	$2.95\cdot10^{4}$	$3.663\cdot10^{5}$
2	$1.351\cdot10^{6}$	$1.614\cdot10^{6}$	$3.494\cdot10^{5}$	$4.025\cdot10^{5}$	$2.771\cdot10^{4}$	$3.191\cdot10^{5}$
3	$1.162\cdot10^{6}$	$1.304\cdot10^{6}$	$3.971\cdot10^{5}$	$3.274\cdot10^{5}$	$3.044\cdot10^{4}$	$2.853\cdot10^{5}$
4	$1.628\cdot10^{6}$	$1.53\cdot10^{6}$	$4.101\cdot10^{5}$	$3.439\cdot10^{5}$	$3.258\cdot10^{4}$	$2.461\cdot10^{5}$
5	$1.624\cdot10^{6}$	$1.617\cdot10^{6}$	$4.107\cdot10^{5}$	$3.509\cdot10^{5}$	$3.189\cdot10^{4}$	$2.323\cdot10^{5}$
6	$1.\cdot10^{6}$	$\cdot10^{6}$	$\cdot10^{5}$	$3.423\cdot10^{5}$	$3.29\cdot10^{4}$	$1.856\cdot10^{5}$
7	1.72	$\cdot10^{6}$	$\cdot10^{5}$	$3.557\cdot10^{5}$	$3.492\cdot10^{4}$	$1.803\cdot10^{5}$
8	$1.758\cdot10^{6}$	$1.795\cdot10^{6}$	$4.353\cdot10^{5}$	$3.058\cdot10^{5}$	$3.349\cdot10^{4}$	$1.691\cdot10^{5}$
9	$1.\cdot10^{6}$	$2.005\cdot10^{6}$	$4.591\cdot10^{5}$	$2.796\cdot10^{5}$	$3.65\cdot10^{4}$	$1.5\cdot10^{5}$
10	$1.746\cdot10$	$1.933\cdot10^{6}$	$4.541\cdot10^{5}$	$2.995\cdot10^{5}$	$3.458\cdot10^{4}$	...

Код объекта

Годы наблюдения

Ранговая поверхность



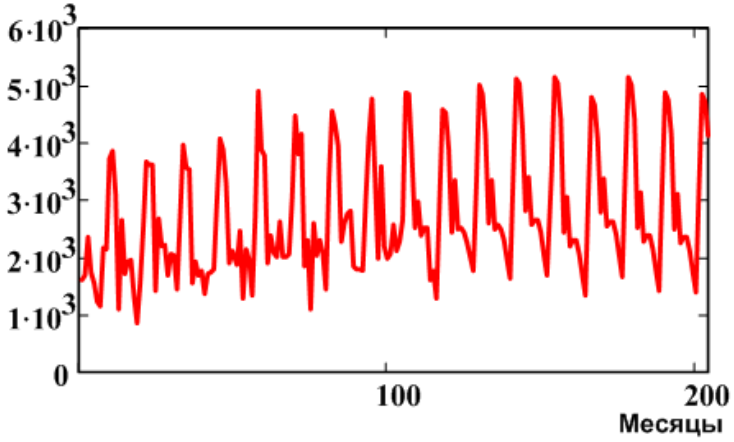
Месячные данные по электропотреблению, кВт·ч

	1	2	3	4	5
1	$2.228\cdot10^{5}$	$1.912\cdot10^{5}$	$1.82\cdot10^{5}$		10^{5}
2	1.49	10^{5}	$1.2\cdot10^{5}$		10^{5}
3	3.9	0^{4}	$1.96\cdot10^{4}$	$2.07\cdot10^{4}$	$2.13\cdot10^{4}$
4	$7.708\cdot10^{4}$	$5.006\cdot10^{4}$	$8.342\cdot10^{4}$	$4.619\cdot10^{4}$	$5.737\cdot10^{4}$
5	$1.607\cdot10^{3}$	$1.688\cdot10^{3}$	$2.346\cdot10^{3}$	$1.737\cdot10^{3}$	$1.547\cdot10^{3}$
6	$6.361\cdot10^{4}$	$3.879\cdot10^{4}$	$3.28\cdot10^{4}$	$3.739\cdot10^{4}$	$2.168\cdot10^{4}$
7	$3.299\cdot10^{5}$	$4.012\cdot10^{5}$	$4.53\cdot10^{5}$	$3.668\cdot10^{5}$	$1.128\cdot10^{5}$
8	$1.719\cdot10^{5}$	$1.836\cdot10^{5}$	$1.626\cdot10^{5}$	$1.714\cdot10^{5}$	$1.583\cdot10^{5}$
9	$1.94\cdot10^{5}$	$1.848\cdot10^{5}$	$2.077\cdot10^{5}$	$2.171\cdot10^{5}$	$1.64\cdot10^{5}$

Месяц наблюдения

Код объекта

График ЭП, кВт·ч в месяц



РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕРВАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ РЭК

Данные за последний год наблюдения

$Z^{\langle 8 \rangle T}$ =

	71	72	73	74	75	76	77
1	509.842	498.028	493.904	486.776	461.656	444.254	…

Корректировка базы данных за последний год

$EC13^{\langle 13 \rangle T}$ =

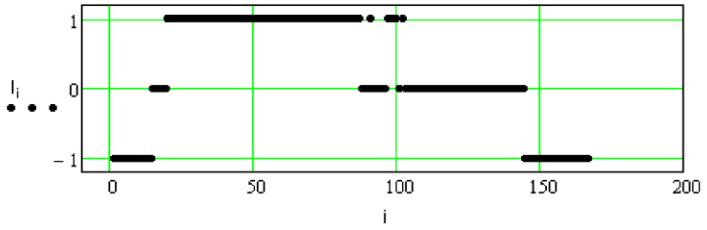
	61	62	63	64	65	66
1	238.254	205.532	66.317	528.288	53.702	…

База данных на предпоследний год наблюдения

Z^T =

	71	72	73	74	75	76	77
1	386.87	349.539	340.555	338.834	337.722	334.844	318.088
2	480.319	467.353	443.582	424.936	419.689	384.046	368.855
3	440.829	421.625	383.304	373.602	371.981	358.547	354.373
4	478.663	459.128	458.135	443.8	421.623	392.466	373.698
5	479.686	479.288	462.949	447.954	444.569	436.531	390.606
6	474.362	458.698	419.156	407.242	387.162	379.581	378.778
7	497.966	453.331	435.883	419.927	412.376	401.566	…

