Ю. Л. Соловьев

Энтропийные методы оценки программ развития города

В статье предпринята попытка применения энтропийных критериев в качестве инструмента для оценки программ развития и устойчивости городских территорий. Приведены типы неравновесных моделей с энтропийными критериями. Показаны некоторые практические примеры вычисления производства энтропии и информационной энтропии по показателям состояния подсистем на примере г. Тюмени.

Город — специфическая среда, сформированная в процессе развития общества. Среди большого количества городов следует выделить ресурсно-ориентированные, при формировании или в процессе развития которых важную роль сыграла ресурсодобывающая промышленность, например: Норильск, Баку, Уфа, Тюмень, Нижневартовск и многие другие. Для городов такого типа выработка стратегий развития всегда будет ориентирована на добывающую территорию, так как это естественный, достаточно эффективный рынок услуг. Стратегия развития г. Тюмени направлена на нефтегазодобычу в Тюменской области [18]. Наряду с этим важнейшим фактором оказывается и оценка программ развития. К сожалению, в настоящее время нет единой общепризнанной методики по оценке программ развития города. Это связано с тем, что для каждого города характерен свой определенный набор программ, что заставляет искать более новые и эффективные методы оценки.

В российской практике городского управления до недавнего времени оценка программ развития не использовалась вообще. Тем не менее обобщенную структуру оценки можно представить в следующем виде [9]:

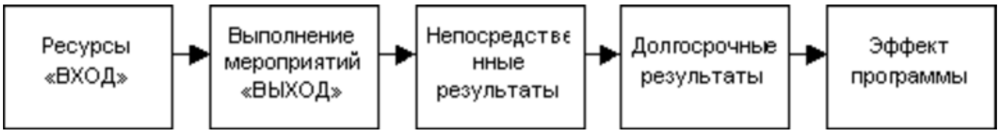

Рис. 1. Алгоритм оценки программы развития

Самым распространенным при проведении оценки является анализ данных показателей. Он представляет собой обработку соответствующих показателей, выбранных в ходе проведения оценки и отвечающих ее требованиям, целям и задачам. На основе такого анализа формируются выводы о результатах оценки той или иной программы развития и о ее эффективности. Конечная цель анализа состоит в количественной и качественной оценке программы, сравнении практических результатов с запланированными. Для этого необходимо располагать наиболее полной информацией о состоянии города на данный момент, обладать соответствующим набором показателей, наиболее полно охватывающих весь спектр развития города.

Определим некоторые характерные особенности городских систем, которые учитываются при анализе и моделировании.

Существует много типов макросистем, в которых бывает трудно, а иногда и невозможно установить причинно-следственные связи между переменными, характеризующими их состояние. Город следует рассматривать как макро-систему, содержащую большое количество элементов со стохастическим типом поведения, при этом поведение системы как целого вполне детерминировано [11, 12].

Процедура построения модели города может быть следующей. На первом этапе необходимо выделить основные подсистемы и установить их взаимосвязи. Затем определяются параметры подсистем, а далее численные значения параметров модели.

Применительно к городским системам можно выделить следующие типы макросистемных моделей:

Равновесная модель

Макросистема разделена на макро- и микроуровень. Микроуровень образует поведение жителей, как элементарных объектов, а макроуровень — функционально однородные подсистемы, состояние которых характеризуется вполне детерминированными параметрами. Модель имеет вероятностную иерархическую структуру. Термодинамические свойства системы не зависят ни от координаты, ни от времени [1]:

$$\frac{\partial f_i}{dx} = 0; \frac{\partial f_i}{dt} = 0,$$

где f_i — термодинамические свойства.

Энтропия при этом определяется как логарифм вероятности макросостояния [11, 12]:

$$H(N) = -\sum_{n=1}^{m} N_n \ln \frac{N_n}{a_n G_n e},$$

где $H(N)$ — обобщенная информационная энтропия; N_n — число возможных макросостояний (N_n ³ 0, n = 1…m); a_n — вероятность нахождения одного элемента в каждом состоянии; G_n — емкость множества макросостояний.

