О РАНГОВОМ ГИПЕРПАРАМЕТРИЧЕСКОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ТЕХНОЦЕНОЗА

В.И. Гнатюк

Еще раз обратимся к ранговому анализу как основному методу исследования техноценозов. По определению – это метод исследования техноценозов, имеющий целью их статистический анализ, а также оптимизацию, и полагающий в качестве критерия форму ранговых параметрических распределений. Включает стандартные процедуры параметрического нормирования, интервального оценивания, прогнозирования, нормирования и потенширования. Более тонкий анализ рангового параметрического распределения позволяет существенно повысить эффективность рангового анализа. Он осуществляется в рамках следующих (так называемых «тонких») процедур: дифлекс-анализа (на этапе интервального оценивания), GZ-анализа (на этапе прогнозирования), ASR-анализа (на этапе нормирования) и ZP-анализа (на этапе потенширования) [1-11].

Известно, что основным инструментом рангового анализа является ранговое параметрическое распределение. Вообще под ранговым распределением понимают полученное в результате процедуры ранжирования видов или особей техноценоза по какому-либо параметру распределение Ципфа в ранговой дифференциальной форме, по сути, являющееся невозрастающей последовательностью значений самих параметров, поставленных в соответствие рангу. Различают ранговые распределения, в которых ранжируются виды по количеству особей, которым они представлены в техноценозе (ранговые видовые), или объекты по значению параметра (ранговые параметрические) [1,11]. Применительно к параметру электропотребления нас будут интересовать ранговые параметрические распределения. И здесь необходимо вспомнить ряд базовых понятий.

Начнем с понятия ранга, под которым понимается номер по порядку при расположении объектов техноценоза в порядке снижения их электропотребления. При параметрическом описании техноценоза изначально мы имеем дело с множеством эмпирических значений электропотребления объектов в фиксированный момент времени [1,11]:

$$\left\{W_k\right\}_{k=1}^{n}, \tag{1}$$

где W_k – значение электропотребления k-ого объекта техноценоза;
n – общее количество объектов техноценоза.

После процедуры ранжирования появляется возможность установить взаимно-однозначное соответствие между множествами:

$$\left\{W_k\right\}_{k=1}^{n} \xrightarrow[f:W\rightarrow R]{} \left\{R_k\right\}_{k=1}^{n}, \qquad (2)$$

где $\left\{R_k\right\}_{k=1}^{n}$ – множество возможных рангов объектов техноценоза в фиксированный момент времени;

$f: W \rightarrow R$ – числовая функция, устанавливающая соответствие между элементами множеств.

Следует отметить, что числовая функция соответствия между множествами значений электропотребления и рангов может быть определена на основе процедуры установления однозначного функционального соответствия (очевидно, что эта процедура определяется самой сутью процедуры параметрического ранжирования в техноценозе).

Технически функциональное соответствие между множествами может быть установлено посредством процедуры аппроксимации, под которой в общем случае понимается научный метод, состоящий в замене одних объектов другими, в каком-то смысле близкими к исходным, но более простыми. Аппроксимация позволяет исследовать числовые характеристики и качественные свойства объекта, сводя задачу к изучению более простых или более удобных объектов (например, таких, характеристики которых легко вычисляются или свойства которых уже известны). В теории чисел изучаются диофантовы приближения, в частности, приближения иррациональных чисел рациональными. В геометрии рассматриваются аппроксимации кривых ломаными. Некоторые разделы математики, в сущности, целиком посвящены аппроксимации, например, теория приближения функций, численные методы анализа. Теория приближений – раздел математики, изучающий вопрос о возможности приближенного представления одних математических объектов другими, как правило, более простой природы, а также вопросы об оценках вносимой при этом погрешности. Значительная часть теории приближений относится к приближению одних функций другими, однако есть и результаты, относящиеся к абстрактным векторным или топологическим пространствам [1,11].

В теории рангового анализа аппроксимация носит фундаментальный характер и связана с явлением случайности. В философии случайность – категория, выражающая отношение к основанию (сущности) процесса его отдельных форм (проявлений). При этом полагается, что случайность имеет свое основание не в сущности явления, а в воздействии на него других явлений; что это то, что может быть, а может и не быть, может произойти так, а может и иначе. В ряде концепций рассматривается как форма, за которой скрывается непознанная закономерность. В математике рассматривается как определение класса событий, которые при осуществлении некоторого комплекса условий иногда происходят, а иногда не происходят. В алеатике (науке о случайности) рассматривается как важный атрибут объектов материального мира, отражающий континуальность параметров и фрактальность систем отсчета, а также имеющий следующие возможные причины: 1) непонятая закономерность; 2) скрещение несогласованных процессов; 3) уникальность; 4) неустойчивость движения; 5) относительность знания; 6) имманентная случайность; 7) произвольный выбор. При исследовании объектов техноценологического типа мы, в той или иной степени, имеем дело с причинами пятого и седьмого типов. Случайным в широком смысле является сочетание (именно фиксированное сочетание) видов технических изделий, составляющих техноценоз, если мы его рассматриваем среди большого количества других подобных техноценозов. Судить о статистическом (и далее – вероятностном) распределении данных сочетаний можно лишь полномасштабно исследовав поведение техноценозов в более общем таксономическом образовании – метаценозе (доступной для исследования в данный момент времени совокупности техноценозов). В узком смысле случайной является форма видового распределения, описывающего номенклатуру техноценоза, что делает случайной величиной значение соответствующего формального параметра. С другой стороны, если рассматривать совокупность одноименных параметров технических изделий техноценоза как выборку из параметрического пространства, то значение фиксированного параметра конкретного изделия может рассматриваться как случайная величина, а саму выборку в этом случае можно описать как статистическое распределение [1,11].

Формально в ранговом анализе аппроксимация реализуется после операции ранжирования для получения числовой функции соответствия множества значений параметра техноценоза множеству определения рангов. В результате получается числовая функция рангового параметрического распределения. Аппроксимация эмпирических распределений в ранговом анализе обладает существенной онтологической спецификой. Если рассматривать совокупность одноименных параметров технических изделий техноценоза как выборку из параметрического пространства, то значение фиксированного параметра конкретного изделия может рассматриваться как случайная величина, а саму выборку в этом случае можно описать как статистическое распределение. Учитывая, что в процессе аппроксимации мы фактически без изменения формы обобщаем конечную выборку эмпирических точек техноценоза до континуума генеральной совокупности, можно заключить, что аппроксимационная форма – это и есть соответствующее вероятностное распределение. Таким образом, в данном случае аппроксимация позволяет перейти от частной эмпирической выборки к вероятностному распределению генеральной совокупности. Однако, для того чтобы определить функцию рангового параметрического распределения по электропотреблению, прежде необходимо рассмотреть понятия ранговой топологии и ранговой топологической меры.

Топология (от древнегреческих «топос» – место и «логос» – слово, учение) – раздел математики, который изучает: в самом общем виде – явление непрерывности; в частности – свойства пространств, которые остаются неизменными при непрерывных деформациях (например – связность, ориентируемость). В частности, ранговая топология – раздел рангового анализа техноценозов, в котором изучаются свойства ранговых параметрических пространств (множеств параметров с дополнительной структурой рангового типа). Двумерным примером рангового параметрического пространства является множество значений одного отдельного параметра, заданное на множестве определения ранговой топологической меры (оба данных множества имеют мощность «алеф 1»). В простейшем случае – это числовая функция рангового параметрического распределения, определенная на множестве ранговой топологической меры, полученная в результате аппроксимации отранжированного множества значений параметра. Ранговая топологическая мера – количественная форма, отражающая качественное свойство объекта обладать большим или меньшим значением параметра. В конкретном техноценозе ранговая топологическая мера численно определяется как помноженная на количество объектов вероятность того, что в техноценозе будет превышено значение параметра, соотносимое с данной ранговой топологической мерой (при условии, что количество объектов стремится к бесконечности). Она дает континуальное обобщение понятия ранга как целочисленной меры близости объектов по значению параметра в упорядоченной последовательности, построенной по убыванию данного параметра. При этом ранги соответствуют целочисленным значениям ранговой топологической меры и задают на ранговом параметрическом распределении граничные значения параметра, близость к которым, в конечном итоге, и ранжирует объекты. Принципиально важным видится то, что континуальная ранговая топологическая мера позволяет достаточно точно определить место произвольного значения параметра на ранговом параметрическом распределении устоявшегося техноценоза [1,11].

