3.3. Критерии оптимизации техноценоза

В работах [81,83,86,108] впервые сформулирован закон оптимального построения техноценозов. В той или иной степени уравнения закона реализованы в работах [83,86,90,94-96,102-104,110,111,114-119]. В настоящее время имеется каноническая формулировка закона [83]: в любом техноценозе неотвратимо действуют первое и второе начала термодинамики – законы сохранения энергии и возрастания энтропии, которые определяют условия, первое из которых констатирует неизменность совокупного параметрического ресурса техноценоза в фиксированный момент времени, а второе – принцип максимизации энтропии техноценоза, развивающегося в направлении оптимального (гомеостатического) состояния (рис. 3.11).

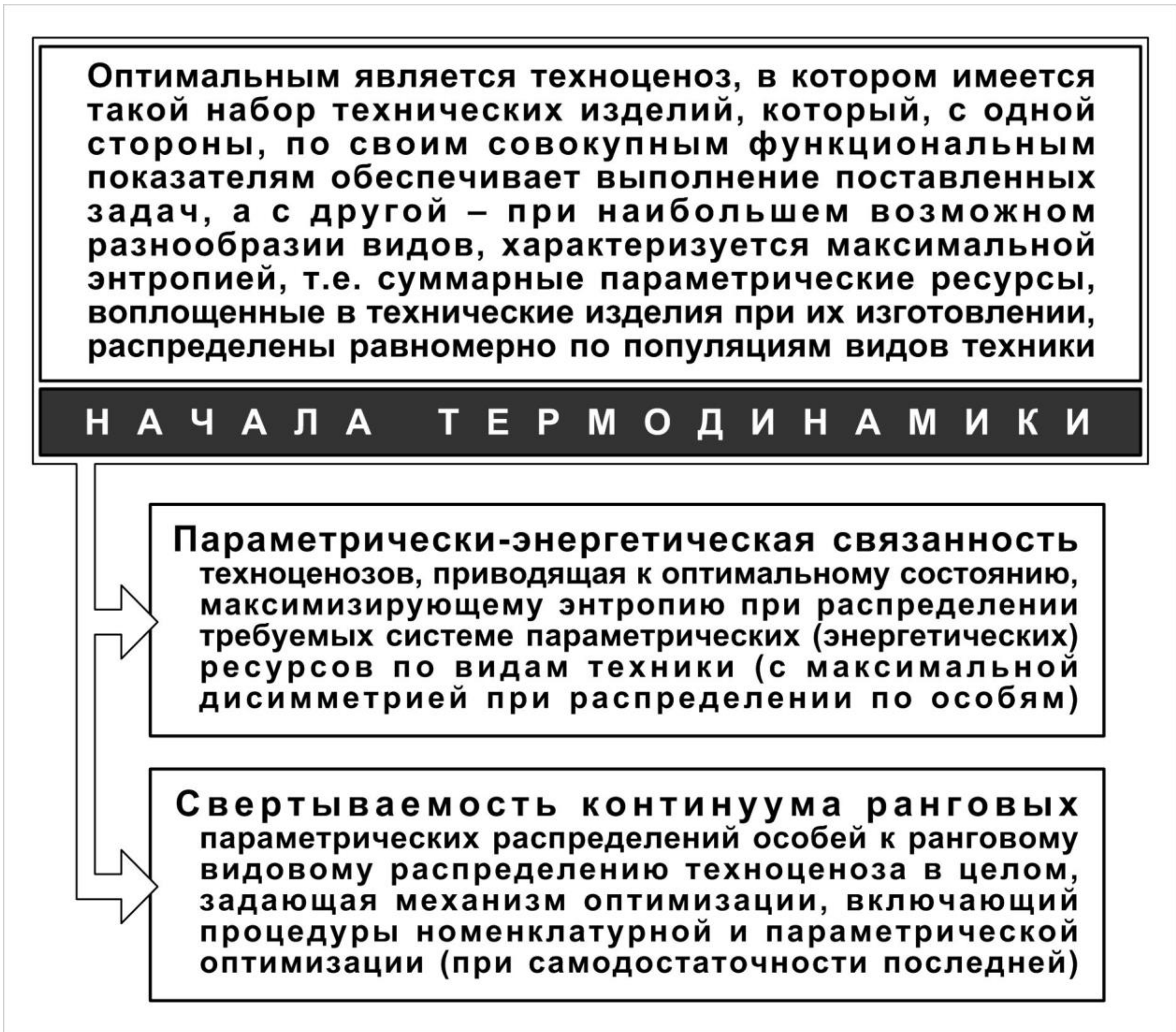

Рис. 3.11. Основания, краткая формулировка и ключевые следствия закона оптимального построения техноценозов

Закон сохранения энергии задает параметрическую связанность техноценоза, заключающуюся в том, что его совокупный параметрический ресурс исчерпывается только в том случае, если рассмотрен весь континуум как видообразующих, так и функциональных параметров, а любое изменение видообразующих параметров применяемых в техноценозе технических изделий неизбежно сопряжено с равнозначным изменением функциональных параметров, имеющих смысл затрат как на производство изделий, так и на их эксплуатацию в данной инфраструктуре. Закон возрастания энтропии определяет, что оптимальным является техноценоз, который, при наибольшем возможном разнообразии видов, характеризуется равномерным распределением совокупного параметрического ресурса по популяциям всех видов техники. При этом наращивание количества видов в техноценозе строго ограничено условием равенства совокупного параметрического ресурса, выделенного, с одной стороны, на первый, а с другой – на последний виды. Начала термодинамики задают в техноценозе свертываемость континуума ранговых параметрических распределений особей к ранговому видовому распределению техноценоза в целом, задающую механизм оптимизации (оптимального управления), включающий процедуры номенклатурной и параметрической оптимизации (при самодостаточности каждой из них, будучи реализованных по отдельности).

Условия законов сохранения энергии и возрастания энтропии на практике создают ситуацию, когда максимальная дисимметрия распределения совокупного параметрического ресурса по особям сочетается с максимальной равномерностью его распределения по популяциям видов техники, что создает наиболее благоприятные (с точки зрения соотношения «полезный эффект – затраты») минимаксные условия функционирования техноценоза. Максимальная дисимметрия распределения видообразующих параметров между особями техноценоза за счет наибольшего возможного функционального разнообразия позволяет добиваться максимального положительного эффекта в процессе функционирования техноценоза (состояние «-макс»). В свою очередь максимальная равномерность распределения параметрических ресурсов между популяциями видов техники за счет предельно допустимой унификации обеспечивает минимальные затраты на техническое обслуживание, ремонт, подготовку кадров, снабжение запасными частями (состояние «мини-»). Тем самым закон оптимального построения техноценозов задает органичное соотношение между количественными и качественными показателями технических изделий, составляющих номенклатуру техноценоза, между крупным и мелким, дорогостоящим и дешевым, уникальным и унифицированным [83,86,108].

