Оглавление

ЕЩЕ РАЗ К РАНГОВОМУ АНАЛИЗУ ТЕХНОЦЕНОЗОВ

Начнем с уже достаточно устоявшегося определения. Ранговый анализ — метод исследования больших технических систем (инфраструктурных объектов, техноценозов), имеющий целью их статистический анализ, а также оптимизацию и полагающий в качестве основного критерия форму видовых и ранговых распределений [1—7]. Ранговый анализ, как основной инструмент техноценологического метода исследования систем определенного класса, базируется на следующих фундаментальных основаниях: технократическом подходе к окружающей реальности, восходящем к третьей научной картине мира Б.И. Кудрина; негауссовой математической статистике устойчивых безгранично делимых распределений; началах термодинамики; понятии техноценоза.

Как представляется, ранговый анализ, позволяя решать задачи оптимального построения техноценозов, занимает своего рода промежуточное положение между имитационным моделированием, с помощью которого осуществляется эффективное проектирование отдельных видов технических изделий, и методологией исследования операций, применяемой в настоящее время для решения проблем геополитического и макроэкономического планирования (рис.).

Представляется важным отметить ряд моментов. Во-первых, отсутствие достаточно глубоко разработанной специальной математической методологии делает аппарат исследования операций весьма ненадежным при решении задач соответствующего макроуровня и приводит, с одной стороны, к многочисленным безрезультатным попыткам применения имитационного моделирования в сфере геополитики и макроэкономики, а с другой, — порождает недоверие к данной методологии со стороны большинства практиков, которые до сих пор предпочитают полагаться в этих вопросах исключительно на свою интуицию.

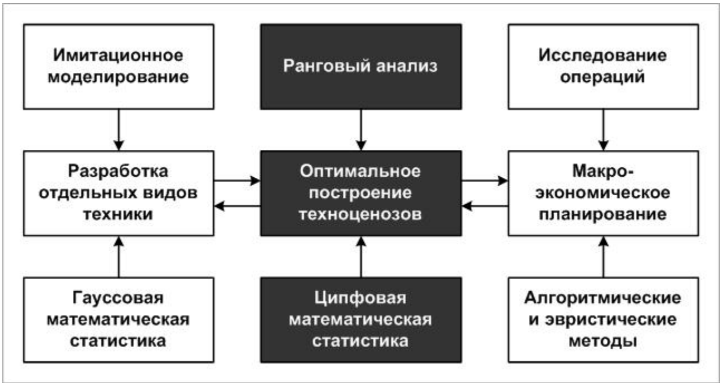

Рис. Место рангового анализа в общей методологии решения технических задач

Во-вторых, все попытки выдвигать требования, основанные на макропрогнозах, непосредственно разработчикам отдельных видов техники, равно как и политика последних, заключающаяся в полном игнорировании геополитических и макроэкономических процессов, с одинаковым успехом приводят к провалу. Думается, именно техноценологическая методология может разрешить проблему органической связи между крайними уровнями современных технических задач (рис.).

На первом уровне решения инженерных задач осуществляется разработка отдельных видов техники (технических изделий). Как уже было сказано, в качестве основного метода исследования здесь используется имитационное моделирование, базирующееся на классических постулатах гауссовой математической статистики [6,8]. Основным критерием, которым руководствуется проектировщик, в конечном итоге, является достижение максимального положительного эффекта при минимальных затратах. Формально данный критерий не вызывает сомнений, т.к. полностью соответствует философскому толкованию полезности технического изделия, восходящему к аристотелевскому «минимаксу». Проблема заключается лишь в том, что здесь закладывается в понятие «положительный эффект» и что — в «затраты».

Подавляющее большинство разработчиков техники трактует эти понятия в узком смысле как некие интегральные параметры, рассчитываемые без глубокого учета того, что произойдет после попытки внедрения спроектированного технического изделия в инфраструктуру. В результате может оказаться, что новое техническое изделие вполне хорошо, будучи рассмотрено и испытано как совершенно независимый образец техники. Однако последующие попытки его внедрения в инфраструктуру могут закончиться полным провалом из-за невозможности адекватного обеспечения жизненного цикла системами управления, восстановления, снабжения, подготовки кадров и т.д.