В качестве исследуемого параметра здесь рассмотрим электропотребление – количественную форму одноименного показателя, фиксируемую счетчиками электроэнергии за интервал времени и определяемую как разность между значениями электропотребления в конце и начале рассматриваемого интервала. В случае стандартизации интервала времени (час, сутки, месяц, квартал, год и т.д.) значение электропотребления конкретного приемника или потребителя электроэнергии в базе данных будет фиксироваться в кВт·ч за принятый промежуток времени [1,11].

Итак, аналитически ранговое параметрическое распределение по электропотреблению представляет собой числовую функцию, определенную на множестве ранговой топологической меры, полученную в результате аппроксимации отранжированного множества значений электропотребления объектов (приемников, потребителей) техноценоза:

$$[\{W_k\}_{k=1}^{n} \xrightarrow[f:W\to R]{} \{R_k\}_{k=1}^{n}] \xrightarrow[Approx]{} W = f(x), \qquad (3)$$

где $\{W_k\}_{k=1}^{n}$ – множество значений электропотребления;

$\{R_k\}_{k=1}^{n}$ – множество ранговой топологической меры;

$W(x)$ – функция рангового параметрического распределения техноценоза по электропотреблению (рис. 1);

x – ранговая топологическая мера.

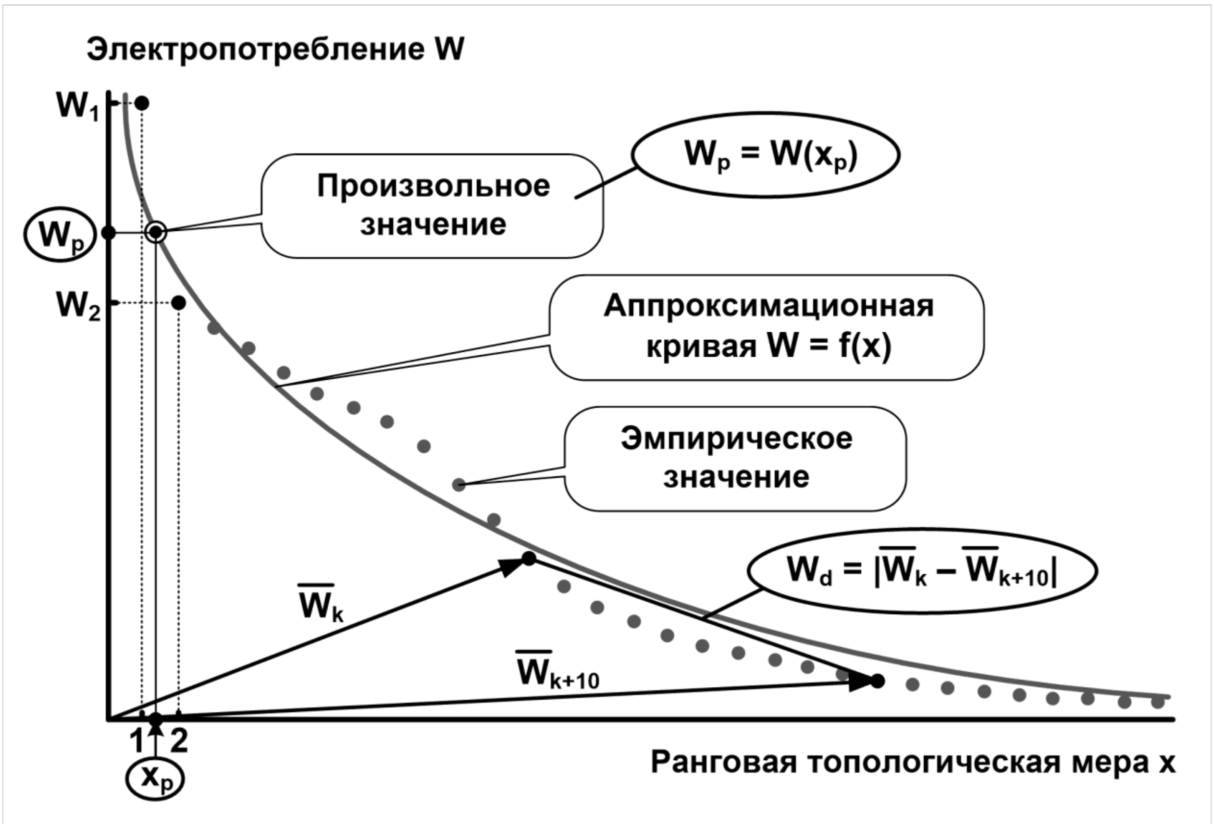


Рис. 1. К понятию рангового параметрического распределения техноценоза по электропотреблению [1,11]

Рассмотрим подробнее рисунок 1, на котором построен график аппроксимационной функции рангового параметрического распределения техноценоза по электропотреблению W(x). По оси ординат здесь откладываются значения параметра дифференциального электропотребления W (кВт·ч\Т), а по оси абсцисс – ранговая топологическая мера X. Кроме того, на этом же рисунке изображены точки, соответствующие отранжированным эмпирическим значениям электропотребления объектов техноценоза W_k (кВт·ч\Т). При этом точки расположены так, что их ранги соответствуют целочисленным значениям ранговой топологической меры:

$$\begin{cases} (W_1; R_1) \to (W = W_1; x = 1); \\ (W_2; R_2) \to (W = W_2; x = 2); \\ \dots \\ (W_k; R_k) \to (W = W_k; x = k); \\ \dots \\ (W_n; R_n) \to (W = W_n; x = n). \end{cases} \tag{4}$$

Таким образом, следует различать два ранговых параметрических распределения одного и того же техноценоза: первое – эмпирическое, построенное на основе обработки данных по электропотреблению, полученных со счетчиков электроэнергии, установленных на объектах; второе – теоретическое, построенное после аппроксимации эмпирических данных. Повторимся и еще подчеркнем, что в процессе аппроксимации мы фактически без изменения формы обобщаем конечную выборку эмпирических точек техноценоза до континуума генеральной совокупности. Следовательно, аппроксимационная форма – это и есть соответствующее вероятностное распределение, которое мы должны рассматривать как единственный корректный инструмент рангового анализа [1,11].