Аномальные объекты по откорректированным значениям за последний год



Аномальные объекты на предпоследний год

SD =

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	26	123	82	27	16	151	99	11	120	…

SS =

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	17	150	133	155	103	108	75	126	97	…

SO =

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	17	150	133	103	126	70	97	96	155	…

SAS =

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	9	111	99	103	146	82	20	112	126	…

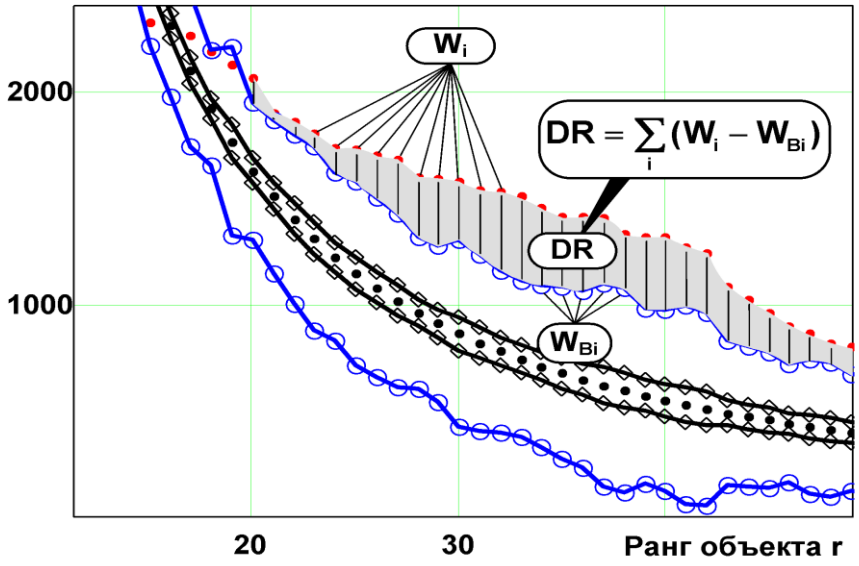
SAO =

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	111	99	103	146	82	9	112	126	118	…

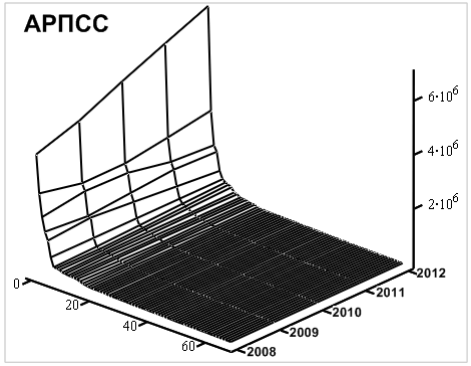
SAD =

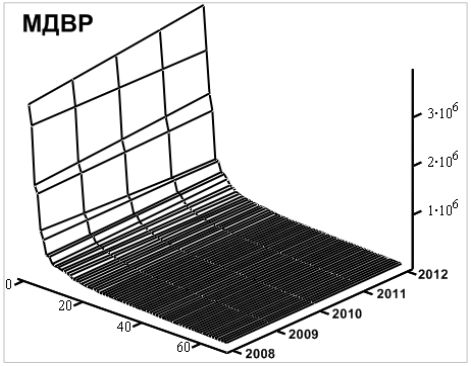
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	9	99	118	82	151	56	112	26	126	…

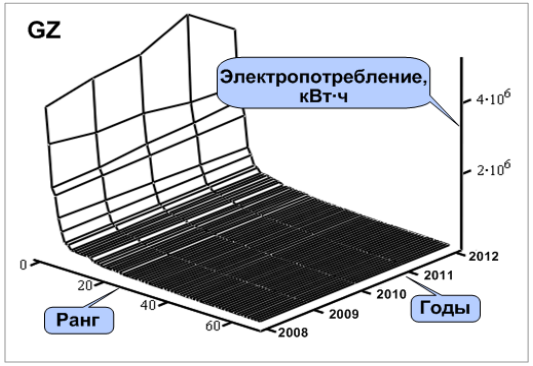
Электропотребление W, тыс. кВт·ч

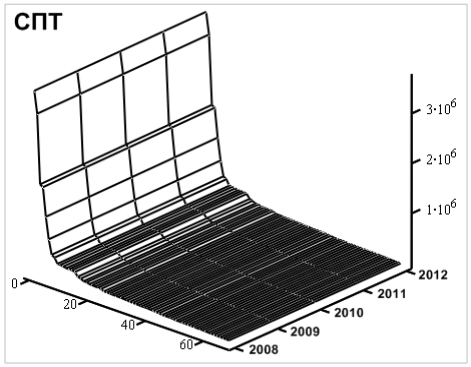


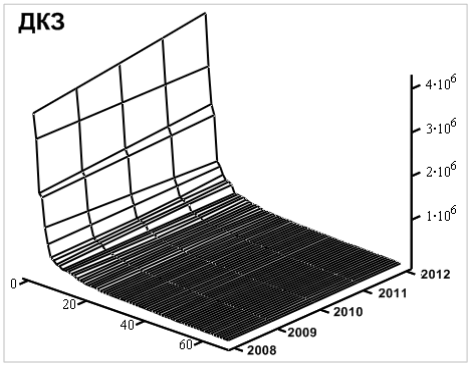
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ РЭК

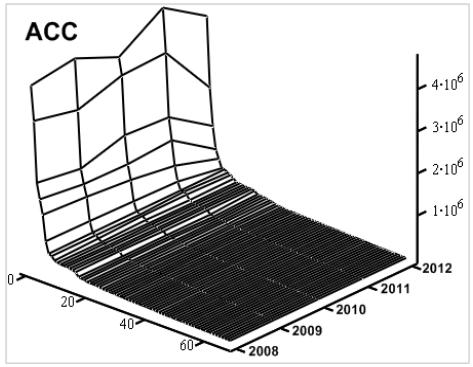


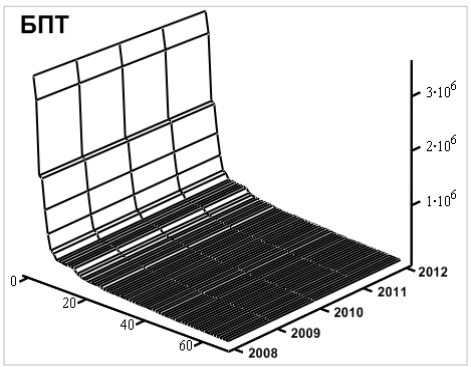












	1	2	3	4	5
57	$7.65 \cdot 10^4$	$7.845 \cdot 10^4$	$8.007 \cdot 10^4$	$8.211 \cdot 10^4$	$8.387 \cdot 10^4$

