

Ю. Л. Соловьев

Оценка развития сети городов нефтегазодобывающих территорий Тюменской области

Анализируется сеть городов Тюменской области с использованием методов неравновесного термодинамического подхода и расширенного принципа локального неравновесия. Рассматриваются области локальной неравновесности сети городов Тюменской области. Приводятся основные принципы формирования диссипативных структур в рамках региона.

Для открытой макроэкономической системы (региона) в рамках однопродуктовой модели получено выражение, характеризующее приращение капитала на неравновесном рынке валового регионального продукта (ВРП) [1]:

$$\frac{d\Lambda^c(t)}{dt} = -K(\sigma^e(t) + \sigma^i(t))$$

где $\frac{d\Lambda^c(t)}{dt}$ — приращение капитала; $\sigma^i(t) = d_i S(t)/dt$ — функция предложения (производство продукции ВРП в рублевом исчислении); $\sigma^e(t) = d_e S(t)/dt$ — функция спроса (реализуемый спрос на ВРП в рублевом исчислении).

При этом интегральная скорость изменения состояния макросистемы равна сумме функций спроса и предложения [1]:

$$\frac{dS(t)}{dt} = G(t) = \frac{d_e S(t)}{dt} + \frac{d_i S(t)}{dt} \equiv \sigma^e(t) + \sigma^i(t).$$

Для устойчивых по Ляпунову состояний интегральная функция должна возрастать, т. е. для открытой неравновесной системы функция S должна увеличиваться [1]:

$$\frac{dS(t)}{dt} \geq 0; \quad \frac{d\Lambda^c(t)}{dt} \leq 0.$$

В стационарном состоянии производная приращения капитала должна иметь противоположный знак:

$$\frac{d\Lambda^c}{dt} \leq 0,$$

или тождественно равна нулю: $\sigma^e + \sigma^i = 0$, $\sigma^e \neq 0$, $\sigma^i \neq 0$, или $\frac{dS_i(t)}{dt} = -\frac{dS_e(t)}{dt}$. В соответствии с теоремой Ляпунова такое стационарное состояние региональной экономики будет устойчивым по Ляпунову. То есть, в устойчивом состоянии экономики региона производство валового регионального продукта равно реализуемому спросу на ВРП, или в стационарном состоянии внутренние и внешние экономические потоки региона уравновешены.

В связи с этим можно сказать, что производство валовой региональной продукции, являющейся функцией состояния внутренних процессов в регионе, уравновешивается внешним потоком, направленным в регион. Таковым вполне может быть суммарный поток внешних инвестиций, направленных в основной капитал региона. То есть инвестиционный поток есть внешнее приращение капитала (функции состояния региональной экономики). Таким образом, суммарный поток внешних инвестиций может быть эквивалентным замещением функции спроса на ВРП в рублевом исчислении.

Для экономики региона, когда спрос на ВРП исключен (т. е. при полном отсутствии внешних инвестиций), следует:

$$\frac{dS_e(t)}{dt} = 0; \quad \frac{dS(t)}{dt} = \frac{d_i S(t)}{dt} \geq 0; \quad \text{при } \frac{d\Lambda^c(t)}{dt} < 0,$$

где $\frac{dS_e(t)}{dt}$ — приток инвестиций.

Состояние макросистемы $\frac{dS}{dt}$ определяет функция предложения (производство валовой региональной продукции), при этом функция состояния не подверженной спросу системы (в отсутствии инвестиций) увеличивается. Такая система является (в рамках устойчивости по Ляпунову) устойчивой в бесконечном интервале времени (аналогично второму закону термодинамики для изолированных систем).

Из определения локального равновесия следует, что если процессы, возмущающие равновесие, менее интенсивны, чем процессы, которые формируют равновесие, то можно говорить с определенной степенью точности о локальном равновесии, т. е. о равновесии в физически бесконечно малом объеме. Точность такого утверждения будет тем выше, чем меньше отношение скорости изменения состояния за счет внешних условий к скорости восстановления равновесия за счет внутренних релаксационных процессов (однако существование локального равновесия еще не означает малости отклонения всей системы от равновесия) [2]:

$$\frac{J_e(t)}{J_i(t)} = \alpha,$$

где $J_e(t)$ — внешние потоки, $J_i(t)$ — потоки внутри системы. В этом случае α можно охарактеризовать как степень неравновесности макросистемы.