Какие задачи позволяет решать подобная аппроксимационная форма рангового параметрического распределения по электропотреблению? Прежде всего, она позволяет определять дробное (межранговое) значение ранговой топологической меры, соответствующее произвольному значению электропотребления. Это позволяет точно позиционировать (с точки зрения ранговой динамики) значение электропотребления, извне привносимое в устоявшийся техноценоз. На рисунке 1 наглядно проиллюстрировано, сколь значительную погрешность можно получить, если оперировать только эмпирическим ранговым параметрическим распределением. Заметим, что это имеет большое значение в процедурах параметрического нормирования и синтеза, а также в бифуркационных методах прогнозирования электропотребления [1,11]. Кроме того, аппроксимационная форма рангового параметрического распределения позволяет корректно вычислять совокупное значение электропотребления техноценоза в целом или отдельного параметрического кластера (например, если его зафиксировать в пределах от x_1 до x_2). Для этого берутся интегралы:

$$\int_0^{\infty} w(x)\,dx \quad \text{или, соответственно,} \quad \int_{x_1}^{x_2} w(x)\,dx. \tag{5}$$

Следует отметить, что в первом случае мы имеем дело с несобственным интегралом, который, в общем случае, может быть сходящимся или расходящимся. Однако в теории рангового анализа показано, что несобственные интегралы ранговых параметрических распределений всегда являются сходящимися, т.е. позволяют получать корректные конечные результаты. Более того, сам факт расходимости подобного интеграла является свидетельством, что исследуемое ранговое распределение, по какой-либо причине, не может быть отнесено к области негауссовых. Интегрирование ранговых параметрических распределений применяется в процедурах потенширования и ZP-анализа, а также при определении интегральных показателей качества и затрат по электропотреблению [1,11].

Теперь поговорим о перспективах развития рангового анализа техноценозов. Как представляется, в настоящее время здесь можно говорить о трех основных методологических разделах, первый из которых – так называемый функциональный ранговый анализ. Название данного раздела подчеркивает то, что центральное место в нем занимает исследование именно функций ранговых параметрических распределений. Очевидно, что все наши предыдущие исследования, в той или иной мере, относятся именно к этому разделу [1-9,11]. В последние годы в ранговом анализе зародились еще два направления, позволяющие оформить второй и третий разделы, а именно: комбинаторный ранговый анализ и векторный ранговый анализ. Автором комбинаторного рангового анализа является кандидат технических наук, доцент Д.В. Луценко. В его трудах для исследования динамики техноценозов впервые предлагается комбинаторная теория ранговой динамики [10]. В рамках данной теории структурные свойства, характеризующие упорядоченность техноценозов, предлагается исследовать на основе теории графов с использованием принципиально новых понятий ранговой конфигурации, рангового и сдвигового рангового отображения, а также ранговой подстановки и ранговой структуры.

Третий раздел – векторный ранговый анализ получил развитие в работах кандидата технических наук О.Р. Кивчуна. Основная идея здесь основана на понятии ранговой параметрической близости. Обратим внимание на рисунок 1. Как видим, на нем построены два параметрических радиус-вектора, однозначно задающие эмпирические точки, соответствующие электропотреблению двух объектов техноценоза, отстающих друг от друга по ранговому параметрическому распределению на 10 рангов:

$$\overline{W}_k\,,\ \overline{W}_{k+10}. \tag{6}$$

Прежде всего, отметим, что для нас видится весьма перспективной сама форма задания эмпирической (или произвольной) точки в ранговом параметрическом пространстве. Это сулит дополнительные возможности в исследовании динамики систем техноценологического типа, вплоть до создания нового раздела рангового анализа, а именно – теории векторного рангового анализа. Для примера на рисунке 1 показан отрезок, соединяющий концы двух радиус-векторов. Очевидно, его длина в ранговом параметрическом пространстве по электропотреблению равна:

$$W_d = \left|\bar{W}_k - \bar{W}_{k+10}\right| = \sqrt{(W_k - W_{k+10})^2 + (R_{k+10} - R_k)^2}. \tag{7}$$

Предлагается этот важный параметр назвать мерой ранговой параметрической близости в ранговом параметрическом пространстве. Он может характеризовать динамику электропотребления объектов и использоваться в процессе управления объектами техноценоза [1,11].

Теперь обсудим еще один не менее важный момент. По определению под электропотреблением понимается управляемый (фиксируемый в базе данных, оцениваемый, прогнозируемый, нормируемый и потенцируемый) процесс потребления электроэнергии приемниками или потребителями, осуществляемый автономно либо в составе техноценоза. Управление электропотреблением осуществляется с целью обеспечения приемников или потребителей электроэнергией в необходимом количестве и требуемого качества с максимальной экономией электроэнергии и минимизацией затрат на всестороннее обеспечение данного процесса. Таким образом, электропотребление как процесс должно описываться комплексным показателем, характеризующим как количественную, так и качественную стороны. Очевидно, что собственно электропотребление как показатель этому требованию не отвечает, так как отражает только количественную сторону.

Ранее нами в рамках процедуры дифлекс-анализа был предложен параметр, описывающий качество процесса электропотребления [1,11]. Дифлекс-анализ – тонкая процедура рангового анализа техноценоза, осуществляемая на этапе интервального оценивания с целью разработки оптимального плана углубленных обследований «аномальных» объектов на среднесрочную перспективу (до 5 – 7 лет). При этом предполагается, что основным параметром процедуры дифлекс-анализа является дифлекс-параметр, под которым понимается отклонение (абсолютное или относительное) эмпирического значения электропотребления объекта техноценоза от нижней границы области допустимых значений (рис. 2). Учитывая сугубо эмпирический характер данного параметра, а также ряд важных теоретических обобщений, касающихся ранговой топологии, которые мы сделаем ниже, предлагается его отныне называть ранговым дифлекс-параметром.

Как известно, дифлекс-анализ является тонким дополнением к процедуре интервального оценивания. По определению интервальное оценивание – процедура оптимального управления электропотреблением техноценоза, заключающаяся в определении точек эмпирического рангового параметрического распределения по электропотреблению, выходящих за пределы области допустимых значений, построенной относительно аппроксимационной кривой распределения (рис. 2). Точки, выходящие за пределы области допустимых значений, фиксируют объекты, аномально потребляющие электроэнергию. При этом если точка находится ниже области допустимых значений, то считается, что объект потребляет электроэнергию аномально мало, а если выше области, то аномально много. В обоих случаях объект нуждается в углубленном энергетическом обследовании с целью выявления причин его аномального состояния [1,11].