Для таких моделей применим принцип максимизации энтропии, т. е. «стационарное состояние будет достигаться тогда, когда на допустимом макросостоянии энтропия станет максимальной» [11, 12]:

$$N^* = \arg\max_{N \in D} H(N) = \arg\max_{N \in D} P(N),$$

где N^* — стационарное состояние; $H(N)$ — обобщенная информационная энтропия; $P(N)$ — функция распределения вероятностей; D — множество допустимых макросостояний.

Так, для модели городской транспортной системы обобщенная информационная энтропия запишется в виде:

$$H(N) = -\sum_{n=1}^{m} N_n \ln \frac{N_n}{a_n G_n e} = -\sum_{i,j=1}^{m,n} x_{ij} \ln \frac{x_{ij}}{\nu_{ij}},$$

где i, j — номера районов, где расположены места жительства и места работы соответственно (i = 1…m, j = 1…n); x_{ij} — поток между «домом» i и «работой» j; n_{ij} — вероятность выбора каждым жителем пути следования.

Потоки при этом должны удовлетворять естественным ограничениям:

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = Q_j, \quad j = 1\ldots m; \qquad \sum_{j=1}^{n} x_{ij} = P_i, \quad i = 1\ldots n,$$

где x_{ij} — потоки; Q_j и P_i — емкости мест работы и мест жительства соответственно.

Неравновесная модель с локальным равновесием

В неравновесной системе термодинамические параметры зависят от координаты и времени, а также выполняется принцип баланса энтропии, т. е. скорость изменения энтропии в открытой системе равна скорости образования энтропии в системе за счет внутренних необратимых процессов и скорости обмена энтропией с внешней средой [2, 13, 16, 17]:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{dS_i}{dt} + \frac{dS_e}{dt},$$

где $\frac{dS}{dt}$ — производство энтропии в открытой системе; $\frac{dS_i}{dt}$ — производство энтропии внутри системы; $\frac{dS_e}{dt}$ — скорость обмена энтропией с внешней средой.

Для неравновесных систем с локальным равновесием применим принцип «минимального производства энтропии». Устойчивое состояние локально равновесной системы определяется минимальной скоростью возникновения энтропии внутри системы:

$\sigma_i = \frac{dS_i}{dt} \geq 0$ — критерий минимального производства энтропии.

Производство энтропии определяется через произведение термодинамических потоков и сил:

$$\frac{dS}{dt} = \sum_{k=1}^{n} J_k F_k.$$

Вблизи равновесия зависимость между потоками и силами имеет линейный вид:

$$J_k = \sum_i \frac{\partial J_k}{\partial F_i} F_i = \sum_i L_{ki} F_i$$ — термодинамическое уравнение движения,

где J_k — термодинамические потоки; F_k — термодинамические силы.

В силу симметрии неравновесных процессов выполняется соотношение взаимности Онзагера $L_{ki} = L_{ik}$, и выражение для производства энтропии можно записать в виде:

$$\frac{dS_i}{dt} = \sum_{ik} L_{ik} F_i F_k \geq 0$$ — условие устойчивости в локально равновесной системе,

где $\frac{dS_i}{dt}$ — скорость изменения энтропии внутри системы; L_{ik} — линейные коэффициенты; $F_i F_k$ — термодинамические силы.

Так, для экономической макросистемы производство энтропии можно определить следующим образом [4]:

$$\frac{dS}{dt} = -J_e X_e + J_I X_I + J_\sigma X_\sigma + \Delta m'_k \upsilon'_k + \rho_\varphi \mu_\varphi - \Delta \rho_n \mu_n,$$

где $J_e X_e$ — характеристика совокупной покупательной способности населения (J_e — совокупный спрос, X_e — уровень цен спроса); $J_i X_i$ — производство невостребованной продукции (J_i — совокупное предложение, X_i — уровень цен предложения); $J_s X_s$ — величина государственных расходов; $Dm'_k u'_k$ — денежная эмиссия (инфляция) (Dm'_k — размер денежной эмиссии, u'_k — скорость обращения денег); $r_j m_j$ — прирост трудоспособного населения (r_j — естественный прирост работоспособного населения, m_j — величина, характеризующая прирост инвестиций на организацию одного рабочего места); $Dr_n m_n$ — прирост безработицы.