Условия теоретически оптимального состояния техноценоза в любой момент времени представляют собой следующую систему интегро-дифференциальных уравнений, математически описывающих упомянутые законы термодинамики в понятиях техноценологического подхода:

$$
\left\{
\begin{aligned}
&\begin{cases} W_\Sigma(\tau)=\mathrm{const} \\ H(\tau)=H_W(\tau)\cdot H_\Lambda(\tau)\to\max \end{cases} \Rightarrow \left[\begin{array}{l} W_{\Sigma i}(\tau)=\dfrac{W_\Sigma(\tau)}{\Omega_\Sigma(\tau)}=\mathrm{const}, i=1\ldots\ \Omega_\Sigma(\tau) \\ \Omega_\Sigma(\tau)\xrightarrow[\{W_{\Sigma(i=1)}(\tau)=W_{\Sigma(i=\Omega_\Sigma(\tau))}(\tau)\}]{}\max \end{array}\right] \\
&H(\tau)=-\sum_{i=1}^{\Omega_\Sigma(\tau)}\left(\frac{W_{\Sigma i}(\tau)}{W_\Sigma(\tau)}\cdot\ln\left(\frac{W_{\Sigma i}(\tau)}{W_\Sigma(\tau)}\right)\right),\ \ \Omega_\Sigma(\tau)=\int_0^\infty\left(\frac{\partial\Omega(y,t)}{\partial t}\right)dy\,\Big|_{t=\tau}; \\
&H_W(\tau)=-\sum_{i=1}^{\Omega_\Sigma(\tau)}\left(\frac{W_{\Delta i}(\tau)}{W_\Delta(\tau)}\cdot\ln\left(\frac{W_{\Delta i}(\tau)}{W_\Delta(\tau)}\right)\right), W_\Delta(\tau)=\frac{W_\Sigma(\tau)}{\Lambda_\Sigma(\tau)}, W_{\Delta i}(\tau)=\frac{W_{\Sigma i}(\tau)}{\Lambda(r_{Bi},\tau)}; \\
&H_\Lambda(\tau)=-\sum_{i=1}^{\Omega_\Sigma(\tau)}\left(\frac{\Lambda(r_{Bi},\tau)}{\Lambda_\Sigma(\tau)}\cdot\ln\left(\frac{\Lambda(r_{Bi},\tau)}{\Lambda_\Sigma(\tau)}\right)\right),\ \Lambda_\Sigma(\tau)=\int_0^\infty\left(\frac{\partial\Lambda(z,t)}{\partial t}\right)dz\,\Big|_{t=\tau}; \\
&W_\Sigma(\tau)=\sum_{j=1}^\infty\left(\int_0^\infty\left(\frac{\partial w_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)\Big|_{t=\tau}=\sum_{j=1}^\infty\left(\int_{r_{ji}(\tau)}^{r_{ji+1}(\tau)}\left(\frac{\partial w_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)\cdot\Omega_\Sigma(\tau); \\
&W_{\Sigma i}(\tau)=\sum_{j=1}^\infty\left(\int_{r_{ji}(\tau)}^{r_{ji+1}(\tau)}\left(\frac{\partial w_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)=\underset{(t=\tau)}{\mathrm{const}}\ \left\{\sum_{j=1}^\infty\left(\int_0^\infty\left(\frac{\partial w_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)=\underset{(t=\tau)}{\mathrm{const}}\right\}; \\
&\Omega_\Sigma(\tau)=\max_{(t=\tau)}\left\{\sum_{j=1}^\infty\left(\int_0^1\left(\frac{\partial w_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)=\sum_{j=1}^\infty\left(\int_{r_{j(i=\Omega_\Sigma(\tau))}(\tau)}^\infty\left(\frac{\partial w_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)\right\}; \\
&r_{ji}(\tau)=\int_{r_{Bi}(\tau)}^\infty\frac{\partial\Lambda(z,t)}{\partial t}dz\,\Big|_{t=\tau};\ \ r_{ji+1}(\tau)=\int_{r_{Bi}(\tau)}^\infty\frac{\partial\Lambda(z,t)}{\partial t}dz\,\Big|_{t=\tau}+\Lambda(r_{Bi},\tau); \\
&\sum_{j=1}^\infty\left(\int_0^\infty\left(\frac{\partial w_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)=\sum_{j=1}^\infty\left(\int_0^\infty\left(\frac{\partial\omega_j(x,t)}{\partial t}\right)dx+\int_0^\infty\left(\frac{\partial\mu_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)\Big|_{t=\tau}; \\
&\sum_{j=1}^\infty\left(\int_0^\infty\left(\frac{\partial\omega_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)=\sum_{j=1}^\infty\left(\int_0^\infty\left(\frac{\partial\mu_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)=\frac{\Omega_\Sigma(\tau)\cdot W_{\Sigma i}(\tau)}{2}=\underset{(t=\tau)}{\mathrm{const}}; \\
&\sum_{j=1}^\infty\left(\int_{r_{ji}(\tau)}^{r_{ji+1}(\tau)}\left(\frac{\partial\omega_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)=\sum_{j=1}^\infty\left(\int_{r_{ji}(\tau)}^{r_{ji+1}(\tau)}\left(\frac{\partial\mu_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)=\frac{W_{\Sigma i}(\tau)}{2}=\underset{(t=\tau)}{\mathrm{const}}; \\
&\sum_{j=1}^\infty\left(\int_0^\infty\left(\frac{\partial w_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)\cong\sum_{k=1}^{\Lambda(1,\tau)}(\Omega(n_k,\tau))\cdot\sum_{j=1}^\infty\left(\sum_{i=1}^{\Omega_\Sigma(\tau)}(\Lambda(r_{Bi},\tau)\cdot M[w_j(r_{ji}(\tau),\tau)])\right); \\
&\sum_{i=1}^{\Omega_\Sigma(\tau)}(\Lambda(r_{Bi},\tau)\cdot M[w_j(r_{ji}(\tau),\tau)])=\underset{(t=\tau)}{\mathrm{const}},\ \int_0^\infty\left(\frac{\partial\Omega(y,t)}{\partial t}\right)dy\cong\sum_{k=1}^{\Lambda(1,\tau)}(\Omega(n_k,\tau)); \\
&W_{\Sigma ij}(\tau)=\int_{r_{ji}(\tau)}^{r_{ji+1}(\tau)}\left(\frac{\partial w_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\,\Big|_{t=\tau}\cong\Lambda(r_{Bi},\tau)\cdot M[w_j(r_{ji}(\tau),\tau)]=\underset{(t=\tau)}{\mathrm{const}},
\end{aligned}
\right.
$$