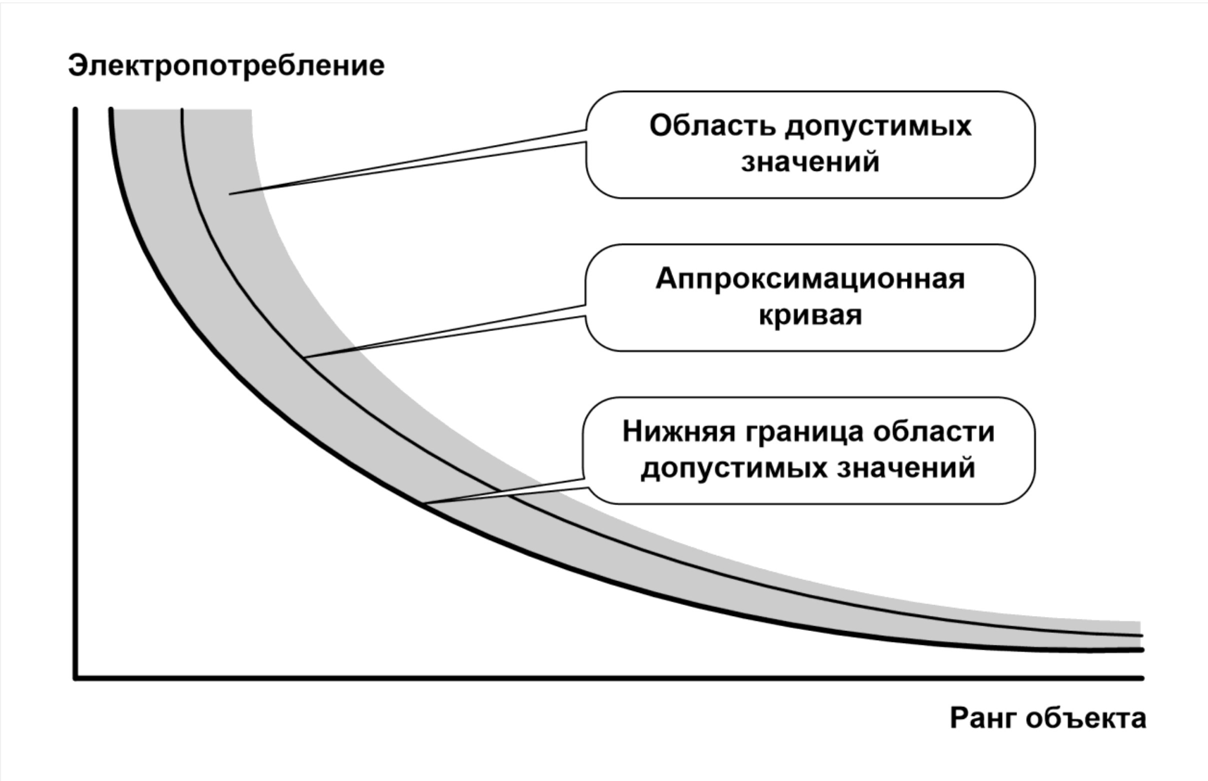


Рис. 2. Область допустимых значений электропотребления

Здесь в качестве источника данных используется база данных по электропотреблению за 10 – 15 лет предыстории. Интервальное оценивание проводится с целью определения границ области допустимых значений. Нижняя граница области допустимых значений – гиперболическая кривая, полученная в результате аппроксимации нижних границ 95 %-ых доверительных интервалов, рассчитанных для каждого из рангов рангового параметрического распределения. Построение области допустимых значений на основе значений электропотребления рангов позволяет учесть системное влияние техноценоза на объекты, объектов на техноценоз, а также множественное взаимное влияние объектов друг на друга. Анализ, выполненный для значительного числа разнородных объектов различных техноценозов, позволил подтвердить предположение о нормальном распределении значений электропотребления внутри рангов, что дает возможность на основе эмпирических данных за ряд временных интервалов построить для каждого ранга доверительный интервал [1,11].

Как известно, если Θ^* служит оценкой неизвестного параметра Θ, то доверительным называется интервал $[\Theta^* - \delta,\ \Theta^* + \delta]$, который покрывает неизвестный параметр с надежностью γ и точностью δ:

$$P\,[\Theta^* - \delta < \Theta < \Theta^* + \delta] = \gamma. \tag{8}$$

Если случайная величина W распределена нормально, то по данным выборки объемом n можно ввести случайную величину T, которая имеет распределение Стьюдента с k = n – 1 степенями свободы:

$$T = \frac{\bar{W} - m}{S/\sqrt{n}}, \tag{9}$$

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

Плотность распределения Стьюдента определяется выражением:

$$S(t,n) = \frac{\Gamma(n/2)}{\sqrt{\pi(n-1)}\cdot\Gamma((n-1)/2)}\left(1+\frac{t^2}{n-1}\right)^{-n/2}, \tag{10}$$

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

Как видно из (10), распределение Стьюдента определяется одним параметром – объемом выборки n и не зависит от неизвестных величин. Так как S(t,n) – четная функция от t, то вероятность неравенства

$\dfrac{\bar{W} - m}{S/\sqrt{n}} < t_\gamma$ определяется следующим условием: (11)

$$P\left(\left|\frac{\bar{W}-m}{S/\sqrt{n}}\right|<t_\gamma\right)=2\int_0^{t_\gamma}S(t,n)dt=\gamma. \qquad (12)$$

При замене строгого неравенства в выражении (11) двойным неравенством, а также с учетом уравнения (12) получаем вероятностную оценку неизвестного математического ожидания m с надежностью γ :

$$P(\bar{W}-t_\gamma S/\sqrt{n}<m<\bar{W}+t_\gamma S/\sqrt{n})=\gamma. \qquad (13)$$

При замене случайных величин $\bar{W}$ и S неслучайными величинами $\bar{w}$ и s, найденными по выборке, получается доверительный интервал, покрывающий неизвестный параметр m с надежностью γ (рис. 3).

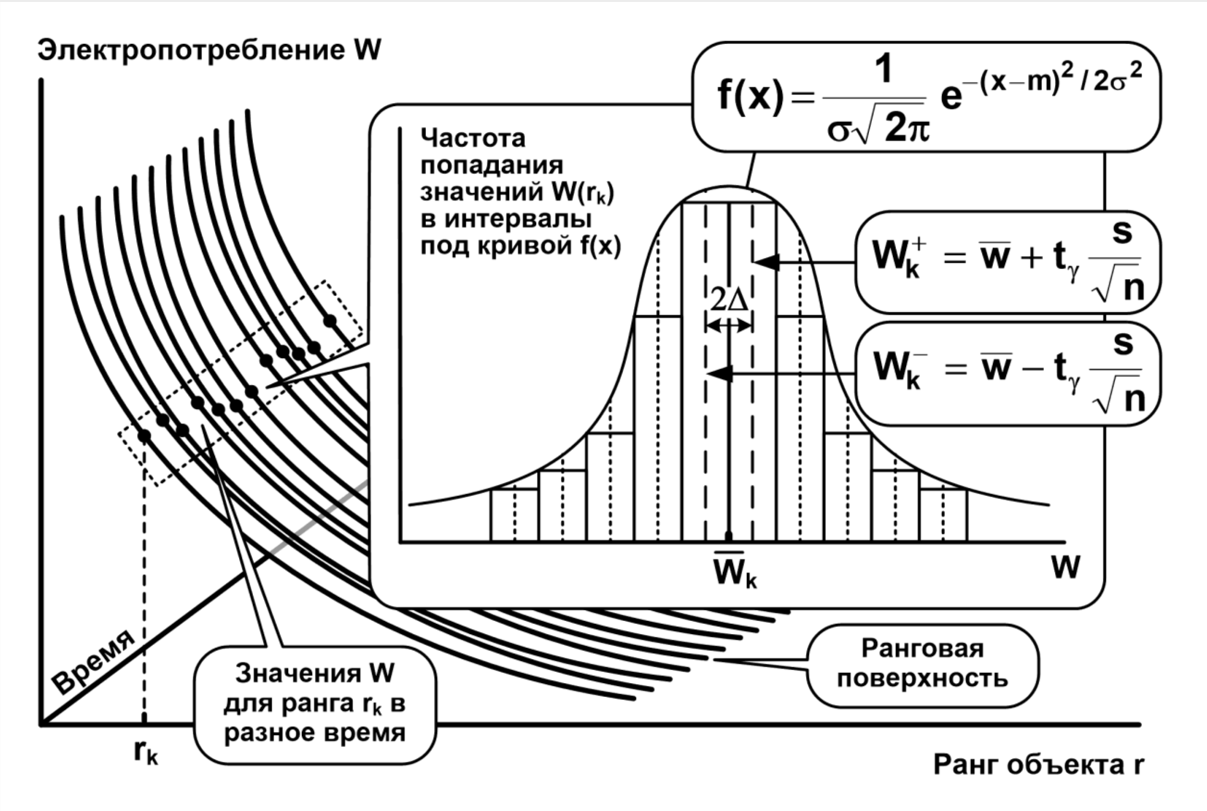


Рис. 3. Границы доверительных интервалов рангов техноценоза

Как показано на рисунке 3, нижняя и верхняя границы доверительных интервалов рангов могут быть вычислены следующим образом:

$$((\bar{w}-t_\gamma s/\sqrt{n}),\ (\bar{w}+t_\gamma s/\sqrt{n})), \qquad (14)$$

где s – выборочное среднее квадратичное отклонение;

$\overline{W}$ – выборочное среднее (находится по выборке);

t_γ – аргумент (находится таблично по заданным n и γ).

Данный подход для построения доверительных интервалов имеет следующие преимущества: возможность применения для выборок с малым объемом ($n < 30$), а также отсутствие неизвестных параметров распределения. В наших исследованиях неизвестным параметром для фиксированного ранга является истинное электропотребление W, а его оценкой выступает выборочное среднее значение электропотребления $\overline{w}$.

После расчета для каждого из рангов границ доверительных интервалов осуществляется аппроксимация нижней и верхней границ области допустимых значений электропотребления техноценоза (рис. 2). Как мы полагаем, область допустимых значений заключает в себе, своего рода, зону «физически нормального» разброса значений электропотребления для данного техноценоза на данном интервале времени (с учетом возможных труднопредсказуемых колебаний значительного количества объективных факторов, влияющих на процесс электропотребления). При этом, учитывая, что расчеты осуществляются на эмпирических данных самого техноценоза, можно сделать вывод, что подобный уровень электропотребления одновременно является и достаточным для объектов (с технологической точки зрения). Если исходить из цели минимизации расходования энергетических ресурсов, то логично предположить, что нижняя граница области допустимых значений показывает уровень наилучшего электропотребления. Отклонение же от нижней границы (как в большую, так и в меньшую стороны) можно считать показателем качества процесса электропотребления, который предлагается описывать дифлекс-показателем.

Итак, дифлекс-показатель – это мера, отражающая свойство объектов техноценоза (приемников или потребителей) осуществлять процесс электропотребления с большей или меньшей степенью энергоэффективности. В данном случае под энергоэффективностью понимается показатель, отражающий уровень минимизации количества электроэнергии для полного обеспечения питаемого технологического процесса.

Дифлекс-показатель k-го объекта техноценоза количественно может характеризоваться абсолютным ранговым дифлекс-параметром (рис. 4):

$$\Delta W(r_k) = \left| W(r_k) - W^{H}(r_k) \right|, \tag{15}$$

где $W(r_k)$ – эмпирическое значение электропотребления k-го объекта в рассматриваемый момент времени;

$W(r)$ – ранговое параметрическое распределение объектов техноценоза по электропотреблению;

r_k – ранг k-го объекта на распределении;

$W^H(r_k)$ – значение электропотребления, соответствующее k-му рангу на нижней границе области допустимых значений рангового распределения.

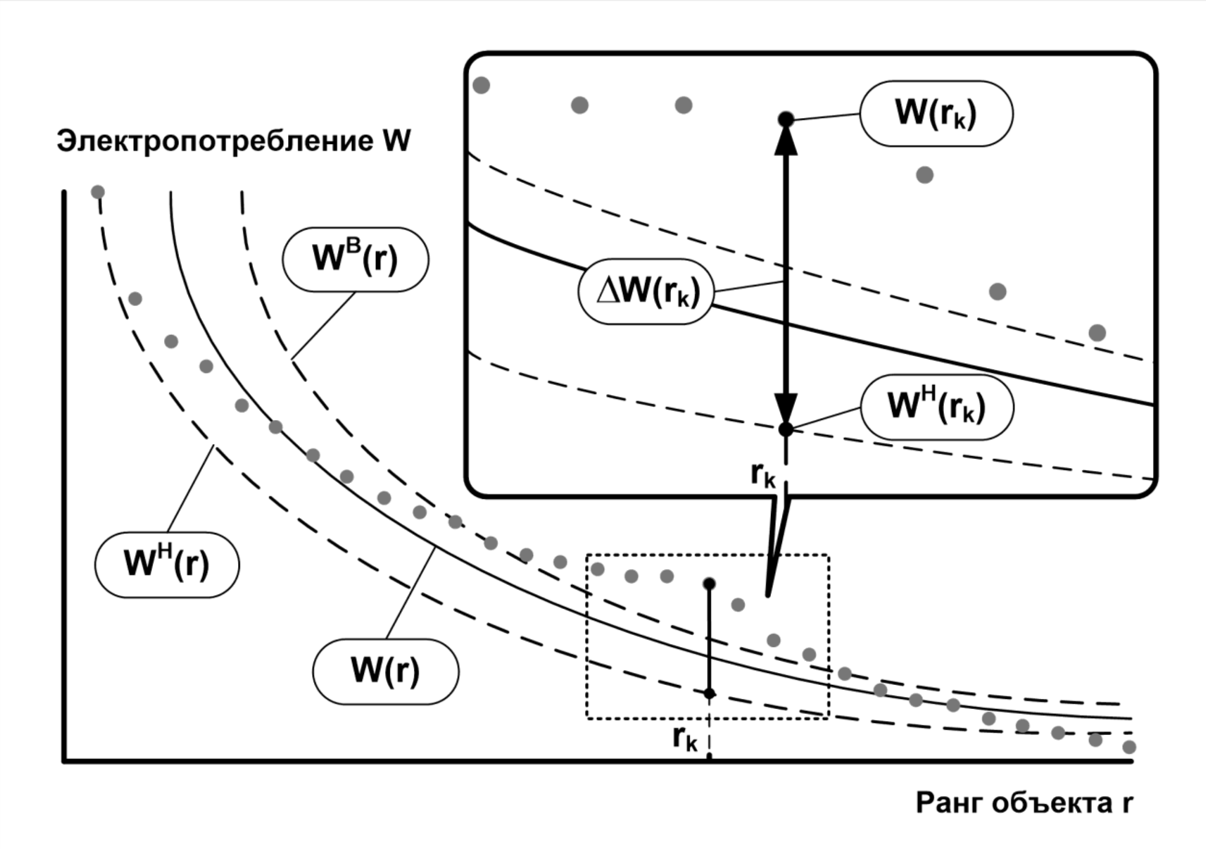


Рис. 4. К понятию рангового дифлекс-параметра

В ряде случаев (при рассмотрении техноценоза в динамике) можно вести речь также и об относительном ранговом дифлекс-параметре:

$$\Delta W^{o}(r_k) = \frac{\left| W(r_k) - W^{H}(r_k) \right|}{W(r_k)}. \tag{16}$$

В заключение здесь отметим, что изложенный выше метод получения области допустимых значений не является единственным. Для этого также может применяться и комбинаторный ранговый анализ [10].

С целью теоретического обобщения рассмотрим процедуру дифлекс анализа в области ранговой топологии – раздела рангового анализа техноценозов, в котором изучаются свойства ранговых параметрических пространств (множеств параметров с дополнительной структурой рангового типа). Как было уже сказано выше, аппроксимация рангового параметрического распределения по электропотреблению позволяет перейти от частной эмпирической выборки к вероятностному распределению генеральной совокупности. Это позволяет ввести понятие ранговой топологической меры и определить топологический дифлекс-параметр (для простоты далее мы будем его именовать просто дифлекс-параметром) (рис. 5).

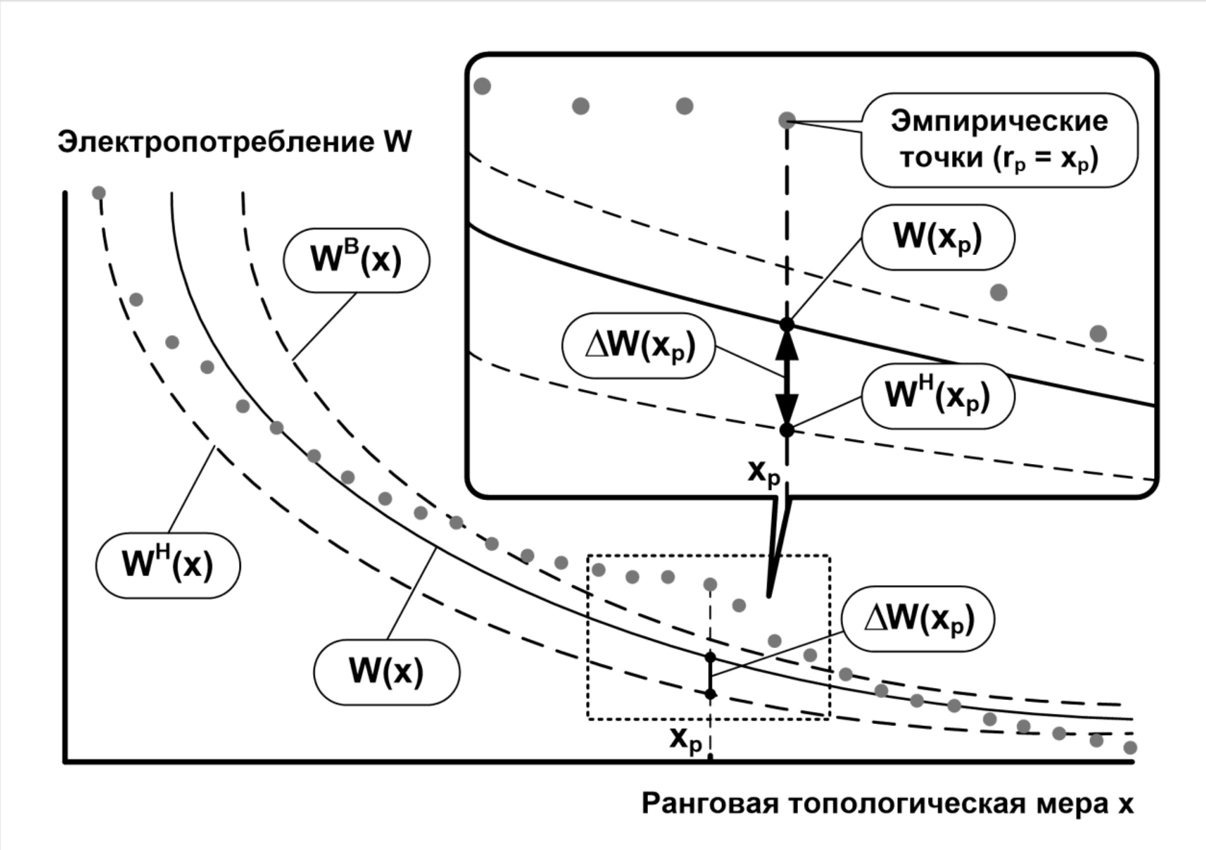


Рис. 5. Топологический дифлекс-параметр по электропотреблению

Подобное континуальное представление позволяет впервые установить однозначное функциональное соответствие между областью значений дифлекс-параметра и множеством значений ранговой топологической меры. При этом дифлекс-параметр для любого расчетного значения ранговой топологической меры может быть определен как разность (рис. 5):

$$\Delta W(x_p) = W(x_p) - W^H(x_p), \qquad (17)$$

где $W(x_p)$ – значение электропотребления, соответствующее расчетному значению на аппроксимационной кривой;

$W^H(x_p)$ – значение электропотребления на нижней границе области допустимых значений.

Остается задача полноценной характеристики процесса электропотребления одновременно как с количественной, так и с качественной точек зрения, которая здесь впервые решается введением принципиально новых понятий. Первое из них – ранговая гиперпараметрическая поверхность техноценоза, под которой понимается заданная в трехмерном ранговом параметрическом пространстве функция двух переменных, ставящая в однозначное соответствие множеству значений топологического дифлекс-параметра множество значений электропотребления и ранговой топологической меры. Второе – ранговое гиперпараметрическое распределение техноценоза, под которым понимается заданная в трехмерном ранговом параметрическом пространстве функция трех переменных, ставящая в соответствие множеству значений дифлекс-параметра множество значений электропотребления, ранговой топологической меры, а также дифлекс-угла. Обе функции могут быть получены в результате аппроксимации:

$$\begin{cases} \Delta W_p\}_{p=0}^{+\infty} \xrightarrow[f:\,\Delta W \to W, X]{} \{W_p, X_p\}_{p=0}^{+\infty}] \xrightarrow[\text{Approx}]{} \Delta W(W, x); \\ \Delta W_p\}_{p=0}^{+\infty} \xrightarrow[f:\,\Delta W \to W, X, A]{} \{W_p, X_p, A_p\}_{p=0}^{+\infty}] \xrightarrow[\text{Approx}]{} \Delta W(W, x, \alpha), \end{cases} \tag{18}$$

где $\{\Delta W_p\}_{p=0}^{+\infty}$ – множество значений дифлекс-параметра;

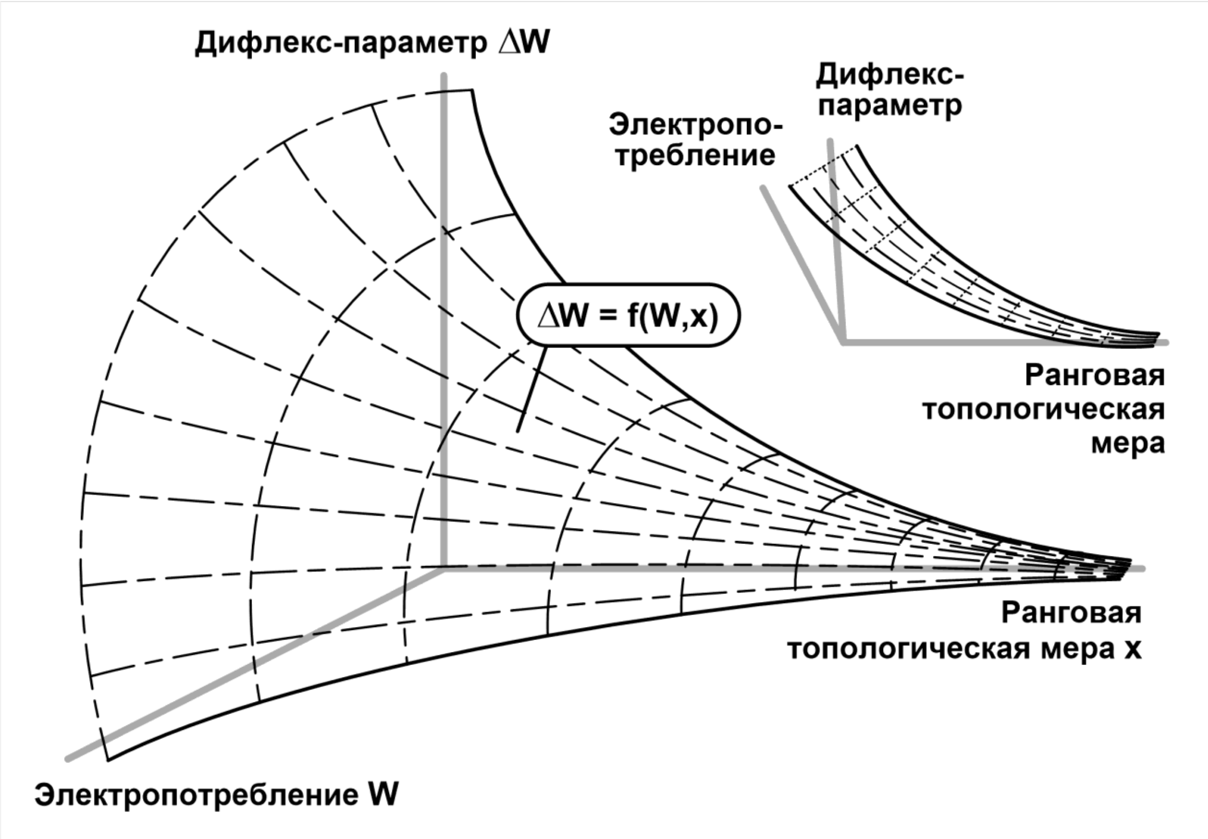
$\{W_p, X_p\}_{p=0}^{+\infty}$ – множество значений электропотребления и ранговой топологической меры;

$\{W_p, X_p, A_p\}_{p=0}^{+\infty}$ – множество значений электропотребления, ранговой топологической меры и дифлекс-угла в бесконечных пределах.