Критерий минимального производства энтропии можно представить в виде:

$$\frac{dS_I}{dt} \equiv J_I X_I + J_\sigma X_\sigma \geq 0$$

(при заданных граничных условиях: $\frac{dS_e}{dt} \equiv \sigma_e = -J_e X_e = \text{const}$),

где $\frac{dS_I}{dt}$ — производство энтропии внутри экономической макросистемы; $J_i X_i$ — производство невостребованной продукции; $J_s X_s$ — величина государственных расходов.

Существует также вероятностный способ определения производства энтропии [8]:

$$\frac{dS}{dt} = -\sum_{i,j} \left[G_i G_j \left(\frac{P_j}{G_j} - \frac{P_i}{G_i} \right) A_{ji} \ln \frac{P_i G_j}{P_j G_i} \right],$$

где P_i — вероятность нахождения системы в i-м состоянии (состояния системы образуют n групп с индексами i); G_i — количество равновероятных состояний в i-й группе; A_{ij} — вероятность того, что система совершает переход из некоторого состояния группы i в некоторое состояние группы j (при A_{ii} º 0).

Производство энтропии стремится к своему минимальному значению при условии, что величина отношения $\frac{P_i}{G_i}$ стремится к величине отношения $\frac{P_j}{G_j}$. Если эти величины равны $\left(\frac{P_i}{G_i} = \frac{P_j}{G_j} \right)$, то производство энтропии $\frac{dS}{dt} = 0$. Если нет $\left(\frac{P_i}{G_j} \neq \frac{P_i}{G_j} \right)$, то $\frac{dS}{dt}$ > 0.

Неравновесная модель с небольшим отклонением от равновесия

В системах такого типа неравновесное состояние поддерживается за счет постоянного обмена энтропией с окружающей средой. При этом полное производство энтропии равно нулю [2, 13, 16, 17]:

$$\frac{dS}{dt} = 0$$ — стационарное состояние.

Производство энтропии внутри системы равно притоку отрицательной энтропии:

$$\frac{dS_i}{dt} = -\frac{dS_e}{dt} \neq 0.$$

Условием устойчивого состояния систем с небольшим отклонением от равновесия является выполнение критерия положительного «избыточного производства энтропии»:

$$\frac{d\sigma_i}{dt} \leq 0,$$

где σ_i — производство энтропии внутри системы.

Для экономической системы при заданных граничных условиях постоянства обмена энтропией с внешней средой $(-\sigma_e = J_e X_e = \text{const})$ критерий примет следующий вид [4]:

$$\frac{d\sigma_i}{dt} = \frac{d}{dt}(J_i X_i + \sigma) \leq 0,$$

где $J_i X_i$ — производство невостребованной продукции; s — величина государственных расходов.

При условии остановки спада производства $(J_i = \text{const}; \frac{dJ_i}{dt} = 0)$ можно получить систему уравнений — условие макроэкономической стабилизации:

$$\begin{cases} -\dfrac{d\sigma}{dt} = J_i \dfrac{dX_i}{dt}, \\ \dfrac{d^2 X_e}{dt^2} = \dfrac{Y_i}{Y_e} \dfrac{d^2 X_i}{dt^2}, \end{cases}$$

где $\frac{d\sigma}{dt}$ — скорость снижения государственных расходов; $\frac{d^2 X_i}{dt^2}$ — скорость роста уровней цен издержек; $\frac{d^2 X_e}{dt^2}$ — скорость роста уровней цен спроса; Y_i — функция производимого валового национального продукта (ВНП); Y_e — функция реализуемого ВНП.