(3.23)

где $H(\tau)$ – энтропия – мера совершенства, структурной упорядоченности, устойчивости, параметрической оптимальности техноценоза, определяющаяся как произведение параметрической и структурной энтропии в момент времени τ;

$H_W(\tau)$ – параметрическая энтропия – величина, количественно характеризующая степень неравномерности распределения параметрических ресурсов в техноценозе в момент времени τ;

$H_\Lambda(\tau)$ – структурная энтропия техноценоза – величина, количественно характеризующая степень неравномерности распределения технических особей по популяциям видов в техноценозе в момент времени τ;

$\Rightarrow[\ ]$ – запись, означающая, что условия, записанные в квадратных скобках, являются следствием уравнений, поставленных до знака следования (в данном случае – это ключевые динамические условия реализации оптимального состояния техноценоза, являющиеся следствием действия в техноценозе первого и второго начал термодинамики);

$\Omega(y,t)$ – функция зависимости во времени видового распределения техноценоза;

$\Lambda(z,t)$ – функция зависимости во времени рангового видового распределения техноценоза (ранговая видовая поверхность техноценоза);

$W_j(x,t)$ – функция зависимости во времени рангового параметрического распределения особей техноценоза по j-му параметру (ранговая поверхность особей техноценоза по j-му параметру);

$w_j(x,t)$ – функция зависимости во времени пронормированного рангового параметрического распределения особей техноценоза по j-му параметру (нормировка эмпирических данных осуществляется еще до аппроксимации с целью приведения параметров к единой системе координат в общем параметрическом пространстве);

n – номер по порядку касты техноценоза на видовом распределении (упорядоченный по возрастанию целочисленный параметр, соответствующий возможной численности популяции техноценоза на оси абсцисс распределения);

r_B – видовой ранг техноценоза, который вводится для видов (популяций) при построении ранговых видовых распределений;

r – параметрический ранг, который вводится для особей или объектов (так называемых пространственно-технологических кластеров [81]) техноценоза при построении ранговых параметрических распределений;

$r_{ji}(\tau)$ – левая граница параметрического ранга по j-му параметру, выделенная на ранговом параметрическом распределении техноценоза для i-го вида в момент времени τ;

$r_{ji+1}(\tau)$ – правая граница параметрического ранга по j-му параметру, выделенная на ранговом параметрическом распределении техноценоза для i-го вида в момент времени τ;

$r_{j(i=\Omega_\Sigma(\tau))}(\tau)$ – левая граница параметрического ранга по j-му параметру, выделенная на ранговом параметрическом распределении для популяции вида, имеющей наибольший номер в техноценозе $(i=\Omega_\Sigma(\tau))$, в момент времени τ;

$r_{Bi}(\tau)$ – видовой ранг i-го вида техноценоза, зафиксированный в момент времени τ;

y – непрерывный аналог возможной численности касты n (мощность популяции, учитывает относительность систем отсчета в техноценозе);

z – непрерывный аналог видового ранга r_B (учитывает фрактальность видообразования);

x – непрерывный аналог параметрического ранга r (учитывает континуальность параметрического пространства техноценоза);

t – непрерывное время (учитывает постоянную изменчивость и векторизованную направленность развития техноценоза);

τ – момент времени, фиксирующий определенное состояние техноценоза (количество особей и видов, численность популяций и их объединение в касты, форму видовых и ранговых распределений, а также суммарные параметрические ресурсы техноценоза в целом и отдельных популяций в частности, как по всему континууму, так и по отдельным параметрам);

$\left.\dfrac{\partial F(x,t)}{\partial t}\right|_{t=\tau}$ – значение частной производной соответствующей функции F(x,t) по времени, фиксируемое в момент времени $t=\tau$;

$k \in [1;\infty)$ – индекс (номер) касты техноценоза;

$i \in [0;\infty)$ – индекс (номер) вида (начинается с нуля для того, чтобы, при интегрировании распределения, учесть ресурс, приходящийся на первый вид, представленный одной особью);

$j \in [1;\infty)$ – индекс (номер) параметра;

$\underset{(t=\tau)}{\mathrm{const}}$ – постоянное значение применительно к особям, видам, популяциям и кастам в заданный момент времени τ (в уравнениях показывает, что данное значение всегда остается постоянным при изменении индексов k, i и/или j в пределах момента времени τ);

$\underset{(t=\tau)}{\mathrm{const}}\{\ \}$ – постоянное значение при выполнении условия, заключенного в фигурные скобки;

$\underset{(t=\tau)}{\max}$ – максимальное значение применительно к особям, видам, популяциям и кастам в заданный момент времени τ (в уравнениях показывает, что данная величина принимает (или должна принимать) максимальное значение в пределах момента времени τ);

$\underset{(t=\tau)}{\max}\{\ \}$ – максимальное значение при выполнении условия, заключенного в фигурные скобки;

$\Omega_{\Sigma}(\tau)$ – суммарное количество видов техноценоза, зафиксированное в момент времени τ;

$\Lambda_{\Sigma}(\tau)$ – суммарное количество особей техноценоза, зафиксированное в момент времени τ;

$W_{\Sigma}(\tau)$ – совокупный параметрический ресурс по всему континууму параметров, требуемый техноценозу в целом для выполнения функционального предназначения в момент времени τ;

$W_{i\Sigma}(\tau)$ – совокупный параметрический ресурс по всему континууму параметров для i-го вида техноценоза в момент времени τ;

$W_{\Delta}(\tau)$ – совокупное среднепараметрическое значение для техноценоза, взятого в целом;

$W_{i\Delta}(\tau)$ – совокупное среднепараметрическое значение для отдельного i-го вида техноценоза;

$W_{ji\Sigma}(\tau)$ – совокупный параметрический ресурс по j-му параметру для i-го вида в момент времени τ;

$\Omega(n_k, \tau)$ – количество видов в k-ой касте техноценоза, зафиксированное в момент времени τ;