Ранговая гиперпараметрическая поверхность техноценоза описывается уравнением аффинной поверхности второго порядка, а ранговое гиперпараметрическое распределение – соответствующим уравнением рациональной кривой второго порядка (о дифлекс-угле будет сказано ниже):

$$\begin{cases} \Delta W = f(W, x); \\ \Delta W = f(W, x, \alpha). \end{cases} \tag{19}$$

На рисунке 6 показан характерный вид ранговых гиперпараметрических поверхности и распределения техноценоза, соответствующие проекции и пересечения. Это гиперболические аффинная поверхность и кривая второго порядка, с одной стороны асимптотически сходящиеся к координатной оси ранговой топологической меры, а с другой – асимптотически приближающиеся к координатной плоскости $\langle \Delta W \bigcirc W \rangle$.



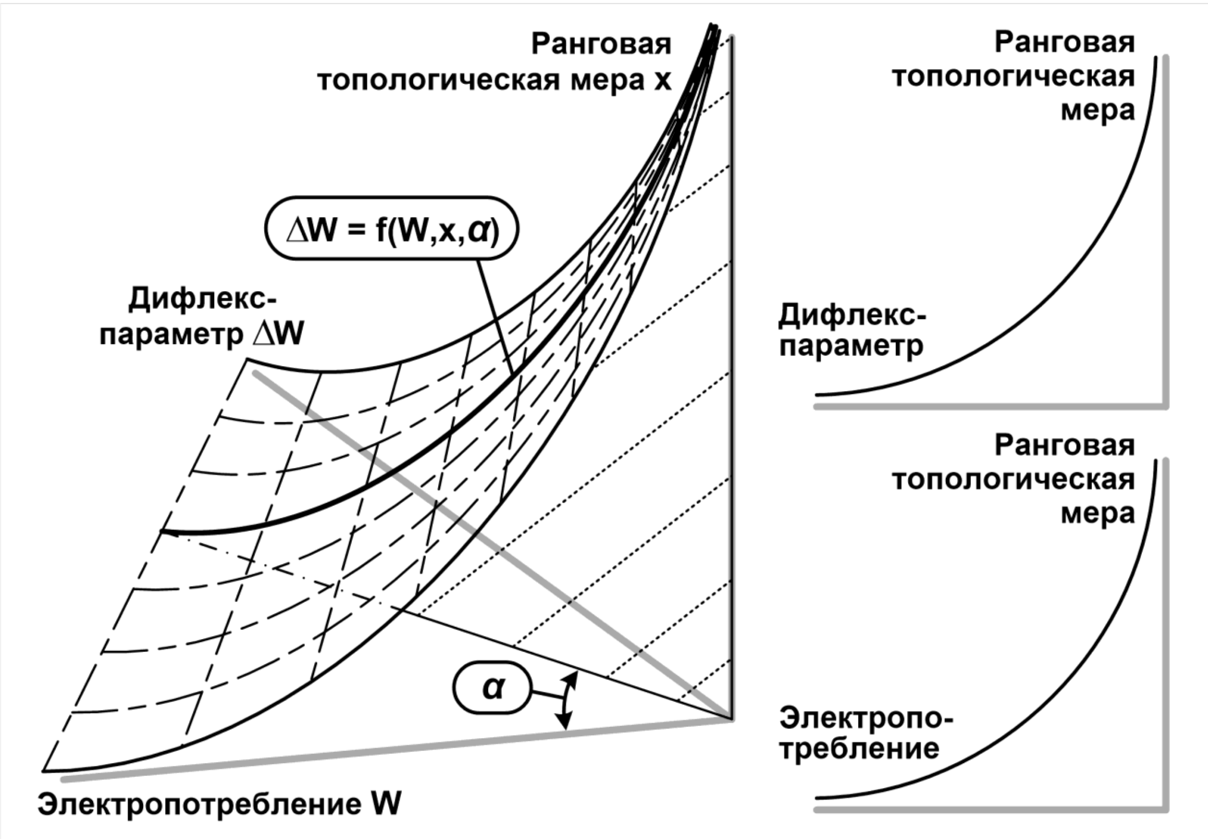


Рис. 6. Ранговые гиперпараметрические поверхность и распределение

Ранговая гиперпараметрическая поверхность, изображенная на рисунке 6 штриховыми линиями, показывает, своего рода, спектр теоретически возможных форм рангового гиперпараметрического распределения техноценоза, определяемых как его электропотреблением за обозримый промежуток времени, так и различными внешними воздействиями. Поверхность возможных форм гиперпараметрического распределения ограничена сектором положительных значений осей дифлекс-параметра, электропотребления и ранговой топологической меры. С координатными плоскостями $\langle W \bigcirc x \rangle$ и $\langle \Delta W \bigcirc x \rangle$ она имеет пересечения, которые являются гиперболическими кривыми первого порядка для рангового параметрического распределения: в первом случае – по электропотреблению, а во втором – по дифлекс-параметру. Кривая рангового гиперпараметрического распределения техноценоза является пересечением ранговой гиперпараметрической поверхности с секущей плоскостью, проходящей через координатную прямую $\langle x \rangle$. Континуум возможных положений секущей плоскости образует пучок в положительном секторе между координатными осями $\langle W \rangle$ и $\langle \Delta W \rangle$. Очевидно, что форма рангового гиперпараметрического распределения зависит от угла поворота секущей плоскости по отношению к координатной плоскости $\langle W \bigcirc x \rangle$, который обозначен на рисунке 6 как α. Именно его предлагается называть дифлекс-углом рангового гиперпараметрического распределения техноценоза.

Как представляется, положение секущей плоскости и, соответственно, угол α зависят от состояния техноценоза, а также внешних управляющих воздействий в рассматриваемый момент времени. Примечательно, что крайние («вырожденные») состояния техноценоза соответствуют следующим дифлекс-углам (в градусах): $\alpha = 0$ – состояние с нулевым дифлекс-параметром во всем диапазоне значений электропотребления; $\alpha = 90$ – состояние с нулевым электропотреблением во всем диапазоне значений дифлекс-параметров. Состояние с $\alpha = 0$ соответствует техноценозу, все приемники и потребители которого потребляют электроэнергию на нижней границе области допустимых значений, однако его интегральное электропотребление в этом случае будет максимальным. Это состояние можно считать начальным в общем процессе управления электропотреблением. Состояние с $\alpha = 90$ соответствует техноценозу, интегральное электропотребление которого равно нулю, что, по сути, означает полное прекращению процесса электропотребления. Очевидно, что реальный техноценоз всегда будет соответствовать какому-то промежуточному значению дифлекс-угла α, который в процессе оптимального управления электропотреблением должен последовательно увеличиваться до своего целевого значения α^*. При этом мы получаем состояние, своего рода, минимакса:

минимальный интегральный дифлекс-параметр при максимальном значении дифлекс-угла, т.е. минимуме интегрального электропотребления техноценоза. Другими словами, в данном случае техноценоз достигает состояния наивысшей энергоэффективности, что, в известном смысле, можно считать целью процесса управления электропотреблением.