На высшем уровне геополитического и макроэкономического планирования и прогнозирования (рис.) решения принимаются на основе эвристических и алгоритмических процедур, базирующихся в основном на методологи исследования операций и квалиметрии. Очевидно, что этот уровень является системным по отношению к первому, на котором проектируются отдельные виды технических изделий. Однако «расстояние» между ними настолько велико, что трудно говорить о какой-либо корректной методологии, позволяющей, не на словах, а на деле, учитывать геополитические интересы при проектировании или модернизации отдельного вида техники. Или, наоборот, в процессе принятия геополитических решений в какой-либо отрасли экономики, учитывать параметры техники, представляющей данную отрасль на рынке. Ясно, что подобной методологии собственно на первом и третьем уровнях нет, если конечно мы говорим о научной методологии в полном смысле этого слова.

Для решения сформулированных выше задач в области исследования технических систем имеется так называемый средний уровень (рис.). Здесь применяется специфическая методология, основанная на философском техноценологическом подходе, алгоритмических процедурах рангового анализа и негауссовой (ципфовой) математической статистике гиперболических безгранично делимых распределений. Важнейшей задачей, которая решается на данном уровне, является оптимальное построение техноценозов. В основе же методологии, применяемой при решении данной задачи, лежит ранговый анализ. Рассмотрим его ключевые понятия, математические основы и содержание.

Первым ключевым моментом в методологии рангового анализа является понятие распределения. В самом общем случае распределение — это расположение элементов подмножества внутри множества [1,8]. В математике рассматриваются статистические и вероятностные распределения. Как правило, исследователь в первую очередь начинает работу с построения статистического распределения, которое возникает при эмпирическом описании выборки конечного объема из генеральной совокупности. Следовательно, оно дискретно на множестве значений случайной величины. Как идеализация статистического распределения в ситуации, когда объем выборки из генеральной совокупности стремится к бесконечности, возникает вероятностное распределение, которое, в общем случае, является непрерывным на множестве значений случайной величины [8].

Вторым ключевым моментом является понятие случайной величины, которое, в свою очередь, базируется на представлении о случайности. В современной литературе различают семь возможных причин случайности [9]: 1) непонятая закономерность; 2) скрещение несогласованных процессов; 3) уникальность; 4) неустойчивость движения; 5) относительность знания; 6) имманентная случайность; 7) произвольный выбор. Нам представляется, что при исследовании объектов техноценологического типа мы в основном имеем дело с причинами пятого и седьмого типов.

Во-первых, насыщение техноценозов изделиями-особями происходит в условиях одновременного воздействия огромного количества слабосогласованных внешних и внутренних факторов, что делает случайной его номенклатуру или видовую структуру. Также доказано, что видообразование в техноценозе фрактально, а его границы размыты, конвенционны. Кроме того, техноценоз постоянно изменяется во времени, причем, это изменение векторизовано и необратимо (однонаправленно). Данные феномены ранее широко обсуждались в литературе. Следовательно, можно говорить, что в данный фиксированный момент времени номенклатура техноценоза является случайной. И если описать номенклатуру частотным распределением, то форма последнего будет случайной (его параметры будут случайными величинами).

Здесь мы имеем дело в полном смысле этого слова с проявлением трансцендентности техноценозов [1,3,4], делающей наши знания относительными, что, в свою очередь, является фундаментальной причиной случайности (пятого типа) [9].

Во-вторых, совокупность параметров, описывающих особи техноценоза, составляет двумерное пространство. Оба измерения данного пространства бесконечны, однако, одно из них счетно (перечисляющее особи техноценоза), а второе — континуально (описывающее параметры). Это является следствием другого известного свойства техноценозов, а именно того, что число особей в них бесконечно (математически счетно) [1,3,4]. Кроме того, общее параметрическое пространство делится на два равномощных подпространства: видообразующих и функциональных параметров (об этом подробнее можно посмотреть в [3,4]). В любом случае, если осуществлять произвольный выбор особей техноценоза, то параметры выбранных технических изделий составят статистическую выборку случайных величин. Если учесть, что техноценоз трансцендентен, то выбор особей, при этом, может осуществляться как угодно. Очевидно, что любой выбор из трансцендентной бесконечности будет произвольным и, по сути, случайным (причина седьмого типа [9]). Если полученную выборку обрабатывать методами математической статистики, то можно получить параметрическое распределение.

