

# Метод графов в разработке основ территориальной организации технологических процессов

Г. Г. Шалмина, Н. В. Кулешова

Рассматриваются методы проведения расчётных операций в системе связей: природный объект – технологическая цепочка по освоению природных ресурсов до получения товарного сырья и продуктов – соответствующие сегменты рынка (потребителей). Формулируется содержание основных положений методического подхода, и приводятся алгоритмы решения поставленных задач.

*Ключевые слова:* территориальная организация производства, метод графов, абрисный анализ, технологическая цепочка.

## 1. Введение

Аналитический обзор методических подходов к решению задач, рассматриваемых в статье, несмотря на их нарастающую актуальность, показал, что они опираются в основном на линейное программирование с использованием ограниченного набора факторов. Практически влияние природного потенциала на процессы территориальной организации не учитывается. Методический подход к комплексному размещению технологических процессов, отдельные положения которого приведены в статье, апробирован на примерах территориальной организации технологических цепочек по освоению ресурсов недр [1, 2].

Задача может решаться несколькими способами:

- по типу производственно-транспортных задач с применением линейного программирования;
- сбалансированной системы пространственных связей с введением вектора расстояний;
- методом последовательного выбора контрагентов и партнёров долевого участия в развитии производства [3].

Возможность решения задачи рассматривается на примере комплексной оценки технологических цепочек освоения ресурсов недр. В основу разработки сценариев освоения и выбора из них, обеспечивающих наибольший социально-экономический эффект от эксплуатации природного объекта, принимается системный подход к оценке связей: объект оценки – технологическая цепочка его освоения – потребитель. Задача решается с применением метода графов в сочетании с абрисным анализом.

## 2. Разработка графа – технологической цепочки

Технологическую цепочку по освоению природного объекта представим в виде ориентированного графа, содержащего результаты абрисного анализа. Вершинам графа соответствуют элементы природного потенциала (отдельные звенья технологической цепочки), а дугам (рёбрам) – состояние природной среды по направлениям связей: природный ресурс – технологическая цепочка его освоения до получения товарного сырья и конечного продукта – потребитель.

Геометрически вершины графа изображаются в виде точек, кружков, прямоугольников и т. п., а дуги – в виде линий, соединяющих эти точки, что позволяет дать наглядное изобра-

жение графа (рис. 1.). По каждой дуге проходит соответствующая субстанция (поток вещества, товары, услуги и т. п.) только одного вида; если имеются несколько видов веществ, то каждому из них будет соответствовать отдельная дуга.

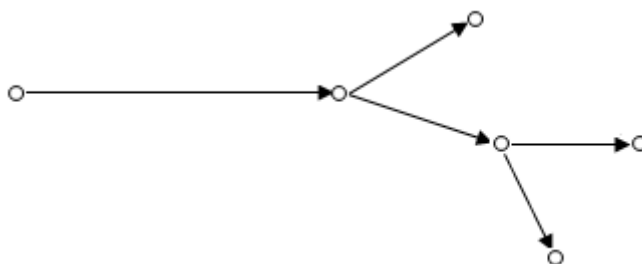


Рис. 1. Пример геометрического представления ориентированного графа

Каждое звено технологической цепочки представляет объект типовой математической модели, которая включает понятие входного потока ресурсов (сырья, товаров, услуг и т. п.), поступающего на вход цепочки и звена, и выходного потока – полезной продукции, «отходов», получаемых на выходе цепочки или звена. Поток задаются в векторной форме.

Схема типового звена производственной цепочки в общем виде представлена на рис. 2(а), в форме вершины графа – на рис. 2(б), где  $j$  – номер звена;  $k$  – номера входящих дуг (потоков);  $m$  – номера выходящих дуг (потоков).

Обозначим:  $\vec{M}_{\text{вх}}^j = M_k^j$ , где  $M_k^j$  – входной поток ресурсов (сырья, товаров, услуг и т. п.), поступающий в звено по  $k$ -й входящей дуге;  $\vec{M}_{\text{вых}}^j = M_m^j$ , где  $M_m^j$  – поток продукции, выходящий по дуге  $m$ ;  $\vec{M}_{\text{экол}}^j$  – выбросы в окружающую среду.

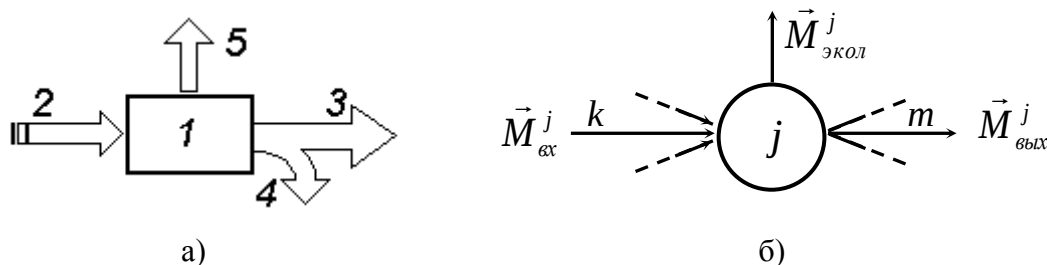


Рис. 2. Типовое звено производственной цепочки

1 – звено; 2 – входной поток  $\vec{M}_{\text{вх}}$ ; 3 – выходной поток целевого назначения; 4 – выходной поток нецелевого назначения («отходы»); 5 – выбросы в окружающую среду.

Вершины и рёбра графов подразделяются на фиксированные, т.е. имеющие определённые географические координаты, подвижные (территориальное размещение которых не определено) и виртуальные [4]. В качестве виртуальных вершин могут рассматриваться источники финансирования, информационные потоки и объекты управления, а также источники или получатели (рынки) товарного сырья, продукции и прочие, в том числе отсутствующие в границах рассматриваемой территории. Рёбра графов содержат информацию о состоянии природного потенциала и технологических процессах в системе связей: источник – поставщик исходного ресурса – технико-экономическая информация о составляющих его звеньях – изменчивости условий размещения звеньев в заданном направлении связей до получения конечного продукта и доставки его потребителю.

Выбор направлений по территориальной организации производства осуществляется с учётом рыночных ограничений на основе системы критериев.

Пример графа в сочетании с результатами абрисного анализа приводится на рис. 3.



Рис. 3. Схема графа с отображением состояния природной среды в интервале размещения производственных звеньев: источник сырья – потребитель продукта

### 3. Экономико-математическое описание постановки задачи

#### 3.1. Постановка задачи

Пусть  $n$  – номер вершины графа (номер технологического звена, потребителя, включая точки пересечения),  $m$  – номер дуги, соответствующий потоку вещества (товаров, услуг) между двумя соседними вершинами. Будем считать, что по каждой дуге  $m$  проходит поток вещества, товаров, услуг только одного  $i$ -го вида:

$M_{m,i}^0$  – мощность потока в начале дуги;

$M_{m,i}^k$  – мощность потока в конце дуги.

При этом  $M_{m,i}^0 \geq M_{m,i}^k$ .

При отсутствии потерь при транспортировке  $M_{m,i}^0 = M_{m,i}^k$ ; при наличии потерь вещества их величина определяется по формуле

$$\Delta M_{m,i} = M_{m,i}^0 - M_{m,i}^k = \beta_{m,i} M_{m,i}^0 > 0, \quad (1)$$

где  $\beta_{m,i}$  – коэффициент технологических потерь,

$$\beta_{m,i} = \frac{M_{m,i}^0 - M_{m,i}^k}{M_{m,i}^0}. \quad (2)$$

Для виртуальных дуг задаётся условие  $\beta_{m,i} = 0$ , т. е.  $M_{m,i}^0 = M_{m,i}^k = M_{m,i}$ , и составляется баланс мощностей по звеньям для всей производственной цепочки.

Капитальные вложения распределяются по графу  $\Gamma_{мер}$  в соответствии с границами изменения природных условий, влияющих на экономику производственного процесса.

В расчётах используются балансовые соотношения затрат по всем вершинам (звеньям цепочки) и дугам (пути транспортировки).

Подсчёт суммарных совокупных затрат осуществляется одновременно с размещением подвижных вершин и дуг.

Общий объём капиталовложений, необходимый для функционирования размещаемых или на поддержание развития действующих звеньев производства, определяется по формуле

$$K_{\sigma} = \sum_{n=1}^N K_{i,\sigma}^{(n)} = \sum_{n=1}^N K_{i,n}^{cm} + K_{i,n}^{ob} + K_{i,n}^{un} + K_{i,n}^{ox} \cdot \eta_{i,n}, \quad (3)$$

где  $K_{i,n}^{cm}$  – капитальные вложения на строительно-монтажные работы;

$K_{i,n}^{ob}$  – капитальные вложения в обустройство трудящихся;

$K_{i,n}^{un}$  – капитальные вложения в инфраструктуру;

$K_{i,n}^{ox}$  – капитальные вложения в охрану окружающей среды;

$\eta_{i,n}$  – коэффициент корректировки капитальных вложений, учитывающий влияние природной среды на экономику функционирования рассматриваемого звена  $n$  технологической цепочки.

Т. е. с введением  $\eta_{i,n}$  все составляющие  $K_{\sigma}$  корректируются с учётом влияния на экономику функционирования процесса природных условий в пунктах возможного размещения  $n$ -го звена.

Величина текущих затрат определяется нарастающим итогом на основе схемы территориальной организации звеньев технологической цепочки, которая описывается следующим образом.

Обозначим через  $L_n = X_n, Y_n$  координаты размещения на территории каждой реальной вершины  $n$ . Путь из вершины  $n_1$ , имеющей координаты  $L_{n_1} = X_{n_1}, Y_{n_1}$ , в вершину  $n_2$  с координатами  $L_{n_2} = X_{n_2}, Y_{n_2}$  обозначим через  $U_m^{\alpha} P$  ( $m$  – соответствующая дуга,  $\alpha$  – траектория дуги  $m$ ). Если дуга зафиксирована (совпадает с действующим транспортным путём), то  $U_m^{\alpha} P$  не зависит от  $\alpha$ . Параметр  $P$  всегда изменяется от 0 до 1, причём при  $P=0$  отметка пути  $U_m^{\alpha} P$  совпадает с началом дуги, т. е. лежит в точке  $L_{n_1}$ , а при  $P=1$  совпадает с концом дуги – лежит в точке  $L_{n_2}$ .

Таким образом, путь  $U_m^{\alpha} P$  можно трактовать как вектор-функцию от  $P$ :

$$U_m^{\alpha}(P) = U_{m,x}^{\alpha}, U_{m,y}^{\alpha}, \quad 0 < P < 1,$$

причём

$$U_{m,x}^{\alpha} 0 = X_{n_1}, \quad U_{m,y}^{\alpha} 0 = Y_{n_1}, \quad U_{m,x}^{\alpha} 1 = X_{n_2}, \quad U_{m,y}^{\alpha} 1 = Y_{n_2}.$$

Тогда длина пути из вершины  $n_1$  в вершину  $n_2$  по траектории  $U_m^{\alpha}$  будет:

$$L_m^{\alpha} = \int_0^1 dl_m^{\alpha},$$

где  $dl_m^\alpha$  – приращение длины пути.

$$dl_m^\alpha = \sqrt{\left(\frac{d}{dP} U_{m,x}^\alpha\right)^2 + \left(\frac{d}{dP} U_{m,y}^\alpha\right)^2} dP. \quad (4)$$

Для каждой дуги  $m$  себестоимость единицы  $i$ -го вида продукции –  $S_{m,i}^0$  в начале дуги, а  $S_{m,i}^k$  – в конце дуги (точка завершения транспортировки). Для виртуальных дуг принимается:  $S_{m,i}^0 = S_{m,i}^k = S_{m,i} \geq 0$ , для реальных (если продвижение потока начинается от начала дуги к вершине):  $S_{m,i}^k > S_{m,i}^0$ .

Обозначаем через  $S^T(x, y)$  удельные затраты на транспортировку единицы продукции или сырья на единицу длины пути с координатами  $(x, y)$ :

$$S^T(x, y) = t \cdot k_{сез} + S^{ox} / L_m^\alpha, \quad (5)$$

где  $t$  – тариф перевозок рассматриваемым видом транспорта;

$k_{сез}$  – сезонный коэффициент к затратам на транспортировку;

$S^{ox}$  – удельные затраты на компенсацию экологического ущерба.

Из формулы (5) видно, что величина приращения транспортных затрат к себестоимости в конечной точке дуги может быть определена по формуле

$$\Delta SM_{m,i} = S_{m,i}^k \cdot M_{m,i}^k - S_{m,i}^0 \cdot M_{m,i}^0 = M_{m,i}^0 \cdot \int_0^1 S_m^T(x, y) dl_m^\alpha. \quad (6)$$

Используя формулу (6), можно определить затраты на транспортировку как дополнительные к себестоимости в конце пути. Тогда себестоимость единицы продукции (сырья, продукта, услуг) в конце дуги продвижения звена определяется по формуле

$$S_{m,j}^k = \frac{S_{m,j}^0}{1 - \beta_{m,j}} + \frac{1}{1 - \beta_{m,j}} \int_0^1 S_m^T(x, y) dl_m^\alpha. \quad (7)$$

Рассчитаем баланс совокупных затрат на производство единицы продукции:

$$\psi_{m,i}^k \cdot M_{m,i}^k - \psi_{m,i}^0 \cdot M_{m,i}^0 = \Delta \psi M_{m,i}, \quad (8)$$

где  $\psi_{m,i}^0$  – совокупные приведённые затраты на производство единицы продукции  $i$ -го вида на входе дуги  $m$  (начало транспортного пути);

$\psi_{m,i}^k$  – приведённые затраты на производство и доставку  $i$ -го вида продукции к следующему звену цепочки (или потребителю) по дуге  $m$  (конец пути);

$\Delta \psi M_{m,i}$  – суммарные приведённые совокупные затраты на транспорт (включая дополнительное строительство и другие затраты, отнесённые, по предположению, к дуге  $m$ ). Если дуга  $m$  совпадает с направлением действующего транспортного пути, капитальные вложения на строительство дорог  $K_m^T = 0$ . В противном случае  $K_m^T$  зависит от условий строительства дороги.

На результаты исследования, как следует из практики экономических показателей функционирования производств, влияет экологическое состояние среды размещения производства.

Экологическое состояние среды учитывается в виде соответствующих ограничений.

Обозначим:

$R_n^+$  – множество номеров дуг, входящих в вершину  $n$ ;

$R_n^-$  – множество номеров дуг, выходящих из вершины  $n$ .

Экологическая ёмкость среды в точке с координатами  $(x, y)$ :

$$\vec{E}^{экол} = \vec{E}^{экол}(x, y) = E^{атм}(x, y), E^{нов}(x, y), E^{вод}(x, y), \quad (9)$$

где  $E^{атм}$  – экологическая ёмкость атмосферы в точке  $(x, y)$ ,

$E^{нов}$  – экологическая ёмкость почвы (поверхности) в точке  $(x, y)$ ,

$E^{вод}$  – экологическая ёмкость водной среды в точке  $(x, y)$ .

Если в данной точке какая-либо из компонент отсутствует, то  $E = 0$ .

Для каждой вершины  $n$  накладываются ограничения:

$$\vec{M}_n^{экол} \leq \vec{E}_n^{экол}, \quad (10)$$

где  $\vec{E}_n^{экол}$  – экологическая ёмкость среды в вершине (звене)  $n$ ,

$\vec{M}_n^{экол}$  – вектор суммарных поступлений загрязняющих ингредиентов в окружающую среду из вершины  $n$ .

$$\vec{M}_n^{экол} = \sum_{m_1 \in R_n^+} \vec{\beta}_{m_1}^{экол} \cdot M_{m_1}^0, \quad (11)$$

где  $\vec{\beta}_{m_1}^{экол} = (\vec{\beta}_{m_1}^{атм}, \vec{\beta}_{m_1}^{нов}, \vec{\beta}_{m_1}^{вод})$  – вектор долей проходящего по дуге  $m_1$  вещества ( $m_1 \in R_n^+$ ), поступающего в атмосферу в виде отходов, выделений и т. п. ( $\vec{\beta}_{m_1}^{атм}$ ); на поверхность почвы ( $\vec{\beta}_{m_1}^{нов}$ ); в водную среду – поверхностные и подземные воды ( $\vec{\beta}_{m_1}^{вод}$ ).

### 3.2. Балансовые соотношения

В вершинах полного графа составляется баланс соотношения показателей.

Баланс соотношения показателей для случая, когда из вершины  $n$  по дуге  $m$  выходит одно вещество целевого назначения, представляем с применением следующей формулы

$$1 - \beta_{m_1, i}^n \cdot M_{m_1, i}^0 = f_{m_2, i}^{m_1} \cdot M_{m_2, i}^0, \quad (12)$$

где  $m_1 \in R_n^+$ , а  $\beta_{m_1, i}^n$  – коэффициент потерь в звене  $n$  вещества, поступающего по дуге  $m_1$ ;

$f_{m_2, i}^{m_1}$  – расход ресурса, сырья, поступающего по дуге  $m_1$  ( $m_1 \in R_n^+$ ) на единицу выходного целевого  $i$ -го вещества. Считая схему территориальной организации звеньев по целевому продукту сформированной, рассмотрим вариант, по которому из вершины  $n$  выходит несколько потоков вещества (товаров, услуг) целевого и нецелевого назначения. Через  $R_n^{блх}$  обозначим множество номеров дуг, по которым потоки выходят,  $R_n^{блх} \subseteq R_n^-$ . Тогда вместо формулы (12) будем иметь:

$$1 - \beta_{m_1, i}^n \cdot M_{m_1, i}^0 = \max_{m_2 \in R_n^{блх}} f_{m_2, i}^{m_1} \cdot M_{m_2, i}^0, \quad m_2 \in R_n^{блх}, \quad m_1 \in R_n^+. \quad (13)$$

По всем потокам целевого назначения выбирается максимум.

Баланс затрат для каждой вершины  $n$  будет выглядеть следующим образом (если первое слагаемое определяется нарастающим итогом):

$$\sum_{m_2 \in R_n^{\text{голл}}} \Psi_{m_2}^0 M_{m_2}^0 = \sum_{m_1 \in R_n^+} \Psi_{m_1}^k M_{m_1}^k + \Psi_n(x, y), \quad n \in \Gamma_{\text{мер}}, \quad (14)$$

где  $\Psi_n(x, y)$  – суммарные приведённые затраты в звене  $n$ , размещённом в точке с координатами  $(x, y)$ .

Рассмотрим всю совокупность вершин  $n$  полного графа  $\Gamma_{\text{мер}}$ . Из формулы (14) следует, что прирост затрат на производство продукции в каждой вершине  $n \in \Gamma_{\text{мер}}$  равен величине  $\Delta\Psi_n^{\text{мер}} = \Psi_n(x, y)$ , а прирост затрат при транспортировке продукции по каждой дуге  $m \in \Gamma_{\text{мер}}$  в соответствии с формулами (4), (6), (8) составит:

$$\Delta\Psi M_m = M_m^0 \cdot \int_0^1 S_m^\alpha(x, y) dl_m^\alpha + E_m K_m^T. \quad (15)$$

Таким образом, суммарные приведённые затраты по всем видам производимой на территории продукции будут определяться функционалом:

$$\Psi_{\text{мер}} = \sum_{n \in \Gamma_{\text{мер}}} \Psi_n(x, y) + \sum_{m \in \Gamma_{\text{мер}}} \Delta\Psi_m^k M_n(x, y), \quad (16)$$

где первая сумма (по  $n$ ) берётся по всем вершинам, а вторая сумма (по  $m$ ) – по всем дугам полного графа системы  $\Gamma_{\text{мер}}$ .