	1	2	3	4	5
57	$7.661 \cdot 10^4$	$7.856 \cdot 10^4$	$8.056 \cdot 10^4$	$8.261 \cdot 10^4$	$8.471 \cdot 10^4$

	1	2	3	4	5
57	$7.687 \cdot 10^4$	$8.006 \cdot 10^4$	$8.202 \cdot 10^4$	$8.572 \cdot 10^4$	$8.813 \cdot 10^4$

	1	2	3	4	5
57	$7.487 \cdot 10^4$	$7.499 \cdot 10^4$	$7.505 \cdot 10^4$	$7.505 \cdot 10^4$	$7.498 \cdot 10^4$

	1	2	3	4	5
58	$9.01 \cdot 10^3$	$1.29 \cdot 10^4$	$1.76 \cdot 10^4$	$2.32 \cdot 10^4$	$2.979 \cdot 10^4$

	1	2	3	4	5
58	$5.262 \cdot 10^3$	$4.727 \cdot 10^3$	$4.195 \cdot 10^3$	$3.663 \cdot 10^3$	$3.13 \cdot 10^3$

	1	2	3	4	5
58	$6.646 \cdot 10^3$	$6.653 \cdot 10^3$	$6.661 \cdot 10^3$	$6.668 \cdot 10^3$	$6.675 \cdot 10^3$
59	$2.8 \cdot 10^4$	$3.016 \cdot 10^4$	$3.25 \cdot 10^4$	$3.501 \cdot 10^4$	$3.772 \cdot 10^4$
60	$2.604 \cdot 10^4$	$2.642 \cdot 10^4$	$2.68 \cdot 10^4$	$2.72 \cdot 10^4$	$2.759 \cdot 10^4$
61	$8.204 \cdot 10^4$	$8.056 \cdot 10^4$	$7.91 \cdot 10^4$	$7.767 \cdot 10^4$	$7.627 \cdot 10^4$
62	$2.743 \cdot 10^4$	$2.808 \cdot 10^4$	$2.875 \cdot 10^4$	$2.944 \cdot 10^4$	$3.014 \cdot 10^4$
63	$3.249 \cdot 10^4$	$3.398 \cdot 10^4$	$3.554 \cdot 10^4$	$3.717 \cdot 10^4$	$3.888 \cdot 10^4$
64	$9.612 \cdot 10^4$	$9.677 \cdot 10^4$	$9.743 \cdot 10^4$	$9.81 \cdot 10^4$	$9.877 \cdot 10^4$
65	$1.394 \cdot 10^5$	$1.436 \cdot 10^5$	$1.479 \cdot 10^5$	$1.523 \cdot 10^5$	$1.569 \cdot 10^5$
66	$6.401 \cdot 10^3$	$6.725 \cdot 10^3$	$7.066 \cdot 10^3$	$7.424 \cdot 10^3$	$7.799 \cdot 10^3$
67	$1.073 \cdot 10^5$	$1.071 \cdot 10^5$	$1.068 \cdot 10^5$	$1.065 \cdot 10^5$	$1.062 \cdot 10^5$
68	$2.376 \cdot 10^4$	$2.359 \cdot 10^4$	$2.341 \cdot 10^4$	$2.324 \cdot 10^4$	$2.307 \cdot 10^4$

НОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ РЭК

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	3					
66	13764	3					
67	19080	3					
68	111129	9					
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

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НОРМ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

Функциональные группы

1	кусты нефтяных скважин
2	котельные
3	общежития
4	административные здания
5	спортивно-оздоровительные комплексы
6	центральные пункты сбора нефти
7	установки комплексной подготовки газа
8	производственные базы хранения
9	нефтебазы

Удельное ЭП объектов

1	13		775,73
2	7		158,3
3	3	31.12.2011	91391,25
4	2	31.12.2011	222909,88
5	7	31.12.2011	733669,47
6			24767,75
7			205113,1
8	5	31.12.2011	3350,85
9	2		32341,9

Идентификатор группы

Идентификатор объекта

Удельное ЭП

Матрица ZP-норм

Код	2008	2009	2010	2011
1	142550	149772	147020	146196
2	1089098	1122		1052082
3	196551	192		178328
4			245706	258735
5			2844566	2787944
6			809324	792568
7	261162	266701	307133	323419
8	97988	113800	116567	127580

ZP-норма

Идентификатор объекта

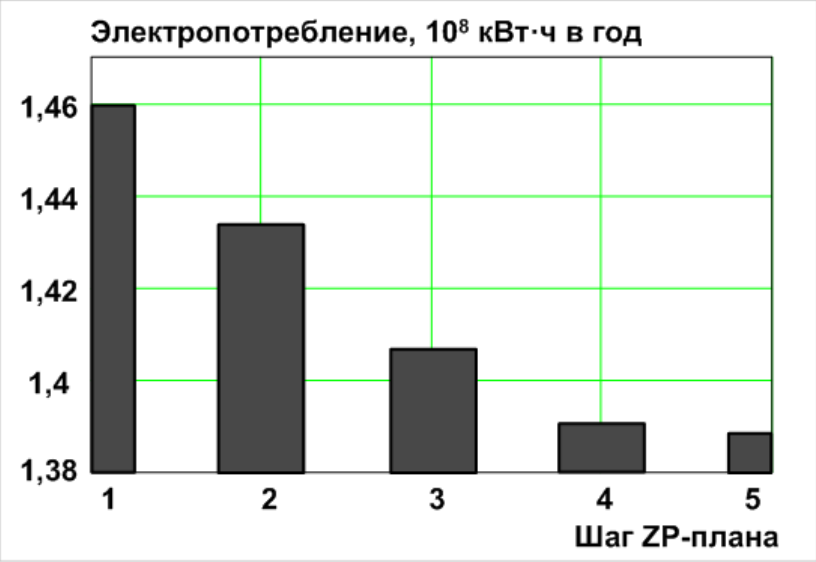
Минимальное удельное ЭП

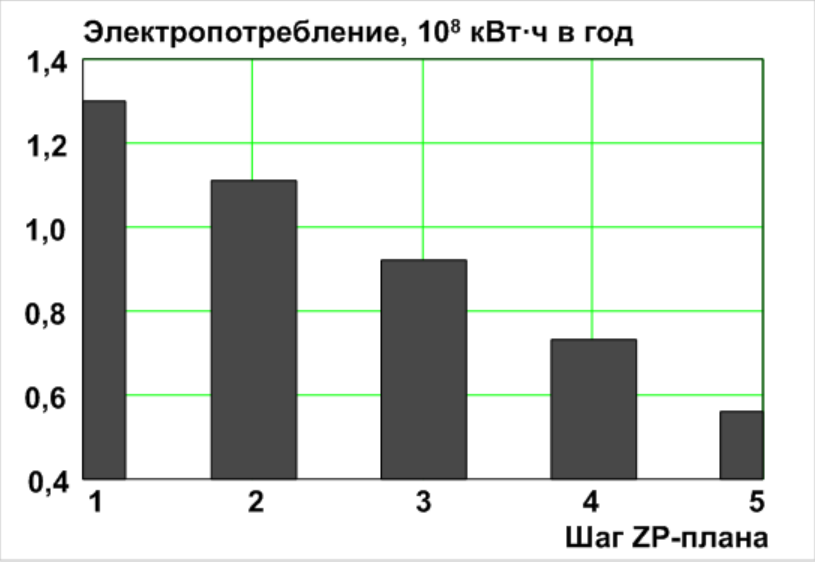
1	31.12.2011	707,76
2		32341,9
3		24767,75
4		2268,11
5	31.12.2011	1962,78
6		948,46
7		733669,47
8	31.12.2011	509314,6
9	31.12.2011	5063,26

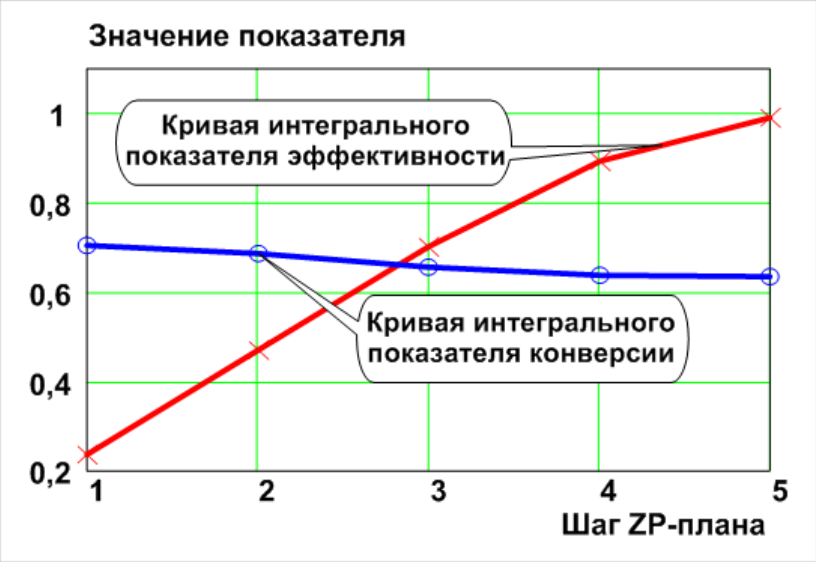
Минимальное удельное ЭП в группе

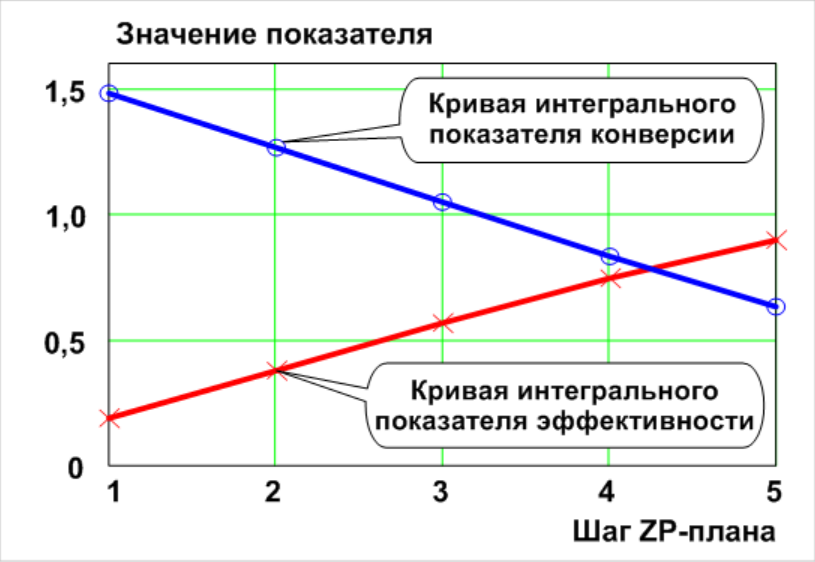
Идентификатор группы

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ









РЕАЛИЗАЦИЯ ПЛАНА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

$$\Delta_{ZP} = \frac{\sum_{i=1}^{n} W_i^{ZP} - W_i^*}{\Delta W}; \qquad \bar{s} = \frac{\sum_{i=1}^{n} s_i}{n}; \qquad s^{max} = \sup_{1 \le i \le n}(s_i); \qquad n_{ZP} = 100 \cdot \frac{n_Z}{n},$$

где $s_i = \frac{W_i^{ZP} - W_i^*}{W_i^{ZP}}$ - относительное отклонение электропотребления i-го объекта от границы Z-потенциала;

W_i^{ZP} - электропотребление i-го объекта на последнем шаге ZP-плана;

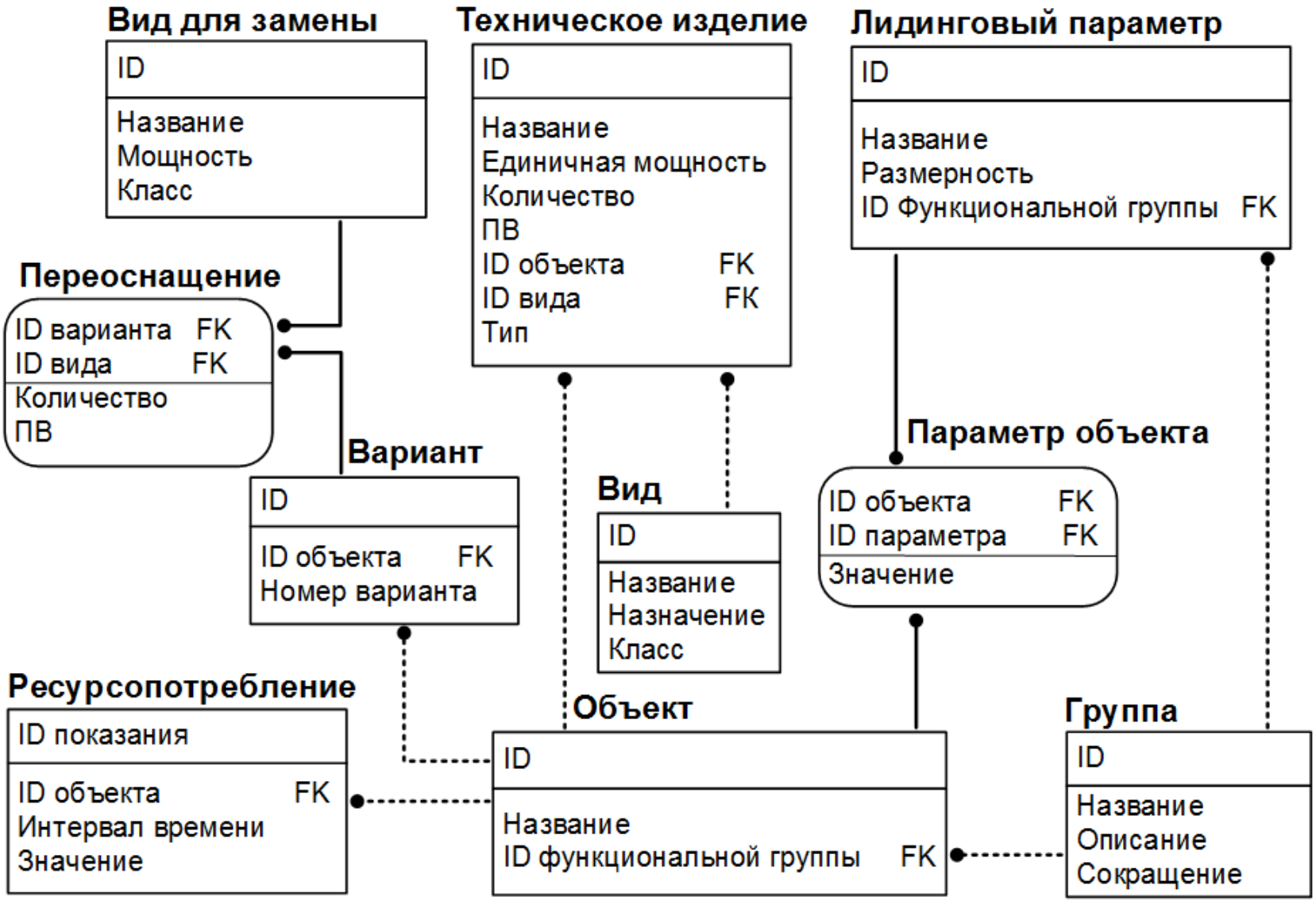
W_i^* - электропотребление i-го объекта на границе Z-потенциала;

ΔW - величина Z-потенциала;

n_Z - количество объектов, достигнувших границы Z-потенциала.

Показатель	Стратегия достижения уровня	
	Z1-потенциала	Z2-потенциала
Δ_{ZP}, %	99,97	99,95
$\bar{s}$, %	0,28	0,21
s^{max}, %	5,92	6,41
n_{ZP}, %	85,95	90,08

ЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БАЗЫ ДАННЫХ



ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ

1. Проверка значимости регрессионной зависимости по критерию Фишера

Выдвигается гипотеза: $H_0 : \sigma_p^2 = \sigma_{ост}^2$.

Суммы квадратов отклонений:

$$SS_{общ} = SS_p + SS_{ост}; \quad \sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^{n}(z_i - \bar{z})^2 + \sum_{i=1}^{n}(y_i - z_i)^2.$$

Степени свободы: $v_{общ} = v_p + v_{ост}$.

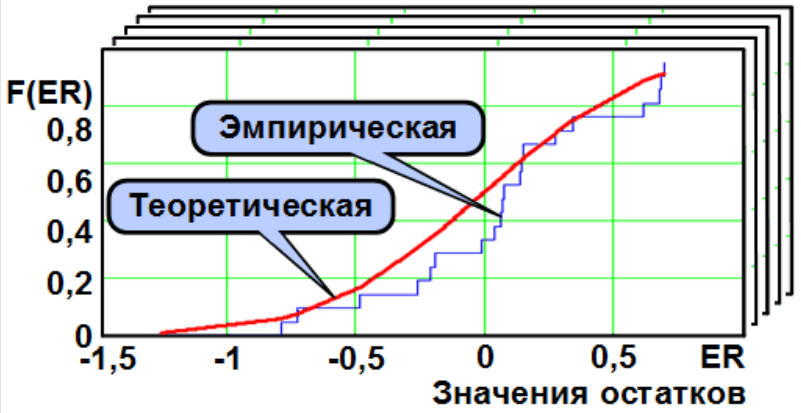
Статистика критерия Фишера:

$$F = \frac{S_p^2}{S_{ост}^2}; \quad S^2_p = \frac{SS_p}{v_p}; \quad S^2_{ост} = \frac{SS_{ост}}{v_{ост}}; \quad F_к = F(\alpha, v_p, v_{ост}).$$

Если $F < F_к$, то H_0 принимается, иначе H_0 следует отвергнуть.

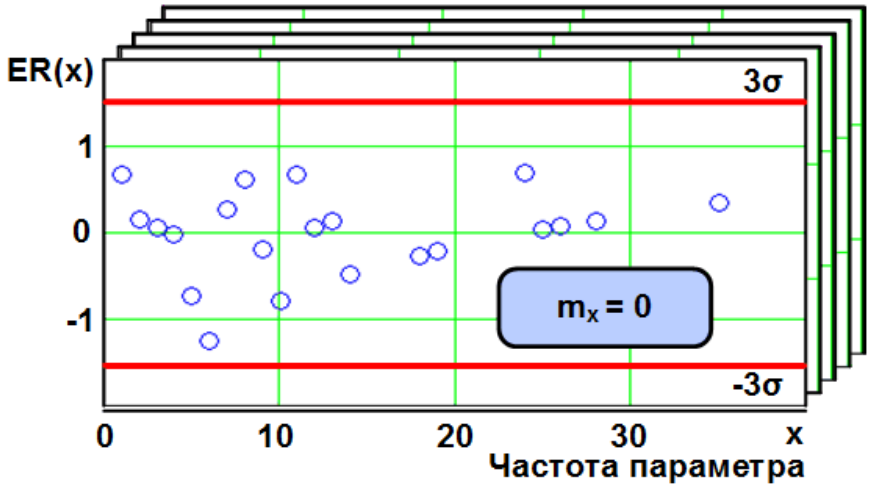
2. Анализ остатков на соответствие нормальному закону распределения

Значения функции распределения



Статистика критерия Колмогорова: $D = \max|F^*(x) - F(x)|$.

Остатки аппроксимации



3. Анализ остатков на однородность по критерию Фишера

Выборка данных разбивается на две выборки (с четными и нечетными индексами) объемами n_1 и n_2.

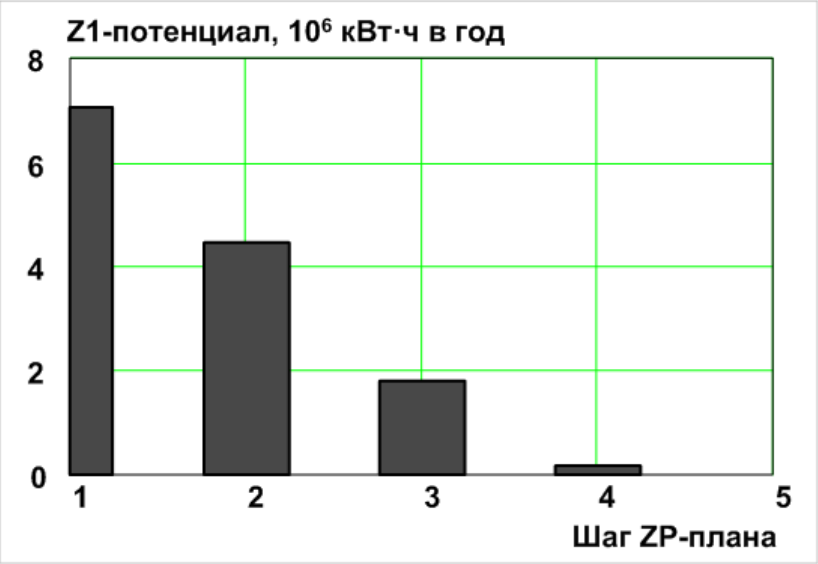
Выдвигается гипотеза: $H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$.

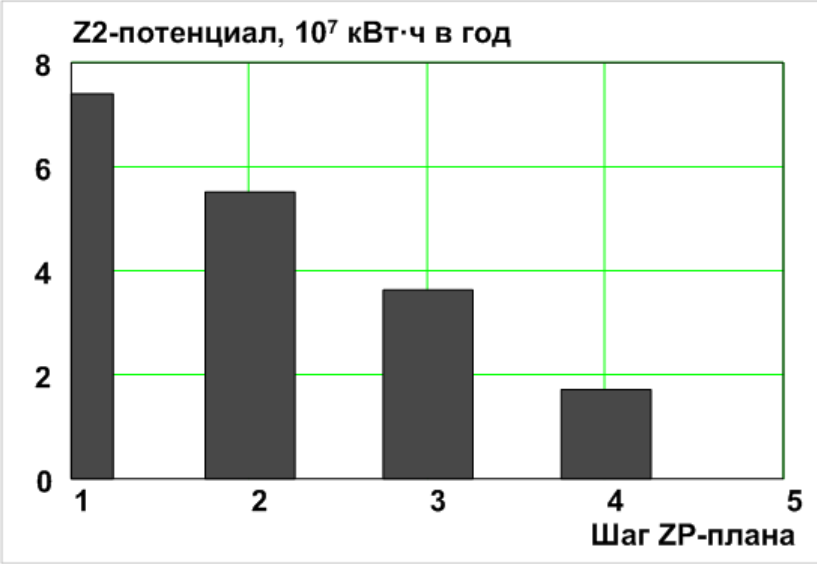
Степени свободы: $v_1 = n_1 - 1; \quad v_2 = n_2 - 1.$

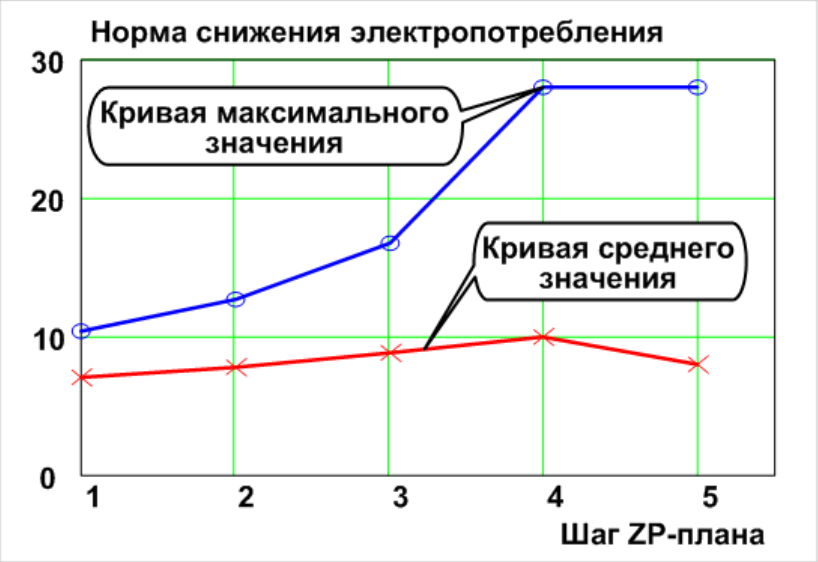
Статистика критерия Фишера: $F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$.

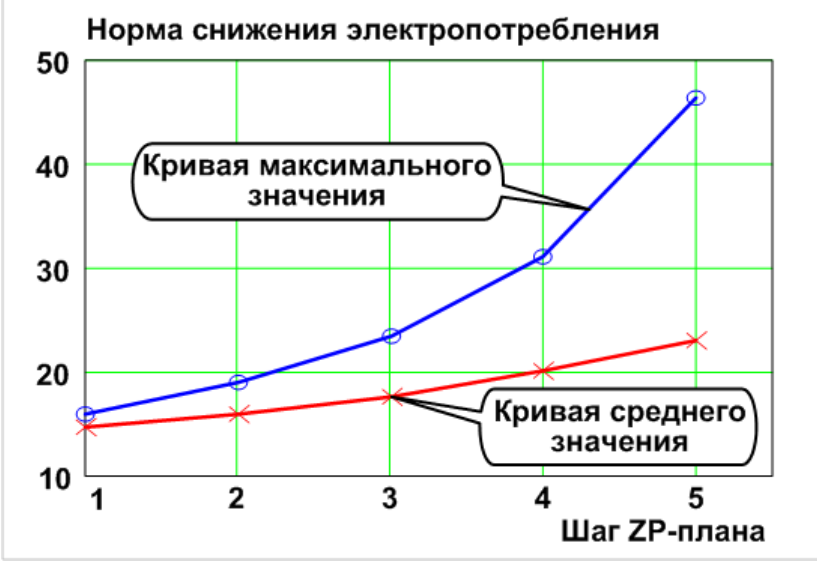
Если $F < F_{\alpha/2, v_1, v_2}$ и $F > F_{1-\alpha/2, v_1, v_2}$, то гипотеза о равенстве дисперсий двух выборок отвергается в пользу альтернативы. В противном случае – не отвергается.

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ



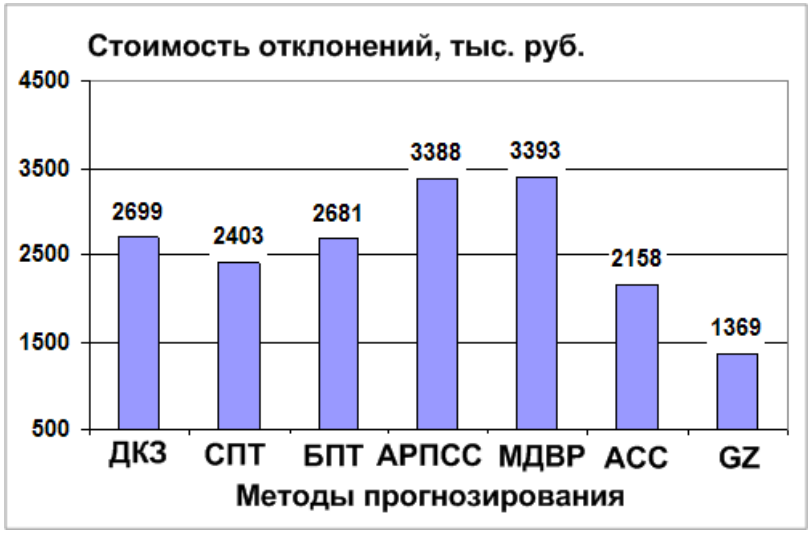


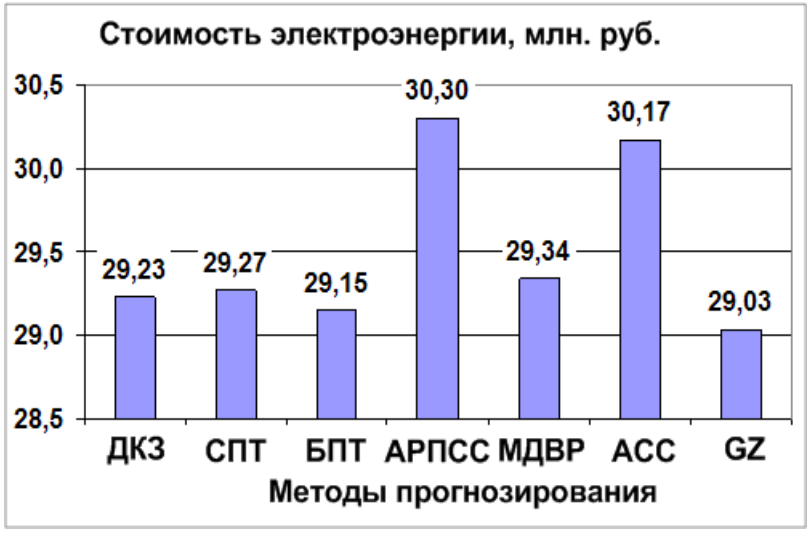




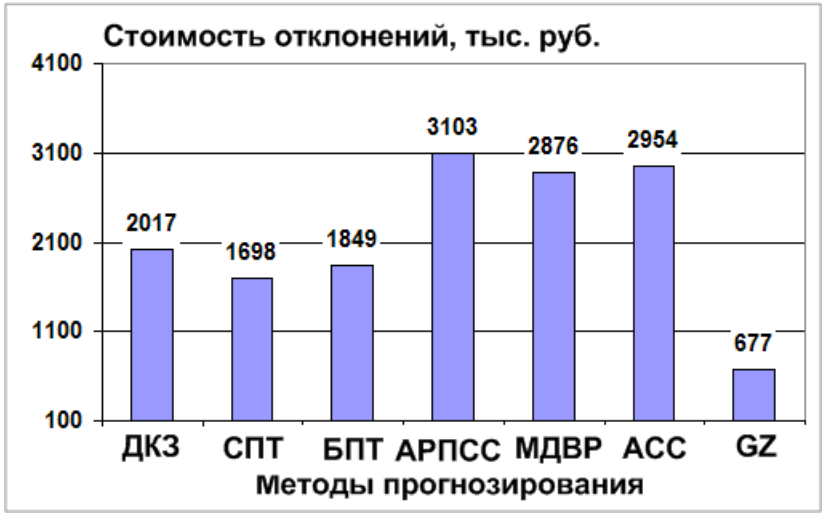
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