Таким образом, в широком смысле, случайным 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 [4]).

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 (особей) отдельного техноценоза как выборку из параметрического пространства, то значение фиксированного параметра конкретного технического изделия может рассматриваться как случайная величина, а саму выборку можно описать как статистическое распределение.

Следует еще раз подчеркнуть принципиальную разницу между видовыми и ранговыми распределениями техноценозов. Видовые распределения случайны в том смысле, что случайны макроскопические параметры их формы.

Ранговые же распределения — это распределения случайных величин (параметров, характеризующих особи). Именно в этом смысле мы и применяем к техноценозам понятие статистического распределения. Последующее особое теоретическое обобщение на континууме техноценоза (его особенность будет показана ниже) позволяет получать распределение, имеющее смысл вероятностного.

Третьим ключевым моментом в методологии рангового анализа являются понятия негауссовости и ципфовости описывающих техноценозы гиперболических распределений. Как всегда, начнем с определений.

Вероятностное распределение мы называем гауссовым, если для него выполняется центральная предельная теорема (при широких предположениях относительно законов распределения независимых случайных величин с ростом числа слагаемых закон распределения суммы этих величин неограниченно приближается к нормальному). Статистическое распределение называется гауссовым, если зависимость его среднего и дисперсии от объема выборки несущественна, т.е. в условиях данной конкретной исследовательской задачи выполняется закон больших чисел (при достаточно большом числе независимых испытаний среднее арифметическое наблюденных значений случайной величины сходится по вероятности к ее математическому ожиданию) [8]. Очевидно, что, в общем случае, любое распределение, для которого не выполняется хотя бы одно из приведенных выше двух условий, является негауссовым.

Ципфовым мы называем распределение, имеющее при больших значениях переменной вид распределения Ципфа [8]:

$$f(x) = \frac{C}{x^{1+\alpha}}, \text{ при } x \geq x_0 > 0 \text{ и } 0 < \alpha < \infty, \quad (1)$$

где $f(x)$ — частота;

C и α — параметры распределения.

Распределение Ципфа ципфово, ципфовое же распределение в общем случае не является распределением Ципфа. Вероятностное ципфовое распределение гауссово при значениях показателя распределения $\alpha \geq 2$ и негауссово при $\alpha < 2$. Статистическое ципфовое распределение с $\alpha > 2$ может быть негауссовым, если зависимость его среднего и дисперсии от объема выборки существенна в рамках данной конкретной задачи [8].

Видовые и ранговые распределения техноценозов относятся к классу так называемых безгранично делимых распределений [1,4,8]. В общем случае распределение вероятностей случайной величины x в вероятностном пространстве R^m называется безгранично делимым, если для всякого k можно указать такое распределение x_k, что значение x представимо в виде k-кратной свертки распределения x_k самого с собой. Безгранично делимые распределения могут быть как устойчивыми, так и неустойчивыми. Говорить, в приложении к техноценозам, о неустойчивых распределениях смысла нет, т.к. последние не предполагают вообще какой-либо фиксированной аппроксимационной формы [8].

К настоящему времени на обширном эмпирическом материале многократно показана одновременно устойчивость и негауссовость ранговых распределений техноценозов [1—7,10]. Следовательно, для их статистического описания особое значение имеет распределение Ципфа с показателем $\alpha < 2$, которое удовлетворяет предельной теореме Гнеденко — Деблина: для сходимости распределений нормированных сумм одинаково распределенных независимых случайных величин к устойчивым распределениям, отличным от нормального, необходимо и достаточно, чтобы при $x \to \infty$ имело место [8]:

$$f(-x) \sim C_1 \frac{h_1(x)}{|x|^\alpha} \text{ и } 1 - f(x) \sim C_2 \frac{h_2(x)}{x^\alpha}, \qquad (2)$$

где $C_1 \geq 0$, $C_2 \geq 0$, $C_1 + C_2 > 0$ и $0 < \alpha < 2$;