Что же нам дают впервые описанные здесь инструменты? Как представляется, именно ранговые гиперпараметрические поверхность и распределение позволяют корректно решить поставленную выше задачу количественно-качественного описания процесса электропотребления техноценоза. Прежде всего, рассмотрим поверхностный интеграл вида:

$$\int_S \Delta W(W, x)\, ds, \tag{20}$$

где $\Delta W(W, x)$ – скалярная функция, определенная на ранговой гиперпараметрической поверхности техноценоза по электропотреблению;

ds – бесконечно малый элемент ранговой гиперпараметрической поверхности техноценоза.

В данном случае мы имеем дело с поверхностным интегралом первого рода на скалярном поле, вычисляемым по аффинной поверхности второго порядка $\Delta W(W, x)$ в трехмерном пространстве $\langle \Delta W \bigcirc W \bigcirc x \rangle$. Рассчитав интеграл в бесконечных пределах параметризации, мы получаем, так называемый, интегральный дифлекс-параметр техноценоза по электропотреблению ΔW_Σ. Очевидно, что данный параметр характеризует процесс электропотребления, прежде всего, с качественной точки зрения.

Дополним параметр (20) количественным условием, построим целевые функции и введем комплексный критерий оценки процесса электропотребления техноценоза, который выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} \Delta W_\Sigma = \int_S \Delta W(W, x)\, ds \xrightarrow[{[0;+\infty)\subset \mathbb{R}^3}]{} \min; \\ \alpha = \xrightarrow[{\left\{\alpha \to \alpha^*\right\} \equiv \left\{ W_\Sigma = \int_0^{+\infty} W(x)\, dx \to W_\Sigma^* \right\}}]{} \max; \\ \Delta W \ge 0;\ W \ge 0;\ x \ge 0;\ W_\Sigma \ge W_\Sigma^*; \\ \alpha = \operatorname{arctg}\left(\Delta W_p / W_p\right),\ 0^\circ \le \alpha \le 90^\circ. \end{cases} \tag{21}$$

Интегральный дифлекс-параметр на фиксированной стадии управления (при $\alpha = \mathrm{const}$) может быть определен как криволинейный интеграл:

$$\begin{cases} \Delta W_{\Sigma} = \int\limits_{\ell} \Delta W(W, x, \alpha)\, d\ell; \\ \alpha = \mathrm{const}, \end{cases} \tag{22}$$

где $\Delta W(W, x, \alpha)$ – скалярная функция, определенная на ранговом гиперпараметрическом распределении;

$d\ell$ – бесконечно малый элемент кривой рангового гиперпараметрического распределения.

Как представляется, аналитическая форма рангового гиперпараметрического распределения техноценоза может быть определена теоретически методами дифференциальной геометрии либо эмпирически путем аппроксимации имеющихся данных по электропотреблению.

В заключение заметим, что критерий (21) позволяет оценивать техноценоз в статическом состоянии на заданный момент времени. Существенные перспективы таит в себе переход к динамической оценке, что потребует введения динамических дифлекс-функционалов (t – время):

$$\begin{cases} \Delta W(t) = F^{w}(W(t), x(t)); \\ \alpha(t) = F^{\alpha}(W(t), x(t)). \end{cases} \tag{23}$$

Итак, в соответствии с критерием (21) наилучшим с количественной и качественной точек зрения можно считать процесс электропотребления техноценоза, минимизирующий интегральный дифлекс-параметр при максимизации дифлекс-угла. Реализация процедур прогнозирования применительно к дифлекс-функционалам (23) позволит оценить параметрическую динамику техноценоза с учетом критерия (21) на заданном горизонте.

Таким образом, оперирование в ранговом анализе топологическими ранговыми параметрическими распределениями дает ряд существенных преимуществ. В первую очередь это создает возможность комплексной оценки процесса электропотребления одновременно как с количественной, так и с качественной точек зрения. Как представляется, данная задача впервые решается введением принципиально новых понятий ранговых гиперпараметрических поверхности и распределения техноценоза. При этом наилучшим с количественной и качественной точек зрения можно считать процесс электропотребления техноценоза, минимизирующий интегральный дифлекс-параметр при максимизации дифлекс-угла.

Литература

1. Техника, техносфера, энергосбережение [Сайт] / В.И. Гнатюк. – Электронные текстовые данные. – М.: [б.и.], [2000]. – Режим доступа: http://www.gnatukvi.ru, свободный, [рег. от 23.11.2005 № 5409].
2. Гнатюк В.И., Шейнин А.А. Нормирование электропотребления регионального электротехнического комплекса: Экономические проблемы энергетического комплекса. – М.: ИНП РАН, 2012. – 102 с.
3. Гнатюк В.И. Закон оптимального построения техноценозов [Статья] / В.И. Гнатюк. – Электронные текстовые данные. – Калининград: [Изд-во Калининградского инновационного центра «Техноценоз»], [2014]. – Режим доступа: http://gnatukvi.ru/index.files/zakon.pdf, свободный.
4. Гнатюк В.И., Луценко Д.В. Потенциал энергосбережения регионального электротехнического комплекса: Экономические проблемы энергетического комплекса. – М.: Изд-во ИНП РАН, 2013. – 107 с.
5. Гнатюк В.И. Потенциал энергосбережения техноценоза [Трактат] / В.И. Гнатюк. – Электронные текстовые данные. – Калининград: [Изд-во Калининградского инновационного центра «Техноценоз»], [2013]. – Режим доступа: http://gnatukvi.ru/index.files/potential.pdf, свободный.
6. Гнатюк В.И. Философские основания техноценологического подхода [Монография] / В.И. Гнатюк. – Электронные текстовые данные. – Калининград: [Изд-во Калининградского инновационного центра «Техноценоз»], [2014]. – Режим доступа: http://gnatukvi.ru/mono_pdf/text.pdf.
7. Гнатюк В.И. и др. Потенциал энергосбережения регионального электротехнического комплекса. – Калининград: КГТУ, 2015. – 106 с.
8. Гнатюк В.И. Управление электропотреблением на основе трансформированных ранговых распределений [Презентация] / В.И. Гнатюк. – Электронные данные. – Калининград: [б.и.], [1994 – 2016]. – Режим доступа: http://gnatukvi.ru/pres_small/pres.pps, свободный.
9. Gnatyuk, V. Potential of energy saving as a tool for increasing the stability / Viktor I. Gnatyuk, Gennady V. Kretinin, Oleg R. Kivchun, Dmitry V. Lutsenko // International journal of energy economics and policy. – ISSN 2146-4553. – Mersin: Cag University. – 2018. – No 8 (1). – P. 137 – 143.
10. Луценко Д.В. Комбинаторная теория ранговой динамики [Трактат] / Д.В. Луценко. – Первое издание. – Электронные текстовые данные. – Калининград: [Изд-во Калининградского инновационного центра «Техноценоз»], [2018]. – Режим доступа: http://gnatukvi.ru/ktrd.pdf, свободный.
11. Гнатюк В.И. Закон оптимального построения техноценозов [Монография] / В.И. Гнатюк. – 3-е изд., перераб. и доп. – Электронные текстовые данные. – Калининград: [Изд-во КИЦ «Техноценоз»], [2019]. – Режим доступа: http://gnatukvi.ru/ind.html, свободный.