$\Lambda(r_{Bi}, \tau)$ – количество особей i-го вида в техноценозе, зафиксированное в момент времени τ (мощность популяции данного вида в момент времени τ);

$\Lambda(1, \tau)$ – количество особей вида первого ранга в техноценозе, зафиксированное в момент времени τ (максимальная мощность популяции техноценоза в момент времени τ);

$M[w_j(r_{ji}(\tau), \tau)]$ – среднее значение j-го параметра для популяции (совокупности особей) i-го вида техноценоза в момент времени τ (в расчетах, как правило, может приниматься среднее видовое значение параметра, указанное в конструкторско-технологической документации);

$\omega_j(x, t)$ – функция зависимости во времени пронормированного рангового параметрического распределения особей техноценоза по j-му параметру, имеющему смысл полезного эффекта с точки зрения функционального предназначения техноценоза (видообразующему);

$\mu_j(x, t)$ – функция зависимости во времени пронормированного рангового параметрического распределения особей техноценоза по j-му параметру, имеющему смысл затрат (функциональному).

Система (3.23), включающая четыре подсистемы, состоит из двадцати трех уравнений, записанных в четырнадцать строк. Первая строка с четырьмя уравнениями – главная. В ней кратко записаны, с одной стороны, первое и второе начала термодинамики в понятиях техноценологического подхода, а с другой – два условия оптимального состояния техноценоза. Следующие семь строк объединяют подсистему из двенадцати уравнений, которые отражают реализацию закона возрастания энтропии, неотвратимо ведущего развивающийся техноценоз к состоянию, в котором наличествующий совокупный параметрический ресурс распределяется равномерно по популяциям всех видов технических изделий-особей при условии максимизации количества видов в техноценозе. Кроме того, уравнения второй подсистемы показывают свертываемость континуума ранговых параметрических распределений к ранговому видовому (и видовому). Третья подсистема включает три уравнения, записанные в три строки (с девятой по одиннадцатую). Они, по сути, прописывают для техноценоза закон сохранения энергии в параметрической форме, показывая, что любое изменение видообразующих параметров применяемых в техноценозе технических изделий неизбежно сопряжено с энергетически равнозначным изменением функциональных параметров, имеющих смысл всесторонних затрат как на производство изделий, так и на их эксплуатацию в инфраструктуре, что математически иллюстрирует параметрически-энергетическую связанность техноценоза. Четвертая подсистема состоит из трех строк (с двенадцатой по четырнадцатую), в которых записаны еще четыре уравнения, выступающие как логическое следствие первых трех подсистем и показывающие фундаментальную связь между количественными (описывающими касты, виды и особи) и качественными (описывающими параметры объектов и особей) соотношениями в оптимальном техноценозе.

Прежде чем перейти к подробному анализу уравнений системы, обсудим два важных аспекта, первый из которых касается переменной времени. Как видим, все основные функции, используемые в аналитической системе закона оптимального построения техноценозов, зависят от двух переменных, одна из которых – обязательно время. Это отражает фактор постоянной изменчивости, необратимости и векторизованной направленности развития техноценоза. Поэтому все функции видовых и ранговых распределений в законе представлены в дифференциальной форме, и это подчеркивает тот факт, что балансные уравнения и граничные условия системы выполняются только в фиксированный момент времени. При этом все постоянные, используемые в уравнениях, являются реализациями соответствующих функций при заданном значении переменной времени. Подобное построение системы уравнений, прежде всего, накладывает жесткие условия на процесс модельной реализации потока времени в техноценозе при транзактном способе организации квазипараллелизма.

Второй аспект. В уравнениях закона используются функции ранговых параметрических распределений, построенные для нормированных параметров. Нормировка осуществляется в рамках каждого параметра по отдельности путем линейного преобразования данных относительно полного параметрического диапазона с целью приведения обычных именованных видообразующих и функциональных параметров к единой системе координат в общем параметрическом пространстве, что позволяет в уравнениях осуществлять суммирование совокупных параметрических ресурсов, вычисленных по отдельным параметрам континуума, например – $\sum_{j=1}^{\infty}\left(\int_0^{\infty}\left(\frac{\partial w_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)$. Здесь лишь следует дополнительно отметить, что применяемое в уравнениях суммирование или интегрирование ранговых распределений определяется счетностью видов и особей (суммирование) или континуальностью параметров (интегрирование) [83,86,108].

Вернемся к системе уравнений закона оптимального построения техноценозов и рассмотрим ее первую подсистему, включающую только первую строку. Слева в ней мы видим первое и второе начала термодинамики, записанные в понятиях техноценологического подхода, а именно – систему из двух условий: $\begin{cases} W_\Sigma(\tau) = \text{const}; \\ H(\tau) \to \max. \end{cases}$ Первое из условий констатирует неизменность совокупного параметрического ресурса техноценоза в данный фиксированный момент времени, а второе – принцип максимизации энтропии развивающегося техноценоза. При этом энтропия, как мера совершенства, структурной упорядоченности, устойчивости, параметрической оптимальности техноценоза, определяется как произведение параметрической и структурной энтропии $H(\tau) = H_W(\tau) \cdot H_\Lambda(\tau)$. Справа в строке первой подсистемы приведена система из двух условий оптимального состояния техноценоза: $\begin{cases} W_{\Sigma i}(\tau) = \dfrac{W_\Sigma(\tau)}{\Omega_\Sigma(\tau)} = \text{const},\ i = 1 \ldots \Omega_\Sigma(\tau); \\ \Omega_\Sigma(\tau) \xrightarrow[\{W_{\Sigma(i=1)}(\tau) = W_{\Sigma(i=\Omega_\Sigma(\tau))}(\tau)\}]{} \max, \end{cases}$ которые являются следствием действия начал термодинамики в техноценозе. В соответствии с этими условиями оптимальным является техноценоз, который, при наибольшем возможном разнообразии видов $(\Omega_\Sigma(\tau) \to \max)$, характеризуется равномерным распределением совокупного параметрического ресурса $(W_{\Sigma i}(\tau) = \text{const})$ по популяциям всех i-ых видов техники $(i = 1 \ldots \Omega_\Sigma(\tau))$. При этом наращивание количества видов в техноценозе строго ограничено условием равенства совокупного параметрического ресурса, выделенного, с одной стороны, на первый, а с другой – на последний виды $(W_{\Sigma(i=1)}(\tau) = W_{\Sigma(i=\Omega_\Sigma(\tau))}(\tau))$. Эти условия, будучи реализованы, создают ситуацию, когда максимальная дисимметрия распределения параметрического ресурса по особям сочетается с максимальной равномерностью его распределения по популяциям видов, что создает наиболее благоприятные (с точки зрения соотношения «полезный эффект – затраты») минимаксные условия функционирования техноценоза.

Перейдем ко второй подсистеме (строки со второй по восьмую). Во второй – четвертой строках записаны выражения для определения полной $H(\tau)$, параметрической $H_W(\tau)$ и структурной $H_\Lambda(\tau)$ энтропии в момент времени τ. Полная энтропия определяется как сумма (по всем видам) произведений вероятности реализации в техноценозе i-го параметрического состояния $\dfrac{W_{\Sigma i}(\tau)}{W_\Sigma(\tau)}$ на меру параметрического разнообразия популяции данного вида $\left(-\ln\left(\dfrac{W_{\Sigma i}(\tau)}{W_\Sigma(\tau)}\right)\right)$. Параметрическая энтропия есть сумма (по всем видам техники) произведений вероятности встречаемости в техноценозе i-го среднепараметрического значения $\frac{W_{\Delta i}(\tau)}{W_{\Delta}(\tau)}$ на меру среднепараметрического разнообразия популяции данного вида $\left(-\ln\left(\frac{W_{\Delta i}(\tau)}{W_{\Delta}(\tau)}\right)\right)$. В свою очередь, структурная энтропия равна сумме (по всем видам) произведений вероятности обнаружения в техноценозе особи соответствующего вида $\frac{\Lambda(r_{Bi},\tau)}{\Lambda_{\Sigma}(\tau)}$ на меру структурного разнообразия популяции данного вида $\left(-\ln\left(\frac{\Lambda(r_{Bi},\tau)}{\Lambda_{\Sigma}(\tau)}\right)\right)$. В первых трех строках второй подсистемы дополнительно записаны также выражения для определения суммарного количества видов $\Omega_{\Sigma}(\tau)=\int_0^{\infty}\left(\frac{\partial\Omega(y,t)}{\partial t}\right)dy\Bigg|_{t=\tau}$ и суммарного количества особей $\Lambda_{\Sigma}(\tau)=\int_0^{\infty}\left(\frac{\partial\Lambda(z,t)}{\partial t}\right)dz\Bigg|_{t=\tau}$ в техноценозе, фиксируемые в момент времени τ. Здесь же – выражения для определения совокупных среднепараметрических значений: для техноценоза в целом $W_{\Delta}(\tau)=\frac{W_{\Sigma}(\tau)}{\Lambda_{\Sigma}(\tau)}$ и для отдельного i-го вида $W_{\Delta i}(\tau)=\frac{W_{\Sigma i}(\tau)}{\Lambda(r_{Bi},\tau)}$, в частности.

Записанное в пятой строке системы балансное уравнение связывает между собой совокупный параметрический ресурс всех особей техноценоза $W_{\Sigma}(\tau)=\sum_{j=1}^{\infty}\left(\int_0^{\infty}\left(\frac{\partial w_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)\Bigg|_{t=\tau}$, с одной стороны, и произведение совокупного параметрического ресурса, выделенного на каждый вид в отдельности $\sum_{j=1}^{\infty}\left(\int_{r_{ji}(\tau)}^{r_{ji+1}(\tau)}\left(\frac{\partial w_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)$, на полное количество видов ценоза $\Omega_{\Sigma}(\tau)$, с другой. Данное уравнение показывает, что в условиях неизменности совокупного параметрического ресурса $W_{\Sigma}(\tau)$ между процедурами номенклатурной и параметрической оптимизации существует связь, что подтверждает свертываемость континуума ранговых параметрических распределений особей к ранговому видовому распределению в целом.

В шестой и седьмой строках системы записаны ключевые условия закона. Первое определяет равномерность распределения ресурса по видам, что эквивалентно постоянству $W_{\Sigma i}(\tau)=\sum\limits_{j=1}^{\infty}\left(\int\limits_{r_{ji}(\tau)}^{r_{ji+1}(\tau)}\left(\frac{\partial w_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)$. Очевидно, что данное условие, в свою очередь, может быть выполнено только при сохранении постоянства совокупного ресурса техноценоза $\sum\limits_{j=1}^{\infty}\left(\int\limits_{0}^{\infty}\left(\frac{\partial w_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)$. Второе условие (седьмая строка системы) максимизирует количество видов в техноценозе $\Omega_{\Sigma}(\tau)=\int\limits_{0}^{\infty}\left(\frac{\partial\Omega(y,t)}{\partial t}\right)dy\,\Bigg|_{t=\tau}$. При этом, наращивание количества видов (что соответствует наращиванию энтропии), в условиях реализации первого условия, имеет теоретический предел, при котором будет обеспечено равенство параметрического ресурса, выделенного, с одной стороны, на первый $\sum\limits_{j=1}^{\infty}\left(\int\limits_{0}^{1}\left(\frac{\partial w_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)$, а с другой – на последний $\sum\limits_{j=1}^{\infty}\left(\int\limits_{r_{j(i=\Omega_{\Sigma}(\tau))}(\tau)}^{\infty}\left(\frac{\partial w_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)$ виды.

В восьмой строке системы (последняя строка второй подсистемы) записаны уравнения, определяющие видовые границы интегрирования $r_{ji}(\tau)=\int\limits_{r_{Bi}(\tau)}^{\infty}\frac{\partial\Lambda(z,t)}{\partial t}dz\,\Bigg|_{t=\tau}$ и $r_{ji+1}(\tau)=\int\limits_{r_{Bi}(\tau)}^{\infty}\frac{\partial\Lambda(z,t)}{\partial t}dz\,\Bigg|_{t=\tau}+\Lambda(r_{Bi},\tau)$, которые задают интервал популяции вида на ранговом параметрическом распределении. Следует отметить, что уравнение, лежащее в основе выражений для определения границ интегрирования, устанавливает фундаментальную интегральную связь между параметрическим r и видовым r_B рангами через ранговое видовое распределение $\Lambda(z,t)$, которая должна выполняться для каждого j-го параметра и i-го вида в любой момент τ.

Третья подсистема. В девятой и десятой строках системы записаны уравнения, являющиеся следствием закона сохранения энергии в параметрической форме. Они показывают, что совокупный параметрический ресурс техноценоза $\sum\limits_{j=1}^{\infty}\left(\int\limits_{0}^{\infty}\left(\frac{\partial w_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)=W_{\Sigma}(\tau)=\Omega_{\Sigma}(\tau)\cdot W_{\Sigma i}(\tau)$ всегда делится на две равные части. Первая часть имеет смысл полезного эффекта

$\sum_{j=1}^{\infty}\left(\int_0^{\infty}\left(\frac{\partial\omega_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)$, а вторая – затрат $\sum_{j=1}^{\infty}\left(\int_0^{\infty}\left(\frac{\partial\mu_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)$. Учитывая уравнения второй подсистемы, а также то обстоятельство, что при параметрической оптимизации варьируются параметры ω_j и μ_j, можно сделать заключение о самодостаточности процедуры параметрической оптимизации, которая неотвратимо ведет техноценоз к каноническому (гомеостатическому, оптимальному) состоянию (в т.ч. и в смысле видового распределения). Следует отметить, что последнее замечание касается как видообразующих, так и функциональных параметров техноценоза.

Уравнение, записанное в одиннадцатой строке, дополняет условие, описывающее состояние техноценоза, при котором все параметрические ресурсы распределены равномерно по популяциям видов. В соответствии с данным уравнением условия постоянства накладываются на совокупный параметрический ресурс, приходящийся на каждую популяцию техноценоза по отдельности, как по видообразующим $\sum_{j=1}^{\infty}\left(\int_{r_{ji}(\tau)}^{r_{ji+1}(\tau)}\left(\frac{\partial\omega_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)$, так и по функциональным параметрам $\sum_{j=1}^{\infty}\left(\int_{r_{ji}(\tau)}^{r_{ji+1}(\tau)}\left(\frac{\partial\mu_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)$. В условиях выполнения ключевых ограничений, диктуемых уравнениями второй подсистемы (строки шесть и семь – см. условия в фигурных скобках), это также соответствует заявленному максимуму энтропии.

Как уже говорилось, уравнения третьей подсистемы являются следствием действия закона сохранения энергии в техноценозах. Они указывают на параметрически-энергетическую связанность (между континуумами параметров ω_j и μ_j), а уравнение, приведенное в десятой строке, является фундаментальным, собственно описывающим закон сохранения энергии. Данное уравнение показывает, что совокупный параметрический ресурс $\sum_{j=1}^{\infty}\left(\int_0^{\infty}\left(\frac{\partial w_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)$ исчерпывается только в том случае, если рассмотрен весь континуум как видообразующих $\sum_{j=1}^{\infty}\left(\int_0^{\infty}\left(\frac{\partial\omega_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)$, так и функциональных $\sum_{j=1}^{\infty}\left(\int_0^{\infty}\left(\frac{\partial\mu_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)$ параметров. Уравнения, записанные в третьей подсистеме, кроме того, позволяет сделать вывод чрезвычайной важности. Учитывая уравнения второй подсистемы, можно заключить, что параметрическая оптимизация видов технических изделий, будучи выполнена по отдельным видообразующим или функциональным параметрам и даже в отрыве от всей совокупности других параметров, неминуемо ведет к оптимизации техноценоза в целом. Верно и обратное утверждение, что создает теоретическую основу для исследования и автономной реализации отдельных этапов и процедур рангового анализа [83,86,108].

Четвертая подсистема. Уравнение, записанное в двенадцатой строке системы, позволяет в прикладных расчетах определить совокупный параметрический ресурс техноценоза $\sum_{j=1}^{\infty}\left(\int_0^{\infty}\left(\frac{\partial w_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)$ как произведение суммарного количества видов $\int_0^{\infty}\left(\frac{\partial \Omega(y,t)}{\partial t}\right)dy \cong \sum_{k=1}^{\Lambda(1,\tau)}(\Omega(n_k,\tau))$ на средний совокупный параметрический ресурс, приходящийся на одну популяцию $\sum_{j=1}^{\infty}\left(\sum_{i=1}^{\Omega_\Sigma(\tau)}(\Lambda(r_{Bi},\tau)\cdot M[w_j(r_{ji}(\tau),\tau)])\right)$. Данное уравнение показывает однозначную обратную связь между численностью особей любого i-го вида техноценоза (мощностью популяции) $\Lambda(r_{Bi},\tau)$ и уровнем овеществленного в данном виде техники видообразующего j-го параметра (математического ожидания, учитывая гауссов разброс в пределах популяции или даже вида) $M[w_j(r_{ji}(\tau),\tau)]$, которая задается постоянством совокупного параметра $\int_{r_{ji}(\tau)}^{r_{ji+1}(\tau)}\left(\frac{\partial w_j(x,t)}{\partial t}\right)dx$, выделенного популяции в оптимальном техноценозе (следует из уравнения, записанного в шестой строке).

В тринадцатой строке записано условие постоянства совокупного параметрического ресурса техноценоза $\sum_{i=1}^{\Omega_\Sigma(\tau)}(\Lambda(r_{Bi},\tau)\cdot M[w_j(r_{ji}(\tau),\tau)])$, которое в другой, более удобной для практических методик, форме повторяет условие, записанное в шестой строке системы. Кроме того, в этой же строке приведено выражение, определяющее суммарное количество видов в техноценозе $\sum_{k=1}^{\Lambda(1,\tau)}(\Omega(n_k,\tau))$ с учетом кастовой структуры, что также часто бывает выгодным в практических расчетных методиках.

Уравнения четвертой подсистемы являются следствием закона оптимального построения техноценозов и представляют собой теоретическую основу прикладных методик оптимизации, осуществляемых, как правило, в рамках долгосрочной научно-технической политики. Они показывают: чтобы не дестабилизировать техноценоз, т.е. оставить неизменным $\int\limits_{r_{ji}(\tau)}^{r_{ji+1}(\tau)} \left(\frac{\partial w_j(x,t)}{\partial t} \right) dx$, при проектировании (модернизации) и внедрении новых образцов техники необходимо придерживаться следующих правил. В случае если жестко заданы параметры вновь спроектированного вида $M[w_j(r_{ji}(\tau),\tau)]$, количество изделий данного вида $\Lambda(r_{Bi},\tau)$ (мощность популяции) не может быть выбрано произвольно, а диктуется (через связь, описываемую уравнением, записанным в четырнадцатой строке) формой рангового видового распределения $\Lambda(z,t)$. И, наоборот, при жестко заданной численности проектировщик не может свободно выбирать параметры (исходя лишь из меристических представлений, по «узкому» соотношению «полезный эффект – затраты»). Он обязан непременно учитывать системные рекомендации закона оптимального построения техноценозов.