Проанализируем три области локальной неравновесности («А», «В» и «С»), выделенные для городов Тюменской области [3]. Примем за внешний возмущающий поток инвестиции, поступающие в каждую из трех зон; в качестве внутренних процессов, формирующих равновесие, — производство валовой городской продукции (ВГП). Результаты расчета для зон локальной неравновесности «А»–«С» [4] приведены в табл.

Для зоны «А» степень неравновесности

$$\alpha_A = \frac{31\,644,9}{184\,268,8} = 0,172.$$

Для зоны «В» степень неравновесности

$$\alpha_B = \frac{47\,565,8}{145\,941,3} = 0,326.$$

Для зоны «С» степень неравновесности

$$\alpha_C = \frac{38\,578,3}{266\,822,6} = 0,145.$$

Определение суммарных возмущающих потоков Зона локальной неравновесности «А»

Города, входящие в зону «А»	Инвестиции (млн руб.)	ВГП (млн руб.)
Урай	3911,9	11 454,9
Советский	3654	8804,4
Салехард	3398,5	2691,8
Радужный	3220,8	16 474,7
Покачи	2998,1	12 310,6
Пыть-Ях	2852,9	23 052,5
Лангепас	2459,2	12 864,4
Белоярский	2392,4	2574,2
Нягань	2029	11 554,9
Нефтеюганск	1975,6	23 779,1
Лабытнанги	683,9	2311,5
Тобольск	563,7	7667,6
Надым	475,6	20 509,9
Муравленко	407,5	13 717,7
Ишим	246	2562
Заводоуковск	133,8	1508,6
Ялуторовск	102	1451,4
Югорск	89,1	2397,6

Лянтор	50,9	29 633,5
Суммарные внешний и внутренний потоки	31 644,9	184 268,8

Зона локальной неравновесности «В»

Города, входящие в зону «В»	Инвестиции (млн руб.)	ВВП (млн руб.)
Ханты-Мансийск	10 150,9	4696,5
Мегион	9933,7	20 576,2
Губкинский	8345,9	15 919,2
Новый Уренгой	8267,8	42 707,6
Ноябрьск	5472,6	19 697,1
Тюмень	5394,9	42 344,7
Суммарные внешний и внутренний потоки	47 565,8	145 941,3

Зона локальной неравновесности «С»

Города, входящие в зону «С»	Инвестиции (млн руб.)	ВВП (млн руб.)
Нижневартовск	15 289,6	78 603,4
Когалым	13 982,9	73 633,3
Сургут	9305,8	114 585,9
Суммарные внешний и внутренний потоки	38 578,3	266 822,6

Таким образом, зона «В», образуемая городами Ханты-Мансийск, Мегион, Губкинский, Новый Уренгой, Ноябрьск, Тюмень, является наиболее неравновесной по сравнению с другими зонами. Степени неравновесности зон «А» и «С» приблизительно равны (0,172 и 0,145 соответственно), однако почти в 2,5 раза ниже, чем у зоны «В».

Вероятнее всего, в городах зоны локального неравновесия «В» происходят процессы, приводящие к смещению их общего развития в более неравновесную область. Можно также предположить, что в зонах «А» и «С» (зоны с небольшим отклонением от равновесия) существует линейная зависимость между потоками и силами.

Ввиду сложности открытых систем в них возможно образование различного рода структур [5]. Новые структуры могут вести к самоорганизации. Самоорганизация — прежде всего свойство открытых систем. При этом именно неравновесность служит источником упорядоченности [6].

При анализе процессов самоорганизации нельзя пользоваться представлениями линейной термодинамики необратимых процессов. Предположение о существовании линейной зависимости между потоками и силами здесь оказывается несправедливым, формирование диссипативных структур происходит вдали от равновесия.

Перечислим условия, необходимые для возникновения неравновесных фазовых переходов (образования новых диссипативных структур) [5]:

- 1) диссипативные структуры могут образовываться только в открытых системах;
- 2) диссипативные структуры возникают в макроскопических системах;
- 3) диссипативные структуры возникают лишь в системах, описываемых нелинейными уравнениями для макроскопических функций (вдали от равновесия);
- 4) для возникновения диссипативных структур нелинейные уравнения должны при определенных значениях управляющих параметров допускать изменение симметрии решения.

Как видно, все эти условия вполне могут выполняться в рамках региона (сети городов).

Поскольку реальная физическая система при образовании диссипативных структур обменивается с окружающей средой только теплом (например, образование ячеек Бенара), то она отдает энтропию окружающей среде. То есть образование диссипативных структур поддерживается за счет отрицательной энтропии.