Оперируем с приростом затрат при движении вещества от звена к звену, т.е. сумма всех приращений (6) и (8) будет представлять совокупные приведённые затраты по территориальным графам рассматриваемой части территории.

Такой подход к решению задачи по размещению вершин (звеньев производства) и дуг (путей транспортировки) полного графа  $\Gamma_{\text{мер}}$  по территории обеспечивает определение минимума функционала  $\Psi_{\text{мер}}$  при заданном потоке распределения и является вариантом территориальной организации производства, обеспечивающим минимум приведённых совокупных затрат по рассматриваемой части территории в целом.

К завершению оценки по виртуальным дугам накапливается информация об избытке продукции, возможных экспорте, импорте и о продуктах нецелевого назначения («отходах»), которые можно реализовать на внутренних рынках или использовать в производстве.

Для частей территории, где транспортные магистрали могут выдерживать необходимые дополнительные нагрузки, функция  $S_m(x, y)$  будет иметь наименьшее значение, что при минимизации способствует выбору, в первую очередь, именно этих транспортных путей. Влияние экологических факторов или необходимость строительства дороги отражается на функции в сторону повышения её значений, что делает выбор соответствующего варианта менее предпочтительным. Для всех «неудобных» точек территории значение  $S_m(x, y)$  можно полагать достаточно большим (например, равным стоимости транспортировки по воздуху) или равным  $+\infty$  (запрещённые направления), что практически заведомо исключает выбор такого варианта.

Аналогично, величина  $\Psi_n(x, y)$  будет достаточно мала (в разумных пределах) для тех зон территории, где размещение данного производства удобно; влияние экологического фактора или строительства в новом месте обуславливает увеличение значений  $\Psi_n(x, y)$ , а заве-

домо неподходящие точки размещения звена можно «отсекать», приравнивая их значение  $\Psi_n(x, y) = +\infty$ .

После формирования схемы связей проводится оценка её по максимуму чистой прибыли.

Для каждого звена (объекта) определяем критерий сравнения в полном или усечённом виде, в зависимости от характера рассматриваемых объектов и постановки задачи, включая вариант долевого распределения себестоимости. Проводим ранжирование и определяем пространственную увязку звеньев. Объекты (вершины) верхних рангов условно назовем объектами перспективного плана развития системы. Критерий чистой прибыли рассчитывается для каждого объекта или звена, вошедшего в план перспективного развития.

По варианту «спонтанного» распределения объектов (производственных звеньев) экономический эффект ( $\mathcal{E}_n$  – условная чистая прибыль) на выходе каждого звена, источника  $i$ -го сырья, продукта, услуг по дуге  $m_2$  определяется по формулам:

$$\mathcal{E}_{m_2, i}^0 = Z_{m_2, i}^0 - \Psi_{m_2, i}^0 \cdot M_{m_2, i}^0, \quad m_2 \in R_n^{6blx}, \quad (17)$$

$$\mathcal{E}_n = \sum_{m_2 \in R_n^{6blx}} \mathcal{E}_{m_2, i}^0 = \sum_{m_2 \in R_n^{6blx}} (Z_{m_2, i}^0 - \Psi_{m_2, i}^0 \cdot M_{m_2, i}^0), \quad (18)$$

где  $\Psi_i^0 = \Psi_i^0(j)$  – нижний уровень затрат на производство единицы сырья, продукта, услуг  $i$ -го вида в звене  $n$  по  $j$ -й технологии;

$Z_{m_2, i}^0$  – цена реализации  $i$ -го вида продукции (сырья, товаров, услуг) на выходе из звена (вершины)  $n$  по дуге  $m$ ,

$\mathcal{E}^n$  – суммарный эффект от реализации всех видов продукции ( $i=1, \dots, N$ ) на выходе из звена  $n$ .

Суммарный эффект от реализации всех видов продукции, произведенной на данной территории, равен

$$\mathcal{E}_{тер} = \sum_{n \in \Gamma_{тер}} \mathcal{E}^n, \quad (19)$$

где сумма берётся по всем вершинам полного графа  $\Gamma_{тер}$  (т. е. по всем цепочкам и звеньям производства).

При отрицательном или недостаточном значении  $\mathcal{E}_{тер}$  концепция развития системы или ее отдельных составляющих пересматривается.

Формулы (17) – (19) содержат в себе (в неявном виде) предположение, что реализация всей товарной продукции может происходить на выходе каждого звена  $n$ .

Подставляя в формулу (19) выражение (18) и используя балансовые соотношения транспортных затрат и затрат в вершинах (звеньях), аналогичные (8), (14), получаем:

$$\mathcal{E}_{тер} = \sum_{n \in \Gamma_{тер}} \mathcal{E}^n = \sum_{n \in \Gamma_{тер}} \sum_{m \in R_n^{6blx}} Z_m^0 \cdot M_m^0 - \sum_{n \in \Gamma_{тер}} \sum_{m \in R_n^+} Z_m^0 \cdot M_m^0 - \left( \sum_{n \in \Gamma_{тер}} \Psi_n + \sum_{m \in \Gamma_{тер}} \Delta \Psi M_m \right), \quad (20)$$

где  $\Delta \Psi M_m$  и  $\Psi_n(x, y)$  определены выше (см. (14), (15)).

Так как (по определению) транспортные издержки для виртуальных дуг  $\Delta \Psi M_m = 0$ , то

$$\sum_{n \in \Gamma_{тер}} \sum_{m_2 \in R_n^{6blx}} \Delta \Psi M_{m_2} = \sum_{m \in \Gamma_{тер}} \Delta \Psi M_{m_2}.$$

Тогда выражение (20) с учётом (16) преобразуется к виду:

$$\mathcal{E}_{тер} = \sum_{n \in \Gamma_{тер}} \sum_{m_2 \in R_n^{блх}} Z_{m_2}^0 \cdot M_{m_2}^0 - \sum_{n \in \Gamma_{тер}} \sum_{m_1 \in R_n^+} Z_{m_1}^0 \cdot M_{m_1}^0 - \Psi_{тер}. \quad (21)$$

Здесь величина  $\Psi_{тер}$  представляет собой суммарный уровень затрат на производство всех видов продукции, товаров, услуг на территории. Таким образом,  $\Psi_{тер}$  является гибкой, динамичной (балансовой) характеристикой.

По варианту, предполагающему выход на внешний рынок, предлагается проведение дополнительных расчётных операций.

Обозначим через  $V_{блх}$  множество всех виртуальных вершин графа  $\Gamma_{тер}$ , в которые входит хотя бы одно ребро с номером из множества  $\bigcup_{n \in \Gamma_{тер}} R_n^{блх}$ . Множество вершин  $V_{блх}$  бу-

дет соответствовать таким вершинам (виртуальным), через которые потоки вещества, товаров, услуг и т. п. поступают на внешний (по отношению к территории) рынок. Соответственно через  $V_{вх}$  обозначим множество всех виртуальных вершин, не принадлежащих  $V_{блх}$ , из которых выходит хотя бы одно ребро, входящее в реальную вершину. Так как для всех внутренних рёбер графа  $\Gamma_{тер}$  левая вершина (вершина выхода) всегда будет лежать во множестве  $\Gamma_{тер} \setminus V_{блх}$ , а правая (вершина входа) во множестве  $\Gamma_{тер} \setminus V_{вх}$ , то

$$\sum_{n \in \Gamma_{тер} \setminus V_{блх}} \sum_{m_2 \in R_n^{блх}} Z_{m_2}^0 \cdot M_{m_2}^0 - \sum_{n \in \Gamma_{тер} \setminus V_{вх}} \sum_{m_1 \in R_n^+} Z_{m_1}^0 \cdot M_{m_1}^0 = 0, \quad (22)$$

ввиду того, что для любого слагаемого первой двойной суммы найдется такое же слагаемое во второй двойной сумме с противоположным знаком, и наоборот.

Учитывая, что для виртуальных рёбер, по определению, отсутствуют потери и прирост себестоимости, выражение (21) с учётом (22), можно записать в виде:

$$\mathcal{E}_{тер} = \sum_{n \in V_{блх}} \sum_{m_2 \in R_n^{блх}} Z_{m_2}^0 \cdot M_{m_2}^0 - \sum_{n \in V_{вх}} \sum_{m_1 \in R_n^+} Z_{m_1}^0 \cdot M_{m_1}^0 - \Psi_{тер}. \quad (23)$$

В выражении (23) первая двойная сумма представляет собой суммарный доход от реализации всех видов продукции, вторая двойная сумма – суммарные затраты на закупку (импорт) сырья, товаров и т. п. за пределами территории – на внешнем рынке.

## 4. Формирование организационной структуры межсистемных связей

### 4.1. Постановка задачи

Допустим, что проведена оценка размещения технологических цепочек для нескольких территориальных частей некоторого региона. Проведём увязку этих частей в единую (региональную) систему. С этой целью изобразим систему межтерриториальных связей в виде графа  $\Gamma_{рег}$ , у которого вершинами будут территориальные части, рассмотренные выше как отдельные системные образования. В графе  $\Gamma_{рег}$  системе, описываемой графом  $\Gamma_{тер}$ , будет соответствовать одна вершина. Виртуальные дуги графов  $\Gamma_{\lambda, тер}$ , где  $\lambda$  – номера территорий, подлежащих увязке ( $\lambda = 1, \dots, N_{рег}$ );  $N_{рег}$  – общее число территориальных частей региона), с множеством входящих и исходящих потоков, будут соответствовать дугам каждой территории (соответствующие им виртуальные вершины и дуги совмещаются с входящими потоками других территорий). Последовательность оценки, приведённая в предыдущих разделах статьи, сохраняется: составляется баланс по всем видам получаемых веществ, продук-

тов, услуг между территориями, определяются объёмы дефицитных и избыточных видов продукции.