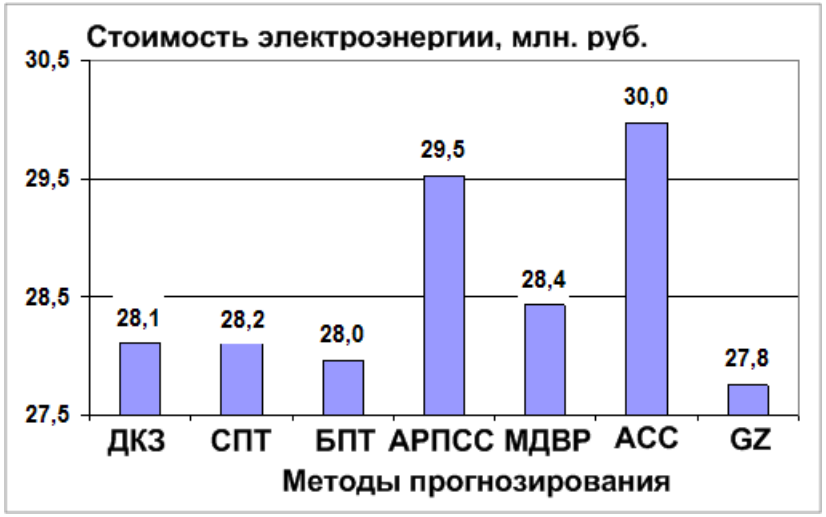
Расчёт для условий розничного рынка электроэнергии





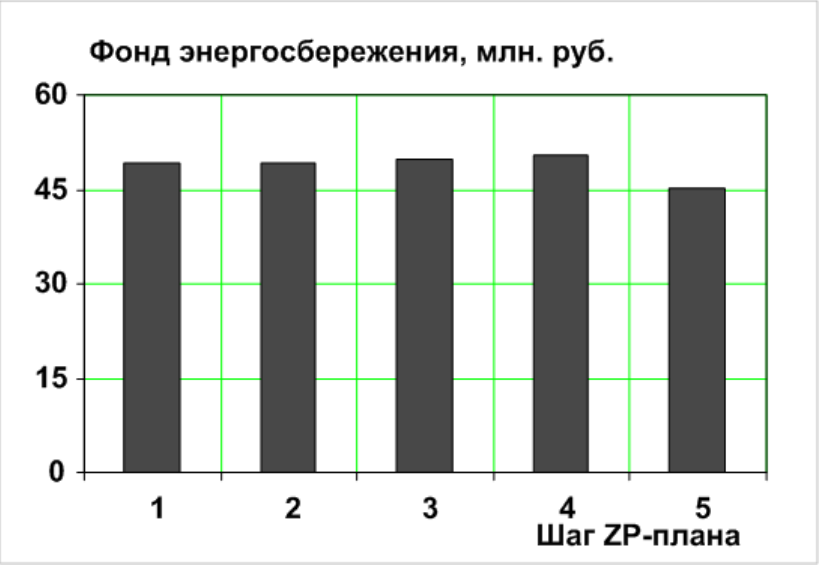
Расчёт для условий оптового рынка электроэнергии





ФОНД ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ









ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. **Разработаны основы комбинаторного рангового анализа, описывающая структурные свойства и упорядоченность организационно-технических систем с использованием ранговых конфигураций и структур.**
2. **Разработаны показатели и критерии оценки эффективности электропотребления РЭК, позволяющие учесть негауссовый характер параметрических распределений и затраты на весь жизненный цикл многономенклатурной системы.**
3. **Разработана методология моделирования электропотребления РЭК, учитывающая ранговую динамику в последовательности ранговых параметрических распределений.**
4. **Разработан алгоритм планирования электропотребления регионального электротехнического комплекса в цифровой платформе энергоэффективности**
5. **Результаты многолетней апробации в различных предметных областях подтвердили достоверность полученных научных результатов.**

АПРОБАЦИЯ, ПУБЛИКАЦИЯ, РЕАЛИЗАЦИЯ

Результаты работы, начиная с 2008 года, регулярно докладывались на:
- 14 межведомственных и межвузовских научно-практических конференциях;
- Международной научно-практической конференции «Общая и прикладная ценология», МЭИ;
- Международной научной конференции «Инновации в науке, образовании и бизнесе», КГТУ г. Калининград.

ИНП РАН (2011, 2013, 2019 гг.), ИНЭИ РАН (2014, 2016 гг.)
Выступления в по следующим темам:
- «Потенциал энергосбережения регионального электротехнического комплекса»;
- «Прогнозирование электропотребления регионального электротехнического комплекса на инерционном этапе развития».

Участие в НИР: «Техносфера-М», «Техносфера-Л», «Нефтяник», «Техносфера-А», «Прогноз», «Норма», «Монитор», «Техносфера-О», «Разряд», «Грань-ресурс»

Опубликовано более 100 трудов в т.ч.: 15 в журналах ВАК; 6 коллективных монографий; более 15 отчетов о НИР.

Получены 8 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Результаты исследований докладывались на научно-технических совещаниях и получили одобрение в: ОВА ВС РФ, Академии МТО им. А.В. Хрулёва, МЭИ, СПИИ РАН, ИНП РАН, ИНЭИ РАН, ВКА им. А.Ф. Можайского, Академии ФСО, Академии связи им. С.М. Буденного, АГПС МЧС, ВИТУ, ПАО «Северсталь», ЮрГТУ, АО Институт «Энергосетьпроект».

Результаты исследований реализованы в интересах и по заказу: Балтийского флота; ПАО «Россети» (АО «Янтарьэнерго»), ООО «Газпром добыча Уренгой», ТюмГУ, Технопарка КГТУ, МЭИ.

НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. **Разработка на основе комбинаторного рангового анализа методов обработки данных в цифровой платформе энергоэффективности по другим видам энергетических ресурсов.**
2. **Разработка методов выявления «полезных» закономерностей в последовательности ранговых параметрических распределений по электропотреблению за счёт интеллектуальной обработки данных.**
3. **Разработка механизмов стимулирования участников цифровой платформы энергоэффективности, обеспечивающих достижение целевых показателей энергосбережения.**
4. **Разработка на основе методов информационного управления алгоритмов управления поведением участников цифровой платформы энергоэффективности.**
5. **Разработка методов агентного моделирования взаимодействия участников цифровой платформы энергоэффективности.**

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Д.В. Луценко, 2026