Выполнив построчный последовательный анализ всех уравнений системы (3.23), попытаемся сгруппировать данные уравнения и обсудить основной смысл закона оптимального построения техноценозов, который, по сути, сводится к выполнению следующих двух условий [83,86,108]:

$$\begin{cases} W_\Sigma(\tau) = \text{const}\,; \\ H(\tau) \to \max\,. \end{cases} \qquad (3.24)$$

В соответствии с первым условием совокупный параметрический ресурс техноценоза в момент времени τ неизменен, что соответствует первому началу термодинамики или закону сохранения энергии, сформулированному в понятиях техноценологического подхода [77,81,83,86,108]. Второе условие системы (3.24), по сути, представляет собой второе начало термодинамики или известный закон возрастания энтропии.

Закон сохранения энергии задает параметрическую связанность техноценоза, заключающуюся в том, что совокупный параметрический ресурс техноценоза исчерпывается только в том случае, если рассмотрен весь континуум как видообразующих, так и функциональных параметров, а любое изменение видообразующих параметров применяемых технических изделий неизбежно сопряжено с равнозначным изменением функциональных параметров, имеющих смысл затрат как на производство изделий, так и на их эксплуатацию. Закон возрастания энтропии определяет, что оптимальным является техноценоз, который, при наибольшем возможном разнообразии видов, характеризуется равномерным распределением совокупного параметрического ресурса по популяциям всех видов техники. При этом наращивание количества видов в техноценозе строго ограничено условием равенства совокупного параметрического ресурса, выделенного, с одной стороны, на первый, а с другой – на последний виды.

Энтропия техноценоза рассматривается как мультипликативная характеристика, отражающая некоторое минимаксное состояние техноценоза, характеризующееся максимальной равномерностью распределения совокупного параметрического ресурса по популяциям видов техники и, одновременно, – их максимальной дисимметрией распределения по особям. Энтропия определяется следующим образом [83,86,108]:

$$H(\tau) = H_W(\tau) \cdot H_\Lambda(\tau). \tag{3.25}$$

В данном произведении первый сомножитель представляет собой параметрическую, а второй – структурную энтропию. Значения энтропии могут быть определены по следующим выражениям:

$$\begin{cases} H(\tau) = -\sum\limits_{i=1}^{\Omega_\Sigma(\tau)} \left(\dfrac{W_{\Sigma i}(\tau)}{W_\Sigma(\tau)} \cdot \ln\left(\dfrac{W_{\Sigma i}(\tau)}{W_\Sigma(\tau)} \right) \right); \\ H_W(\tau) = -\sum\limits_{i=1}^{\Omega_\Sigma(\tau)} \left(\dfrac{W_{\Delta i}(\tau)}{W_\Delta(\tau)} \cdot \ln\left(\dfrac{W_{\Delta i}(\tau)}{W_\Delta(\tau)} \right) \right); \\ H_\Lambda(\tau) = -\sum\limits_{i=1}^{\Omega_\Sigma(\tau)} \left(\dfrac{\Lambda(r_{Bi},\tau)}{\Lambda_\Sigma(\tau)} \cdot \ln\left(\dfrac{\Lambda(r_{Bi},\tau)}{\Lambda_\Sigma(\tau)} \right) \right). \end{cases} \tag{3.26}$$

В выражении для определения параметрической энтропии используются так называемые среднепараметрические значения для i-го вида и техноценоза в целом, которые рассчитываются следующим образом:

$$\begin{cases} W_{\Delta i}(\tau) = \dfrac{W_{\Sigma i}(\tau)}{\Lambda(r_{Bi},\tau)}; \\ W_\Delta(\tau) = \dfrac{W_\Sigma(\tau)}{\Lambda_\Sigma(\tau)}. \end{cases} \tag{3.27}$$

Как показывает анализ (3.24) – (3.26), применение второго начала термодинамики к техноценозам сводится к выполнению двух условий:

$$\begin{cases} W_{\Sigma i}(\tau) = \dfrac{W_\Sigma(\tau)}{\Omega_\Sigma(\tau)} = \text{const},\ i = 1 \ldots \Omega_\Sigma(\tau); \\ \Omega_\Sigma(\tau) \xrightarrow[\{W_{\Sigma(i=1)}(\tau) = W_{\Sigma(i=\Omega_\Sigma(\tau))}(\tau)\}]{} \max. \end{cases} \tag{3.28}$$

Первое условие системы (3.28), будучи взято само по себе, не имеет однозначного решения и должно реализовываться при наибольшем возможном разнообразии видов (второе условие системы (3.28)). Второе же условие имеет точный теоретический предел, при котором будет обеспечено равенство совокупного параметрического ресурса, приходящегося, с одной стороны, на первый, а с другой – на последний виды.

Ниже приводятся формулы, определяющие совокупный параметрический ресурс в техноценозе, приходящийся, соответственно: на техноценоз в целом, i-ую популяцию, первую популяцию, последнюю популяцию, наконец – на i-ый вид техноценоза по j-ому параметру.

$$\begin{cases} W_{\Sigma}(\tau) = \sum\limits_{j=1}^{\infty}\left(\int\limits_{0}^{\infty}\left(\dfrac{\partial w_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)\Bigg|_{t=\tau}; \\ W_{\Sigma i}(\tau) = \sum\limits_{j=1}^{\infty}\left(\int\limits_{r_{ji}(\tau)}^{r_{ji+1}(\tau)}\left(\dfrac{\partial w_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)\Bigg|_{t=\tau}; \\ W_{\Sigma(i=1)}(\tau) = \sum\limits_{j=1}^{\infty}\left(\int\limits_{0}^{1}\left(\dfrac{\partial w_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)\Bigg|_{t=\tau}; \\ W_{\Sigma(i=\Omega_{\Sigma}(\tau))}(\tau) = \sum\limits_{j=1}^{\infty}\left(\int\limits_{r_{j(i=\Omega_{\Sigma}(\tau))}(\tau)}^{\infty}\left(\dfrac{\partial w_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\right)\Bigg|_{t=\tau}; \\ W_{\Sigma ij}(\tau) = \int\limits_{r_{ji}(\tau)}^{r_{ji+1}(\tau)}\left(\dfrac{\partial w_j(x,t)}{\partial t}\right)dx\,\Bigg|_{t=\tau}. \end{cases} \tag{3.29}$$

Границы интегрирования в уравнениях (3.29) определяются на основе фундаментальной связи между параметрическим и видовым рангами, устанавливаемой через ранговое видовое распределение техноценоза:

$$\begin{cases} r_{ji}(\tau) = \int\limits_{r_{Bi}(\tau)}^{\infty}\dfrac{\partial \Lambda(z,t)}{\partial t}dz\,\Bigg|_{t=\tau}; \\ r_{ji+1}(\tau) = \int\limits_{r_{Bi+1}(\tau)}^{\infty}\dfrac{\partial \Lambda(z,t)}{\partial t}dz\,\Bigg|_{t=\tau}; \\ r_{j(i=\Omega_{\Sigma}(\tau))}(\tau) = \int\limits_{r_{B(i=\Omega_{\Sigma}(\tau))}(\tau)}^{\infty}\dfrac{\partial \Lambda(z,t)}{\partial t}dz\,\Bigg|_{t=\tau}. \end{cases} \tag{3.30}$$

Ниже приводятся интегральные выражения для определения суммарного количества видов и особей в техноценозе.

$$\begin{cases} \Omega_\Sigma(\tau) = \int\limits_0^\infty \left(\dfrac{\partial \Omega(y,t)}{\partial t} \right) dy \Bigg|_{t=\tau}; \\ \Lambda_\Sigma(\tau) = \int\limits_0^\infty \left(\dfrac{\partial \Lambda(z,t)}{\partial t} \right) dz \Bigg|_{t=\tau}. \end{cases} \quad (3.31)$$

Совокупный параметрический ресурс может быть определен и отдельно, как для видообразующих, так и для функциональных параметров, на которые также распространяется первое начало термодинамики:

$$\begin{cases} W_\Sigma(\tau) = W_\Sigma^\omega(\tau) + W_\Sigma^\mu(\tau); \\ W_\Sigma^\omega(\tau) = W_\Sigma^\mu(\tau) = \mathrm{const}; \\ W_\Sigma^\omega(\tau) = \sum\limits_{j=1}^\infty \left(\int\limits_0^\infty \left(\dfrac{\partial \omega_j(x,t)}{\partial t} \right) dx \right) \Bigg|_{t=\tau}; \\ W_\Sigma^\mu(\tau) = \sum\limits_{j=1}^\infty \left(\int\limits_0^\infty \left(\dfrac{\partial \mu_j(x,t)}{\partial t} \right) dx \right) \Bigg|_{t=\tau}. \end{cases} \quad (3.32)$$

Далее мы видим уравнения, разбивающие совокупный параметрический ресурс, приходящийся на видообразующие и функциональные параметры, по отдельным популяциям видов техники, что позволяет записать условие, соответствующее второму началу термодинамики.

$$\begin{cases} W_{\Sigma i}(\tau) = W_{\Sigma i}^\omega(\tau) + W_{\Sigma i}^\mu(\tau); \\ W_{\Sigma i}^\omega(\tau) = W_{\Sigma i}^\mu(\tau) = \mathrm{const},\ i = 1 \ldots \Omega_\Sigma(\tau); \\ W_{\Sigma i}^\omega(\tau) = \dfrac{W_\Sigma^\omega(\tau)}{\Omega_\Sigma(\tau)} = \sum\limits_{j=1}^\infty \left(\int\limits_{r_{ji}(\tau)}^{r_{ji+1}(\tau)} \left(\dfrac{\partial \omega_j(x,t)}{\partial t} \right) dx \right) \Bigg|_{t=\tau}; \\ W_{\Sigma i}^\mu(\tau) = \dfrac{W_\Sigma^\mu(\tau)}{\Omega_\Sigma(\tau)} = \sum\limits_{j=1}^\infty \left(\int\limits_{r_{ji}(\tau)}^{r_{ji+1}(\tau)} \left(\dfrac{\partial \mu_j(x,t)}{\partial t} \right) dx \right) \Bigg|_{t=\tau}. \end{cases} \quad (3.33)$$

В заключение мы приводим уравнения, являющиеся следствием основных, записанных в (3.24) – (3.33), и позволяющие в прикладных расчетах прописывать основные условия, а также определять ключевые величины, используемые в законе оптимального построения техноценозов.

$$\begin{cases} \Omega_{\Sigma}(\tau) \cong \sum\limits_{k=1}^{\Lambda(1,\tau)} \Omega(k,\tau); \\ \Lambda_{\Sigma}(\tau) \cong \sum\limits_{v=1}^{\Omega_{\Sigma}(\tau)} \Lambda(v,\tau); \\ r_{j(i=r_{BPj})}(\tau) \cong \sum\limits_{v=r_{BPj}}^{\Omega_{\Sigma}(\tau)} \Lambda(v,\tau); \\ r_{j(i=r_{BPj}+1)}(\tau) \cong \sum\limits_{v=r_{BPj}}^{\Omega_{\Sigma}(\tau)} \big(\Lambda(v,\tau)\big) + \Lambda(r_{BPj},\tau); \\ W_{\Sigma}(\tau) \cong \sum\limits_{j=1}^{P_{\Sigma}(\tau)} W_{\Sigma j}(\tau); \\ W_{\Sigma j}(\tau) \cong \sum\limits_{i=1}^{\Omega_{\Sigma}(\tau)} W_{\Sigma ij}(\tau); \\ W_{\Sigma ij}(\tau) \cong \Lambda(r_{Bi},\tau) \cdot M[w_j(r_{ji}(\tau),\tau)]; \\ W_{\Sigma ij}(\tau) \cong \mathrm{const}, \end{cases} \tag{3.34}$$

где r_{BPj} – расчетный видовой ранг по j-му параметру;

$P_{\Sigma}(\tau)$ – суммарное количество параметров, принятых для описания техноценоза в момент времени τ.

Итак, мы постулируем безусловное выполнение начал термодинамики и стремление системы к состоянию «минимакса», которое максимизирует положительный эффект при минимальных затратах на его достижение. Максимальная дисимметрия распределения видообразующих параметров между особями техноценоза (задается оптимальной формой ранговых параметрических распределений) позволяет добиваться максимального положительного эффекта в процессе функционирования техноценоза (состояние «-макс»). В свою очередь максимальная равномерность распределения параметрических ресурсов между популяциями обеспечивает минимальные затраты на техническое обслуживание, ремонт, подготовку кадров, снабжение запчастями (состояние «мини-»). Тем самым закон оптимального построения техноценозов задает органичное соотношение между количественными и качественными показателями технических изделий, составляющих номенклатуру техноценоза, между крупным и мелким, дорогостоящим и дешевым, уникальным и унифицированным.