Для математического описания всех трех зон локального неравновесия Тюменской области, полученных экспериментальным путем, можно использовать интегральную модель.

Для классических уравнений закона сохранения энергии

$$\rho \frac{dQ}{dt} = -\nabla q,$$

закона Гиббса

$$dS = \frac{1}{T} dQ$$

и уравнения баланса энтропии

$$\rho \frac{dS}{dt} + \nabla J_s = \sigma_s$$

соответствующие интегральные уравнения имеют вид [7]:

$$\rho [Q(x, t + \tau) - Q(x, t)] = \frac{1}{\Omega} \int_t^{t+\tau} \int_{\Omega} q(x, t) d\Omega dt,$$

$$S(x, t + \tau) - S(x, t) = \frac{1}{T} [Q(x, t + \tau) - Q(x, t)],$$

$$\rho [S(x, t + \tau) - S(x, t)] + \frac{1}{\Omega} \int_t^{t+\tau} \int_{\Omega} J_s(x, t) d\Omega dt = \int_t^{t+\tau} \int_{\Omega} \sigma_s(x, t) d\Omega dt,$$

где J_s — поток энтропии; σ_s — производство энтропии; τ — временной масштаб нелокальности; Ω — объем и Ω — поверхность, соответствующие линейному масштабу нелокальности h , т. е. $\Omega \sim h^3$ и $\Omega \sim h^2$.

Следует отметить, что эти уравнения нелокальны не только в пространстве, но и во времени, так как скорости энергии и энтропии заменены на конечные разности с характерным масштабом нелокальности τ .

Модель экономического развития сети городов может быть представлена в следующей форме [8]:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \alpha xy - \gamma y \left(k + \frac{1}{\tau} \right) x, \\ \frac{dy}{dt} = \varepsilon xy - \eta y. \end{cases} \quad (1.1)$$

Здесь αxy — прирост валового продукта в единицу времени, обусловленный вовлечением в процесс производства трудового ресурса и созданной стоимости; $-\beta y^2$ — расход валового продукта на организационные взаимодействия работников материального производства; γy — потеря валового продукта

из-за простоев; $-kx$ — непроизводительные расходы системы в единицу времени; $\frac{x}{\tau}$ — потеря валового продукта с долговечностью τ из-за его физического износа и морального старения; εxy — прирост трудового ресурса пропорционально его наличному количеству и достигнутому уровню валового продукта; $-\eta y$ — выбывание трудового ресурса из производственной деятельности в единицу времени ввиду выхода

на пенсию, болезни и т. д. Коэффициенты $\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon, \eta, k, \frac{1}{\tau}$ — эффективности названных процессов, которые считаются положительными константами.

Систему уравнений следует рассматривать на фазовой плоскости $x > 0, y > 0$.

Для оценки устойчивости системы необходимо определить величины σ и Δ :

$$\sigma = \alpha \tilde{y} - \left(k + \frac{1}{\tau} \right),$$

$$\Delta = \pm \varepsilon \tilde{y} \sqrt{\gamma^2 - \frac{2\gamma\alpha\eta}{\varepsilon} + \frac{\alpha^2\eta^2}{\varepsilon^2} - \frac{4\beta\eta(k+1/\tau)}{\varepsilon}}.$$

Для того чтобы система была устойчива, Δ должно быть положительной величиной. Для этого

необходимо выполнение следующих условий (при $\tilde{y} > 0$):

$$\frac{\alpha\eta}{\varepsilon} > \gamma,$$

$$\gamma^2 - \frac{2\gamma\alpha\eta}{\varepsilon} + \frac{\alpha^2\eta^2}{\varepsilon^2} - \frac{4\beta\eta(k+1/\tau)}{\varepsilon} > 0,$$

$$\tilde{y} = \frac{-(\gamma - \alpha\eta/\varepsilon) + \sqrt{(\gamma - \alpha\eta/\varepsilon)^2 - 4\beta\eta(k+1/\tau)/\varepsilon}}{2\beta}.$$

Выражения для \tilde{y} и $\tilde{\sigma}$ показывают, что эффективность роста валового продукта α в экономической системе должна быть достаточно высокой, иначе может появиться дефицит трудового ресурса.

Включенному в экономическую систему трудовому ресурсу приписывается определенное значение энтропии, а все то, что вне его и с чем он имеет дело и взаимодействует, характеризуется как внешняя среда. К этой среде относятся не только природные ресурсы, которые он разрабатывает и осваивает, но и созданные его трудом машины, технология, информация и т. д. При этом энтропия может быть представлена как

$$S = S_0 L,$$

где L — трудовой ресурс.