$h_i(x)$ — функции, медленно меняющиеся в смысле Карамата, т.е. такие, что для всех $t > 0$ имеет место равенство:

$$\lim_{x \to \infty} \frac{h_i(tx)}{h_i(x)} = 1.$$

Распределение Ципфа, как и любое другое, имеет частотную и ранговую формы [8]. Как мы увидим позже, для распределений техноценоза актуальны обе формы. В частотной форме, как правило, представляются видовые распределения, в ранговой — ранговые видовые и параметрические (по видообразующим или функциональным параметрам). Частотная дифференциальная форма вероятностного распределения Ципфа определяется приведенным выше выражением (1). Частотная интегральная его форма для выборки объемом N:

$$F(x) = \frac{C}{\alpha N}\left(\frac{1}{x_0^{\alpha}} - \frac{1}{x^{\alpha}}\right) \cong 1 - \frac{x_0^{\alpha}}{x^{\alpha}}. \qquad (3)$$

Ранговая дифференциальная форма распределения с параметрами A, B, β и рангом r:

$$\varphi(r) = \frac{A}{(r+B)^{\beta}}. \qquad (4)$$

где B — параметр, учитывающий эффект рангового искажения распределения [8].

Ранговая интегральная форма:

$$\Phi(r) = \begin{cases} A \ln \dfrac{r+B}{1+B}, \beta = 1; \\ \dfrac{A}{\beta - 1}\left(\dfrac{1}{(1+B)^{\beta-1}} - \dfrac{1}{(r+B)^{\beta-1}}\right), \beta \neq 1. \end{cases} \qquad (5)$$

Четыре параметра распределения Ципфа можно поставить в соответствие параметру α следующим образом:

$$\begin{cases} A = \left(\dfrac{N-1}{1/x_0^{\alpha} - 1/J^{\alpha}} \right)^{1/\alpha}; \quad C = \dfrac{\alpha(N-1)}{1/x_0^{\alpha} - 1/J^{\alpha}}; \\ B = \dfrac{N-1}{(J/x_0)^{\alpha} - 1} - 1; \qquad \beta = \dfrac{1}{\alpha}, \end{cases} \tag{6}$$

где x_0 — минимальное значение случайной величины на эмпирической выборке;

J — соответствующее максимальное значение случайной величины на выборке.

Система (6) позволяет учесть эффект рангового искажения, который подробно описан в [8]. При этом один из пяти параметров распределения Ципфа A, B, C, α или β (в случае применения (6) — α) должен быть определен априорно по эмпирическим данным методом максимума правдоподобия либо графоаналитически.

Теперь мы готовы дать точные определения, распространяющие ципфовую методологию на прикладную область рангового анализа техноценозов. Под видовым понимается распределение Ципфа в частотной дифференциальной форме, устанавливающее непрерывную или дискретную упорядоченную взаимосвязь между множеством значений возможной численности особей техноценоза и количеством популяций, реально представленных в техноценозе данной фиксированной численностью.

По сути, видовое распределение устанавливает основополагающую взаимосвязь между массовостью изделий различных видов в техноценозе и их разнообразием. Математически оно относится к гиперболическим устойчивым безгранично делимым распределениям [4].

Под ранговым распределением вообще понимается убывающая последовательность значений параметров, упорядоченная таким образом, что каждое последующее число меньше предыдущего, и поставленная в соответствие рангу (номеру по порядку в данной упорядоченной последовательности). Таким образом, неотъемлемой чертой рангового распределения является целенаправленное ранжирование входящих в него параметров. В этом его коренное отличие от видового распределения, где подобная операция не предусмотрена.

Ранговое распределение техноценоза — 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); особи по значению видообразующего параметра (ранговые параметрические); особи по значению параметра, характеризующего процесс их функционирования (ранговые функциональные) [4].

Изначально каждое распределение техноценоза в аналитической или графической форме представляет собой совокупность точек, получаемых по эмпирическим данным [4,6,7]:

$$(x_1, y_1);(x_2, y_2);...;(x_i, y_i);...;(x_n, y_n), \qquad (7)$$

где i — формальный индекс;

N — общее количество точек.

Точки — результат анализа табулированного рангового распределения техноценоза (о нем подробно сказано в [4,6,7]). Для каждого из распределений имеется свое число точек (что есть абсцисса в распределении, а что ордината, мы уже знаем). С точки зрения последующей оптимизации техноценоза, большое значение имеет аппроксимация эмпирических ранговых и видовых распределений, которая в данном случае обладает существенной онтологической спецификой. 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 техноценоза. Таким образом, задача корректной аппроксимации превращается в случае негауссовых распределений в задачу первостепенной важности [4].