Если для вершины  $n \in \Gamma_{рег}$  соблюдается условие

$$\sum_{n_1 \in \Gamma_{рег}} M_{i,вых}^{n_1} \leq M_{i,вх}^n,$$

где  $M_{i,вх}^n$  – мощность входящего  $i$ -го вещества в вершину (звено)  $n$ ;

$M_{i,вых}^{n_1}$  – мощность выходящего  $i$ -го вещества из вершины (звена)  $n_1$ ,

то в графе  $\Gamma_{рег}$  сохраняются все дуги между вершинами  $n_1 \in \Gamma_{рег}$ , для которых  $M_{i,вых}^{n_1} > 0$ , и вершиной  $n$ . При этом дефициту  $i$ -го вещества:

$$D_i^n = M_{i,вх}^n - \sum_{n_1 \in \Gamma_{рег}} M_{i,вых}^{n_1}, \quad (24)$$

будут соответствовать виртуальная вершина «импорт» и дуга, ведущая в вершину  $n$ .

Когда имеется избыток производства  $i$ -го вещества, т. е.

$$\sum_{n_1 \in \Gamma_{рег}} M_{i,вых}^{n_1} > \sum_{n \in \Gamma_{рег}} M_{i,вх}^n,$$

то с вершиной  $n \in \Gamma_{рег}$  соединяются дугами те из вершин  $n_1$ , для которых  $M_{i,вых}^{n_1} > 0$  и обеспечивается минимум

$$\sum_{n_1 \in \Gamma_{рег}} Z_i^{n_1} M_{i,вых}^{n_1} + \Delta \Psi M_i \rightarrow \min,$$

при выполнении ограничений

$$\sum_{n_1 \in \Gamma_{рег}} M_{i,вых}^{n_1} \geq M_{i,вх}^n,$$

где  $M_{i,вых}^{n_1}$  – поток  $i$ -го вещества, поступающий в узел  $n$  из узла  $n_1$ ;

$Z_i^{n_1}$  – цена реализации  $i$ -го вещества на выходе из  $n_1$ -й вершины (территории);

$\Delta \Psi M_i$  – прирост затрат на транспортировку продукции из вершины  $n_1$  в вершину  $n$ . Избыток набора продукции, товарного сырья для каждой  $\lambda$ -й территории ( $\lambda = 1, \dots, N_{рег}$ ):

$$M_{i,вых}^\lambda = \sum_{n_1 \in \Gamma_{рег}} M_{i,вых}^{n_1} - \sum_{n \in \Gamma_{рег}} M_{i,вх}^n > 0$$

рассматривается как возможный экспорт.

Таким образом, все дуги межтерриториального графа  $\Gamma_{рег}$  (т. е. межтерриториальные связи) определены и тем самым межтерриториальный граф  $\Gamma_{рег}$  сформирован, определены экспортные и импортные потоки.

Аналогично (как для одной территории) определяются приведённые совокупные затраты для региона в целом:

$$ПСЗ_{рег} = \sum_{\lambda=1}^{N_{рег}} \Psi_{рег}^\lambda, \quad (25)$$

где  $\Psi_{рег}^\lambda$  определяется для каждой  $\lambda$ -й территории по формуле (16).

Потоки экспорта и импорта остаются незакрытыми, информация накапливается в виртуальных вершинах.

## 4.2. Алгоритмы размещения производственных цепочек для нескольких регионов

Из всех вариантов развития каждой  $\lambda$ -й территориальной части региона и межтерриториальных связей выбираем такую схему, которая бы обеспечивала минимум приведённых совокупных затрат.

Выбранный по критерию минимума  $ПСЗ_{рег}$  вариант развития межтерриториальной системы связей оценивается по критерию максимума суммарной чистой прибыли, получаемой по всем рассматриваемым регионам. Совокупный экономический эффект всего региона определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{рег} = \sum_{\lambda=1}^{N_{рег}} \mathcal{E}_{тер}^{\lambda} = D_{\mathcal{E}} - \mathcal{Z}_n - \mathcal{Z}_{рег}, \quad (26)$$

где  $D_{\mathcal{E}}$  – суммарный доход от экспорта,

$\mathcal{Z}_n$  – суммарные затраты на производство и импорт;

$\mathcal{E}_{тер}^{\lambda}$  – суммарный экономический эффект от развития  $\lambda$ -й территории;

$$\mathcal{E}_{рег} = \sum_{\lambda=1}^{N_{рег}} \mathcal{E}_{тер}^{\lambda} = D_{\mathcal{E}} - \mathcal{Z}_n - \mathcal{Z}_{рег} - \text{полные приведённые затраты региона, по рассматри-}$$

ваемым направлениям связи ( $\Psi_{тер}^{\lambda}$  – суммарные приведённые совокупные затраты на  $\lambda$ -й территории).

Таким образом, по всем межтерриториальным потокам определяется сумма вещества и проводится анализ  $\mathcal{E}_{тер}$ , затем выбираются варианты развития территории в сочетании с межтерриториальными связями, которые обеспечивали бы следующее условие:

$$\mathcal{E}_{рег} \rightarrow \max. \quad (27)$$

На каждом шаге оптимизации по критерию (27) происходит возвращение на предшествующий уровень оптимизации, когда уточняются направления развития территории и межтерриториальных связей по потокам вещества.

Алгоритм поиска рациональной организации системы состоит в том, чтобы при заданных внешних условиях для заданного набора технологий, источников сырья, ресурсов и т. п. по критерию ( $ПСЗ = \Psi_{тер}$ ) найти наилучшее размещение звеньев производства и других параметров. Затем, варьируя технологии, вводимые в эксплуатацию источники сырья и стратегии развития производства по критерию, найти наиболее эффективный вариант.

Оптимизация по критерию ( $ПСЗ$ ) производится на каждом шаге решения задачи, а по критерию  $\mathcal{E}_{тер}$  – после проведения отдельных или ряда операций по организации всех объектов, составляющих систему. В обоих случаях не исключена возможность поиска наилучшего варианта путём программного обеспечения.

Рассмотренный методический подход позволяет разрабатывать основы территориальной организации антропогенной деятельности населения, в том числе центров по созданию условий для развития всесторонних духовных, моральных, интеллектуальных потребностей населения [3, 5].

Схемы межтерриториальных связей, полученные с применением предлагаемого методического подхода, могут рассматриваться как основа формирования структуры территориального управления экономикой и разработки схем саморегулируемых рыночных связей, т. е. прозрачного рынка, где каждый субъект, определив свое значение (роль) и место в развитии всей системы, может установить связи с партнёрами в сочетании с генеральными направлениями своего развития.

Сравнение уровня предстоящих затрат с ценами рынка позволит определить:

- цены реализации товарного сырья и продуктов, получаемых на выходе технологических цепочек;
- суммарное значение чистой прибыли (условной или фактической) от реализации продукта, услуг и т. д.;
- динамику окупаемости капитальных вложений и коэффициенты ликвидности.

Критерий минимума совокупных приведённых затрат является критерием оптимизации и говорит о том, что элементы и составляющие комплексы системы распределены между собой наилучшим образом; второй критерий – максимум чистой прибыли – является комплексным критерием и показывает, что данный вариант организации и развития системы является «наилучшим» по отношению к функционированию объекта в условиях внутренней и внешней экономической среды системы.

## 5. Заключение

Широкое применение предлагаемого методического подхода к решению задач оптимизации территориального размещения технологических цепочек по освоению объектов природного потенциала позволит уже на концептуальной стадии исследований разрабатывать реально возможные сценарии территориальной организации производства в системе связей: природный объект – точки размещения производственных звеньев технологических цепочек по производству целевого и сопутствующих ему товарного сырья и продуктов – соответствующие сегменты рынков потребления.

## Литература

1. Шалмина Г. Г. Предпроектное обоснование прогнозирования экономики: монография. Новосибирск: Издательство НГОНБ, 2010. 480 с.
2. Шалмина Г. Г. Территориальные системы регулирования экономики. Новосибирск: «СКИТ», 1994. 378 с.
3. Шалмина Г. Г., Тарасевич В. В., Загарин А. В. Основы стратегии развития регионов России. Новосибирск: НГАЭиУ, 1999. 420 с.
4. Шалмина Г. Г., Тарасевич В. В. Сетевые недоопределенные модели пространственной организации территориальной общественно-природной системы // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды IV Международной конференции. Самара, Самарский научный центр РАН, 2002. С. 35–42.
5. Территориальные основы управления. Ч. 2. Системный подход к разработке территориальных основ управления / под ред. Г. Г. Шалминой. Новосибирск: СГГА, 2003. 335 с.

*Статья поступила в редакцию 18.02.2011*

### **Шалмина Галина Георгиевна**

д.э.н., профессор кафедры экономической теории СибГУТИ, действительный член Международной академии информатизации и Российской экологической академии, руководитель Научно-образовательного центра «Территориальные системы регулирования экономики» СибГУТИ (630102, Новосибирск, ул. Кирова, 86)

тел. (383) 269-82-84, e-mail: 9201722@mail.ru

### **Кулешова Наталия Владимировна**

аспирант, ассистент кафедры экономической теории СибГУТИ (630102, Новосибирск, ул. Кирова, 86)

тел. (383) 269-82-84, e-mail: natkuleshova@yandex.ru

### **Graph method in developing bases of the territorial organization of production processes**

**G. Shalmina, N. Kuleshova**

Methods of payment transactions in the system of relations: natural object – a process chain for the development of natural resources to obtain raw materials and final commodity products – the corresponding segments of the market (consumers) are considered in the article. The basic provisions of the methodical approach are formulated, and algorithms for solving problems are given.

*Keywords:* territorial organization of production, graph method, outline analysis, process chain.