Считаем, что энтропия экономической системы уменьшается лишь в случае производительного взаимодействия трудового ресурса с окружающей средой.

Модель, в которой сформирован поток энтропии, представлена системой уравнений [8]:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = k_1 S x - k x, \\ \frac{dS}{dt} = -\alpha S x + \beta S^2 + \gamma S + \delta(x - \bar{x}), \end{cases} \quad (1.1)$$

где $k_1 S x$ означает, что прирост совокупного продукта x осуществляется при данной степени разупорядоченности производства $S(t)$ и достигнутого уровня производства $x(t)$; $-k x$ означает, что совокупный (валовой) продукт уменьшается с ростом его непроизводительного потребления.

Второе уравнение для $\frac{dS}{dt}$ описывает поток изменения энтропии S . В этом уравнении $-\alpha S x$ показывает, что экономические системы понижают энтропию системы S , организуя (упорядочивая) производство совокупного (валового продукта); в результате процессов βS^2 (организационные взаимодействия) решаются вопросы производственного характера; экономический смысл γS заключается в том, что увеличение простоев увеличивает энтропию системы; \bar{x} — платежеспособный спрос (денежные ресурсы потребителей), а превышение x над \bar{x} увеличивает энтропию системы (смысл члена $\delta(x - \bar{x})$).

В состоянии равновесия:

$$\tilde{S} = \frac{k}{k_1}, \quad \tilde{x} = \frac{\beta(k/k_1)^2 + \gamma(k/k_1) - \delta\bar{x}}{-\delta + \alpha(k/k_1)}. \quad (1.2)$$

Для оценки устойчивости величины δ и Δ определяются как

$$\delta = -\alpha\tilde{x} + 2\beta\tilde{S} + \gamma,$$

$$\Delta = -k_1 x (-\alpha\tilde{S} + \delta) = k_1 \left[-\delta\bar{x} + \beta \left(\frac{k}{k_1} \right)^2 + \gamma \left(\frac{k}{k_1} \right) \right]. \quad (1.3)$$

Следует также отметить, что экономическое развитие нефтегазодобывающих территорий напрямую связано с эффективным использованием природных ресурсов. Процесс ценообразования природных ресурсов (таких, как нефть и газ) можно представить следующей моделью:

$$c = \frac{j}{a - \gamma/\tau} = \frac{j + \gamma/\tau}{a},$$

где j — платежеспособный спрос на природные ресурсы (нефть, газ); a — добыча этих ресурсов в год; γ, γ — запасы природных ресурсов (которые уже добыты) соответственно в натуральном и стоимостном выражении; τ — среднее время использования природных ресурсов, добытых из недр Земли.

Литература

1. Быстрый Г. П., Соловьев Ю. Л., Ветошкин А. В. Принцип расширенного локального неравновесия в моделях городов // Проблемы взаимодействия человека и природной среды Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2004. Вып. 5. С. 15–23.
2. Осипов А. И. Термодинамика вчера, сегодня, завтра. Ч. 2. Неравновесная термодинамика // Соросовский образоват. журн. 1999. № 5.
3. Цибульский В. Р., Соловьев Ю. Л., Менова Н. Ф. Макросистемная модель сети городов нефтегазодобывающих территорий на примере Тюменской области // Проблемы взаимодействия человека и природной среды. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2004. Вып. 5. С. 9–14.
4. Города Тюменской области: Стат. сб./ Тюм. обл. комитет госстатистики. Тюмень, 2002. 386 с.
5. Климонтович Ю. Л. Введение в физику открытых систем // Соросовский образоват. журн. 1996. № 8.
6. Пригожин И., Николис Г. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1973.
7. Соболев С. Л. Локально-неравновесные модели процессов переноса // Успехи физических наук. М.: Наука, 1997. Т. 167.
8. Милованов В. П. Неравновесные социально-экономические системы: синергетика и самоорганизация. М.: Эдиториал УРСС, 2001. 264 с.

Yu. L. Solovyev

DEVELOPMENT EVALUATION OF URBAN NETWORK WITHIN OIL-AND-GAS-PRODUCING TERRITORIES OF TYUMEN OBLAST

The article considers urban network of Tyumen Oblast. The applied methods include non-equilibrium thermodynamic approach as well as an extended principle of local non-equilibrium state. The author describes areas of local non-equilibrium state for urban network of Tyumen Oblast, introducing the essential principles of building up dissipative structures within the region.