Формально задача аппроксимации заключается в подборе аналитической зависимости, наилучшим образом описывающей совокупность точек (7). Мы задаем в качестве стандартной формы двухпараметрическое гиперболическое аналитическое выражение вида [1—7,10]:

$$y(x) = \frac{A}{x^{\alpha}}, \qquad (8)$$

где A и α — параметры распределения.

x — непрерывная переменная (мощность популяции в случае видового распределения и непрерывный ранг — в случае рангового).

Выбор формы (8) объясняется традиционно сложившимся подходом среди исследователей, занимающихся ранговым анализом. Безусловно, данная форма далеко не самая совершенная и не учитывает эффект рангового искажения [8], однако она обладает неоспоримым достоинством — сводит задачу аппроксимации к определению всего двух параметров: A и α. Решается эта задача различными методами. В данном случае рассмотрим аппроксимацию методом наименьших квадратов [6,7]. Суть метода заключается в отыскании параметров аналитической зависимости (8) A и α, которые минимизируют сумму квадратов отклонений реально полученных в ходе рангового анализа техноценоза эмпирических значений $\mathrm{y_i}$ от значений, рассчитанных по аппроксимационной зависимости (8), т.е.:

$$S = \sum_{i=1}^{n} (y_i - y(x_i))^2 \to \min. \qquad (9)$$

Известно, что решение задачи (9) сводится к решению системы дифференциальных уравнений (для (8) — двух с двумя неизвестными), которое подробно разобрано в [4—7]. Следует отметить, что здесь рассматривается лишь метод наименьших квадратов. Имеется целый ряд других методов аппроксимации данных (наименьших модулей, максимума правдоподобия и др.) Возможно различное комбинирование методов [4,6,7]. В любом случае после аппроксимации мы получаем двухпараметрическую зависимость вида (8) для каждого из ранговых и видовых распределений. Обычно на графиках ранговых распределений, наряду с эмпирическими точками, показывают аппроксимационные кривые.

Это имеет существенное значение с точки зрения последующей оптимизации техноценоза, т.к. применяемые в оптимизационных процедурах критерии во многом строятся на требованиях, предъявляемых к форме соответствующих гиперболических распределений [1,3,4]. Технологически, в конечном итоге, это выливается в систему ограничений к параметрам аппроксимационных кривых.

Еще раз подчеркнем, что для негауссовых по своей природе видовых и ранговых распределений нет никакого смысла вычислять эмпирические среднее и стандарт, а также выводить теоретические моменты (математическое ожидание и дисперсию). Ранговый анализ предполагает оперирование распределениями, будучи взятыми в целом. И здесь в первую очередь нас будет интересовать, в чем заключается физический смысл интегрирования данных распределений. Формальный анализ видового распределения техноценоза показывает, что интеграл

$$\int \Omega(x)dx, \qquad (10)$$

где $\Omega(x)$ — видовое распределение техноценоза с мощностью популяции x, будучи взят в пределах $[0,\infty)$, дает общее количество видов в исследуемом техноценозе. Тот же интеграл в пределах $[x_1, x_2]$ дает количество видов, приходящихся на соответствующую касту [4].

Аналогичный анализ рангового видового распределения позволяет заключить, что интеграл

$$\int \Lambda(r_B)dr_B, \tag{11}$$

где $\Lambda(r_B)$ — ранговое видовое распределение техноценоза с видовым рангом r_B, будучи взят в пределах $[0,\infty)$, дает общее количество особей в техноценозе. Тот же интеграл в конечных пределах $[r_{B_1}, r_{B_2}]$ дает количество особей, приходящихся на вид, ограниченный соответствующими видовыми рангами, т.е. численность данной популяции [4].