Неравновесная модель с большим отклонением от равновесия

Отличительной особенностью систем данного типа неравновесности является высокая чувствительность к флуктуациям, возникающим как внутри системы, так и вне ее, что приводит к появлению нелинейных эффектов. В таких случаях существуют пороговые критические значения параметров, при которых возникает неустойчивость системы. В этих критических точках флуктуации усиливаются и достигают макроскопического состояния, что может привести к скачкообразному переходу системы в новое упорядоченное состояние с уменьшившейся энтропией [10].

При этом зависимость между потоками и силами в системе принимает нелинейный вид:

$$J_i = L^*_{ii} X_i + L_{ie} X_e,$$

$$J_e = L_{ei} X_i + L_{ee} X_e,$$

где J_{ie} — потоки; X_{ie} — силы; L — коэффициенты Онзагера;

$$L^*_{ii} = L_{ii}(1 - \frac{\chi}{2a} x^2); \quad (a < 0),$$

где c — константа; a — управляющий параметр; x — параметр порядка.

В качестве открытой экономической системы можно рассмотреть обрабатывающую промышленность [5]. Здесь численность рабочих мест зависит от объемов фондов и имеет место степенная зависимость между потоками и силами:

$$J = LX^n,$$

где J — производственные функции (выпуск продукции); L — коэффициент интенсивности фондов; n —

коэффициент интенсивности производства.

Увеличение объема производственной продукции происходит за счет увеличения коэффициента интенсивности фондов L_{ij}. В данной модели интенсивность определяется как нелинейная зависимость L_{ij} от параметра порядка x:

$$L^{*}_{ij} = L_{ij}\left(1 - \frac{1}{2a}x^2\right).$$

Производство энтропии можно определить с помощью потенциальной функции $\psi(a, b, x)$ [5]:

$$\psi(a', b', x) = \frac{1}{4}x^4 + \frac{1}{2}a'x^2 + b'x + \frac{\eta}{2a},$$

где $a' = \frac{1}{2x} - \frac{3}{16}\frac{k^2}{x^2}$; $b' = \frac{k^3}{32x^3} - \frac{k}{8x^2} + \frac{b(1-\eta)}{4ax}$ — управляющие параметры; $x = \frac{4xX_i - kX_e}{4xX_e}$ — параметр порядка, члены с x^4 и x^2 характеризуют производство энтропии s_i, член $b'x$ описывает связь внешних и внутренних характеристик (b' оценивает степень сопряженности этих характеристик или процессов), константа $h/2a$ — внешний отток (приток) энтропии s_e.

Термодинамический потенциал зависит от одной переменной x и определяет скорость изменения энергетической функции. Строится он по входным (внешним) и выходным (внутренним) характеристикам открытой термодинамической системы и определяет в общем случае скорость изменения энтропии в неравновесной системе [5]:

$$y(a, b, x)\ ^{o}\ s_e + s_i,$$

где s_e и s_i приведены к безразмерному виду.

При разработке стратегии развития г. Тюмени предложен следующий вариант распределения подсистем в городской системе [18]:

1. Индивидуальное развитие.
2. Социальная система.
3. Система политического управления.
4. Экономическая система.
5. Система инфраструктуры.
6. Система окружающей среды и ресурсов.

Определим производство энтропии экономической подсистемы г. Тюмени за период с 1998 по 2001 г. [15].

В качестве расчетных данных определим следующие параметры:

П — прибыль;

L — фонд оплаты труда;

С — материальные затраты;

Ч — чистый продукт;

В — доход (выручка) за выбранный временной период.

Расчетные данные

Год	П	*L*	*С*	Ч	В	*z* = В/*L*	*с* = *С*/*L*	*n* = П/*L*	ч = Ч/*L*
1998	751	4305,2	12140,8	5056,2	17197	3,994472	2,820032	0,17444	1,17444
1999	10161	4955,2	11912,8	15116,2	27029	5,454674	2,404101	2,050573	3,050573
2000	14609	6268,2	35074,8	20877,2	55952	8,926327	5,595673	2,330653	3,330653
2001	15273	11366,2	20929,8	26639,2	47569	4,185128	1,841407	1,343721	2,343721

Построим график зависимости материальных затрат (*с*), чистой продукции (ч) и прибыли (*n*) от приведенной производительности труда (*z*).

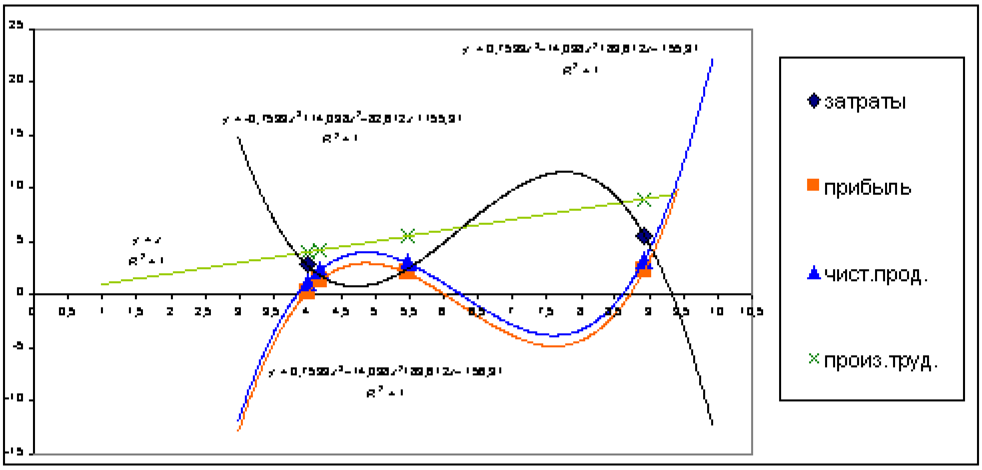

Рис. 2. Зависимость материальных затрат (*c*), чистой продукции (ч) и прибыли (*n*) от приведенной производительности труда (*z*)

Каждую зависимость можно аппроксимировать полиномом (с определенной погрешностью R^2), который и характеризует производство энтропии в системе. График показывает изменение производства энтропии в экономической подсистеме за период с 1998 по 2001 г. (измеренные значения отмечены точками). Даже при очень малом количестве измерений видно, что кривая имеет минимум и максимум. При этом устойчивое состояние достигается в области минимума.

Поскольку каждая подсистема представлена определенным набором показателей, то попробуем вычислить энтропию показателя состояния.

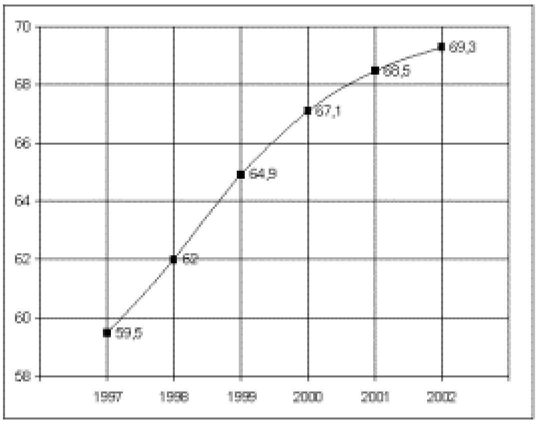

Рис. 3. Временной ряд показателя г. Тюмень «Доля населения в возрасте 60 лет и старше (тыс. чел.)»

Будем рассматривать показатель состояния, как реализацию некоторой случайной величины, представленную в виде временного ряда данных. Предположим, что значения показателя — это результаты наблюдения над случайной величиной *X*, оформленные в виде статистической совокупности или временного ряда.

Используя методы математической статистики, можно найти закон распределения случайной величины (с какой-то долей ошибки). Зная закон распределения, можно вычислить энтропию (с учетом выбранного D*x*),

как $S = -\int_{-\infty}^{\infty} f(x)\log_2 f(x)dx - \log_2 \Delta x,$ а затем и ее производство. Однако на практике не всегда имеется необходимое количество информационного материала по какому-либо показателю. Вычислять энтропию приходится с учетом малого количества выборок, которых не всегда бывает достаточно для точного определения закона распределения.

Разделим весь диапазон значений *X* на интервалы (или разряды) и подсчитаем количество значений m_i, приходящихся на каждый *i*-й интервал. Найдем частоту появления случайной величины в каждом интервале, как

$$p_i^* = \frac{m_i}{n},$$

где n — общее число наблюдений.

При этом сумма частот должна быть равна единице. Построим статистический ряд:

x_i	x_1; x_2	x_2; x_3	x_3; x_4	¼	x_{n-1}; x_n	å
p_i^*	p_1^*	p_2^*	p_3^*	¼	p_n^*	1

Найдем энтропию, как энтропию дискретной случайной величины. Вместо p_i подставим соответствующие частоты [6]:

$$S = -\sum_{i=1}^{n} p_i \cdot \log_2(p_i),$$

где p_i — частоты.

Таким образом, получим выражение (в битах) энтропии показателя, представленного временным рядом данных. Найдем максимально возможную энтропию временного ряда как

$$S_{\max} = \log_2 \frac{1}{p} = \log_2 n.$$

На практике же часто используется нормированная энтропия, определяемая как

$$H^* = \frac{S}{S_{\max}},$$

где $S_{\max}$ — максимальная энтропия.

При этом значения нормированной энтропии будут лежать в диапазоне от 0 до 1. Можно ввести процентное определение энтропии $H^* \cdot 100\%$. Эта величина будет показывать процент используемой энтропии от максимально возможной при данном количестве наблюдений.

Вычислим энтропию некоторых показателей г. Тюмени (данные представлены областным комитетом по статистике) [15].

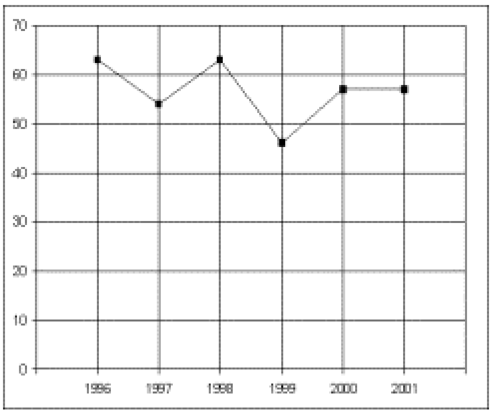

Рис. 4. Структура оборота розничной торговли непродовольственных товаров (%)

x_i	(40; 50)	(50; 60)	(60; 70)	å
m_i	1	3	2	
p_i^*	1/6	3/6	2/6	1

$$S = –(1/6 \times \log 1/6 + 3/6 \times \log 3/6 + 2/6 \times \log 2/6) = 0{,}437 \text{ Бит}$$

$$S_{max} = \log 6 = 0{,}778 \text{ Бит}$$

$$H^* = \frac{0{,}437}{0{,}778} = 0{,}561,$$

т. е. энтропия данного показателя составляет 56,1 % от максимально возможной при данном количестве измерений.

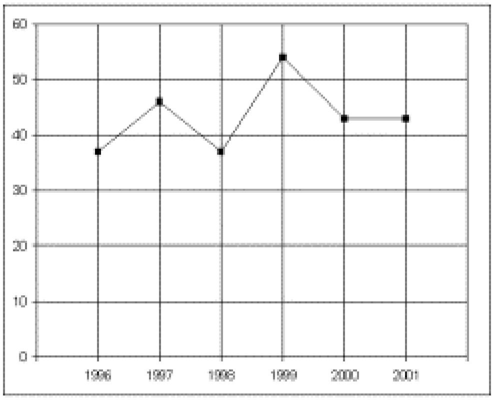

Рис. 5. Структура оборота розничной торговли продовольственных товаров (%)

x_i	(30; 40)	(40; 50)	(50; 60)	å
m_i	2	3	1	
p_i^*	2/6	3/6	1/6	1

$$S = –(2/6 \times \log 2/6 + 3/6 \times \log 3/6 + 1/6 \times \log 1/6) = 0{,}437 \text{ Бит}$$

$$S_{max} = \log 6 = 0{,}778 \text{ Бит}$$

$$H^* = \frac{0{,}437}{0{,}778} = 0{,}561.$$

Нужно отметить, что любое значение параметра, вычисленное на основе ограниченного числа опытов, будет, так или иначе, содержать элемент случайности. Желательно оценить полученные результаты для определения погрешности. Рассчитаем погрешность определения энтропии для первого временного ряда, рассмотренного выше. Для этого предположим, что измеряемая величина распределена по нормальному закону распределения. Найдем доверительный интервал с заданной доверительной вероятностью, т. е. определим такую величину e_b, для которой выполняется условие [6]

$$P\,(|M - m| < e_b) = b,$$

где M — среднее арифметическое значений; m — математическое ожидание; b — доверительная вероятность.

Доверительный интервал при этом запишется как [2]

$$I_b = (M - e_b;\ M + e_b).$$

e_b находится как произведение двух величин

$$e_b = t_b \times d_M,$$

где t_b — табличная величина, рассчитанная для b = (0,8–0,999); d_M — среднее квадратическое оценки параметра M.

Для нашего случая получаем:

$$M = \frac{1}{6}\sum_{i=1}^{6} x_i = 56{,}66.$$

Примем за начало отсчета $x_0 = 40$ и найдем d_M:

$$\delta_M = \sqrt{\bar{D}/_n}\ ,$$

где $$\bar{D} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - x_0)^2}{n} - [M - x_0]^2 \right) \cdot \frac{n}{n-1} = 40{,}267$$

$$\delta_M = \sqrt{40{,}267/_6} = 2{,}59$$

Возьмем доверительную вероятность, равную 90 %, $t_b = 1{,}643$.

$$e_b = t_b \times d_M = 1{,}643 \times 2{,}59 = 4{,}26.$$

$$M_1 = M - 4{,}26 = 52{,}4,$$

$$M_2 = M + 4{,}26 = 60{,}92,$$

$$I_b = (52{,}4;\ 60{,}92).$$

Значения параметра *m*, лежащие в интервале I_b, являются сравнимыми с опытными данными.

Определим энтропию случайной величины, распределенной по нормальному закону [6]:

$$S = \log\left(\frac{\sqrt{2\pi e}\,\delta}{\Delta x}\right).$$

$$Dx = 10,$$

$$d = ÖD,$$

$$S = \log\left(\frac{\sqrt{2\pi e}\cdot 6{,}35}{10}\right) = 0{,}4175$$ Бит.

Определим абсолютную и относительную погрешности измерения [7].

Абсолютная погрешность: $D = |S - S_{пр}| = |0{,}437 - 0{,}4175| = 0{,}0235.$

Относительная погрешность: $e = \frac{(S - S_{пр})}{S} = \frac{(0{,}437 - 0{,}4175)}{0{,}4175} = 0{,}056 =$ 5,6 %.

Для графической интерпретации энтропийных оценок можно воспользоваться «звездой ориентиров», предложенной Х. Босселем [3]. По осям «звезды» можно откладывать нормированные значения как энтропии, так и производства энтропии.

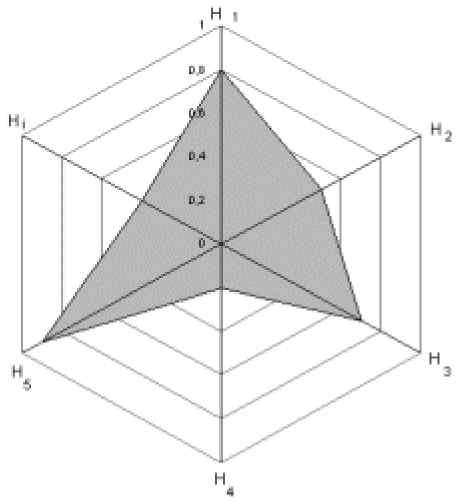

Рис. 6. Энтропийная звезда

Энтропийная звезда очень удобна для наглядного сравнения энтропий и производства энтропии различных подсистем города.

Следует отметить, что любая оценка программ развития сводится прежде всего к обработке и анализу показателей, и энтропия в этом случае является хорошим инструментом для практического применения.

Литература

1. *Агеев Е. П.* Неравновесная термодинамика в вопросах и ответах. М.: Эдиториал УРСС, 2001. 136 с.

2. *Базаров И. П.* Термодинамика. М.: Высш. шк., 1991. 412 с.

3. *Показатели* устойчивого развития: Теория, метод, практическое использование. Отчет, представленный на рассмотрение Балатонской группы / Авт. Х. Боссель. Пер. с англ. Под общ. ред. В. Р. Цибульского. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2001. 123 с.

4. *Быстрай Г. П.* Аналитическая макроэкономика: динамика неравновесных макроэкономических процессов. Екатеринбург: УрГУ, 1994. 71 с.

5. *Быстрай Г. П., Пивоваров Д. В.* Неравновесные макросистемы: целостность, эффективность, надежность. Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1989. 192 с.

6. *Вентцель Е. С.* Теория вероятностей: Учеб. для вузов. 7-е изд., стер. М.: Высш. шк., 2001. 575 с.

7. *Гмошинский В. Г.* Инженерное прогнозирование. М.: Энергоиздат, 1982. 208 с.

8. *Задачи* по термодинамике и статистической физике / Под ред. П. Ландсберга. Пер. с англ. Под ред. И. П. Базарова. М.: Мир, 1974. 640 с.

9. *Методика* оценки муниципальных программ социально-экономического развития / Фонд «Институт экономики города» // http://www.urbaneconomics.ru/

10. *Николис Г., Пригожин И.* Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979. 512 с.

11. *Попков Ю. С., Посохин М. В., Гутнов А. Э., Шмульян Б. Л.* Системный анализ и проблемы развития городов. М.: Наука, 1983.

12. *Попков Ю. С.* Элементы теории макросистем и ее приложения. М.: Препринт, Всесоюзный научно-исследовательский институт системных исследований, 1985. 79 с.

13. *Пригожин И.* Время, структура и флуктуации: Нобелевская лекция по химии 1977 года // Успехи физ. наук. 1980. Т. 131, вып. 2. С. 185–207.

14. *Самсонов Б. Б., Плохов Е. М., Филоненков А. И., Кречет Т. В.* Теория информации и кодирование. Ростов н/Д, 2002. 288 с.

15. *Тюмень* в цифрах: Стат. сб. / Тюменский областной комитет госстатистики. Тюмень, 2002. 184 с.

16. *Цибульский В. Р.* Неравновесная макросистемная модель развития территории (город, поселок) // Проблемы взаимодействия человека и природной среды. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2003. Вып. 4. С. 109–110.

17. *Эбелинг В.* Образование структур при необратимых процессах. М.: Мир, 1979. 179 с.

18. *Тюмень* начала XXI века. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2002. 335 с.

Yu. L. Solovyev

ENTROPY METHODS IN ASSESSING PROGRAMS OF CITY DEVELOPMENT

The author undertakes an attempt to use entropy criteria as instruments in assessing development programs and sustainability of city territories.

The article quotes types of non-equilibrium models with entropy criteria.

It also presents certain practices of calculating entropy production and information entropy basing on indicators of subsystems' state, after the example of Tyumen.