Наконец анализ рангового параметрического распределения свидетельствует, что интеграл

$$\int W(r)dr, \tag{12}$$

где $W(r)$ — ранговое параметрическое распределение техноценоза с параметрическим рангом r, будучи взят в пределах $[0,\infty)$, дает совокупный параметрический ресурс техноценоза по параметру W. В случае если этот параметр видообразующий, интеграл в пределах $[r_1, r_2]$ дает совокупный параметрический ресурс, приходящийся на вид, ограниченный соответствующими параметрическими рангами. Если же мы имеем дело с функциональным параметром, то интегрирование в пределах $[r_1, r_2]$ дает совокупный параметрический ресурс, приходящийся на кластер (подсистему техноценоза), в котором особи ограничены соответствующими рангами [4].

Несколько важных замечаний относительно корректности процедуры интегрирования видовых и ранговых распределений техноценоза. Для нас очевидно, что практически реализованные эмпирические распределения всегда дискретны, и для них в реальных вычислительных процессах операция интегрирования заменяется суммированием в пределах исследуемых выборок. Однако вспомним вывод, сделанный нами относительно процедуры аппроксимации распределений. 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 техноценоза [4].

В чем заключается обобщение для видового и рангового видового распределений? Это есть не что иное, как учет фрактальности видообразования в техноценозе [1,4]. Аппроксимационная форма видового распределения показывает своего рода средневзвешенное (в вероятностном смысле) распределение особей техноценоза по видам. Очевидно, что в математическом смысле ранговое видовое распределение является лишь обратным относительно видового распределения. Для параметрического распределения обобщение в результате процедуры аппроксимации позволяет учесть континуальность гауссового разброса возможных значений параметров особей техноценоза, а также конвенционность процедуры ранжирования особей, относящихся к одной популяции. Таким образом, процедура интегрирования аппроксимационных форм видовых и ранговых распределений является вполне корректной. В определенном смысле она даже устраняет упомянутые выше погрешности эмпирических распределений техноценоза, связанные с трансцендентностью последних [4].

Теперь о пределах интегрирования в выражениях (10) — (12). Интегрирование распределений в пределах от нуля до бесконечности также имеет фундаментальный смысл. Это позволяет учесть конвенционность границ техноценоза, если мы его рассматриваем как целое, а также известную проблему взаимопроникновения, доминирования и зависимости техноценозов [2—4]. Кроме того, интегрируя подобным образом, мы учитываем так называемую «виртуальную касту», т.е. совокупность особей техноценоза (как правило, саранчовых), по разным причинам всегда оказывающуюся вне нашего поля зрения [10].

Как известно [3,4], вывод уравнений закона оптимального построения техноценозов связан с применением первого и второго начал термодинамики и соответствующим оперированием над видовыми и ранговыми распределениями. Рассмотрим основные из этих операций.

Применение к техноценозу первого начала термодинамики (закона сохранения энергии) [3,4] позволяет признать, что в любом техноценозе всегда соблюдается энергетический баланс между совокупным видообразующим параметрическим ресурсом, овеществленным в технических изделиях при изготовлении:

$$\sum_{j}\left(\int_{0}^{\infty}\omega_{j}(x)dx\right), \qquad (13)$$

где ω_j — j-е нормированные видообразующие параметры, имеющие смысл полезного эффекта, и совокупным функциональным параметрическим ресурсом, затрачиваемым на производство технических изделий и всестороннее обеспечение их последующей эксплуатации:

$$\sum_{\mathrm{j}} \left(\int_0^{\infty} \mu_{\mathrm{j}}(\mathrm{x}) \mathrm{dx} \right), \tag{14}$$

где μ_j — j-е нормированные функциональные параметры, имеющие смысл затрат.

Применение к техноценозу второго начала термодинамики (принципа неубывания энтропии) [3,4] позволяет заключить, что состояние техноценоза, максимизирующее энтропию, фиксируется при выполнении для всех популяций следующего условия:

$$\sum_{\mathrm{j}} \left(\int_{r_1}^{r_2} \omega_{\mathrm{ij}}(\mathrm{x}) \mathrm{dx} \right) = W_{\Sigma i} = \mathrm{const}, \tag{15}$$

где r_1 и r_2 — левая и правая ранговые границы популяции на ранговом параметрическом распределении, построенном по видообразующим параметрам;

$W_{\Sigma i}$ — совокупный видообразующий ресурс, одинаковый для всех популяций техноценоза;

i — номер популяции.

Следует отметить, что суммирование в выражениях (13) — (15) объясняется счетностью параметров, описывающих технические изделия. Нормирование

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru