

DOI:
СЦЕНАРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

Савушкин С.А.

Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, г. Москва

ssavushkin@mail.ru

Аннотация: В статье описана модель развития транспортного комплекса в социально-экономической системе. Модель представляет собой набор переменных, описывающих числовые характеристики транспортного комплекса, внешней среды и набор зависимостей, связывающих переменные. Модель предназначена для решения функциональных задач на долгосрочную и среднесрочную перспективу, в частности: определения размеров и структуры спроса на перевозки конкретным видом транспорта; оценки влияния факторов общеэкономического и социального характера (курс доллара, уровень цен на основные виды продукции, налоговые ставки, доходы населения и т. д.), ситуации в отраслях экономики (объемы производства, цены на продукцию и т. д.) на показатели эффективности транспорта; оценка влияния состояния транспорта на производительность отраслей и экономики в целом (возможности удовлетворения спроса на транспортные услуги, инвестиционная политика на транспорте, тарифная политика и т. д.); определение перспектив развития каждого вида транспорта на основе прогнозов изменений социально-экономической ситуации в стране, динамики развития отраслей экономики и конкурирующих видов транспорта. Применение модельного комплекса предполагает многовариантные расчеты сценариев развития транспорта на перспективу, анализ результатов, оценку возможных последствий принятия тех или иных решений. Сценарий задается значениями экзогенных переменных модели. Программно-информационный комплекс модели использовался для прогнозирования транспортной ситуации и планирования деятельности крупной транспортной компании. В статье приведен подход к созданию системы сценарного моделирования транспортного комплекса, поддерживающего иерархические многомерные структуры, процедуры формирования вычислительных задач, и примеры их решения для различных сценариев развития.

Ключевые слова: моделирование, транспорт, экономика, сценарий развития, социальные факторы, спрос на перевозки, инвестиции, тарифы, структуры, программный комплекс.

Введение

Транспорт выступает одним из основных факторов интернационализации рынков, всей хозяйственной жизни, способствует интеграции систем расселения, росту подвижности населения. Актуальное в настоящее время направление перевода транспорта на цифровые технологии предполагает автоматизированное планирование деятельности транспорта, подготовку и принятие управленческих решений с учетом всего спектра возможных изменений во внешней по отношению к транспорту среде и происходящих структурных изменений в самих транспортных системах. Инвестиционные решения и в целом транспортная политика должны базироваться на объективном анализе самых разных вариантов развития на перспективу и оценке возможных последствий принятия тех или иных решений. Оценить качество планирования и последствия принятых решений позволяет применение инструмента сценарного моделирования.

Подходы к сценарному моделированию описаны, в частности, в [1], где рассматриваются транспортные и технические системы, состоящие из нескольких взаимодействующих компонентов, причем отношения между компонентами изменяются во время функционирования. Предлагается метод спецификации, который на основе сценарного моделирования может производить синтез систем с динамической структурой. В [2] рассматривается движение автономных транспортных средств в сложных сценариях взаимодействия с несколькими окружающими транспортными средствами. Модель стратегического планирования отрасли экономики в условиях экологической, рыночной и институциональной неопределенности описана в [3]. Использовались сценарии, представляющие собой комбинации климатических, рыночных, институциональных и технологических допущений. В [4] на основе имитационной модели дорожного движения и анализа сценариев можно найти приемлемое решение, в котором решения по организации движения сочетаются с изменениями геометрии дороги. В [5] представлен процесс разработки такой модели.

В [6] рассмотрены экологические последствия отдельных инвестиций в инфраструктуру в условиях меняющегося спроса на транспортные услуги с помощью методов анализа сценариев, представлены сценарии развития транспортной системы, отличающиеся наборами факторов внешней среды, зависимых или независимых от лица, принимающего решения. Кроме того, предложена процедура, включающая этапы: формулировка целей исследования, построение модели, оценка сценариев. Сценарии подразделяются на краткосрочные для оперативных задач и долгосрочные для стратегических задач. Оба типа задач обычно рассматриваются в оптимистическом, реалистическом и

пессимистическом вариантах. Проблемы планирования взаимодействия грузоотправителя с перевозчиком и логистическими компаниями рассмотрены в [7]. Планирование исполнения транспортных услуг на основе принципе клиентоориентированности и интеллектуального каталога изложены в [8]. Сценарии передачи услуг в цифровой каталог, оценка трудоемкости и вопросы его оптимизации рассматриваются в [9]. Организационные структуры управления, общие вопросы методологии, разработки и экспертизы больших транспортных и, в частности, железнодорожных систем рассматриваются в [10-11].

В [12] в качестве внешней среды выступает социально-экономическая система, процессы развития которых задается сценариями. Использование сценарного подхода позволяет моделировать самые разнообразные, простые и сложные, одно- и многопараметрические проблемы типа «Что будет, если...?». В работе описан модельный комплекс, использование которого позволяет моделировать влияние:

- внешней среды на показатели хозяйственной деятельности транспорта, отдельных его подсистем;
- состояния отдельной транспортной подсистемы на социально-экономические показатели.

Первоначальная компьютерная реализация модели использовалась для прогнозирования транспортной ситуации и планирования деятельности крупной транспортной компании. Опыт эксплуатации данного варианта реализации позволил выявить факторы, ограничивающие возможности проведения компьютерного эксперимента и сформировать подход, излагаемый в данной статье.

В настоящее время являются актуальными проблемы пространственного развития РФ посредством расширения и модернизации железнодорожной, авиационной, автодорожной, морской и внутренней водной инфраструктуры. Научно-технологические и инфраструктурные аспекты проблемы исследованы в [13-15]. Платформа управления инфраструктурой может заключаться в теоретическом, методическом, алгоритмическом обеспечении процессов выработки решений по созданию новых и развитию существующих элементов инфраструктуры. Такие решения могут быть выработаны на основе оценки результативности функционирования транспортного комплекса в целом. Инструмент для построения таких оценок является содержанием данной статьи.

1 Структура модельного комплекса

Модельный комплекс построен как иерархическая структура, верхний уровень которой образует модель социально-экономической системы, включающая следующие основные блоки:

- население;
- производство;
- финансовые ресурсы отраслей;
- внешнеэкономическая деятельность;
- формирование консолидированного бюджета;
- денежно-кредитная система;
- инвестиционные процессы.

Укрупненная схема модельного комплекса развития транспорта в социально-экономической системе приведена на рисунке 1.

Необходимость специального углубленного рассмотрения транспорта потребовала выделения транспорта в особую отрасль экономики и его структуризации на подсистемы, которая учитывает различия, особенности развития и функционирования. В результате структуризации транспорта на макроуровне были выделены подсистемы:

- Грузовой транспорт:
 - грузовой железнодорожный транспорт;
 - грузовой внутренний водный транспорт;
 - грузовой морской транспорт;
 - грузовой автомобильный транспорт;
- Транспортная инфраструктура:
 - железные дороги;
 - инфраструктура внутреннего водного транспорта;
 - инфраструктура морского транспорта;
 - инфраструктура автомобильного транспорта;
 - инфраструктура воздушного транспорта;

- Пассажирский транспорт:
 - пассажирский железнодорожный транспорт;
 - пассажирский внутренний водный транспорт;
 - пассажирский морской транспорт;
 - пассажирский автомобильный транспорт;
 - пассажирский воздушный транспорт;
 - городской пассажирский транспорт;
- Личный транспорт;
 - личный автомобильный транспорт.

Транспорт является неотъемлемым составным элементом хозяйственного комплекса и на его динамику оказывают влияние такие общие факторы развития, как государственная налоговая, финансовая, таможенная политика, в целом социально-экономическая ситуация в стране. Эти факторы рассмотрены в блоках модели.

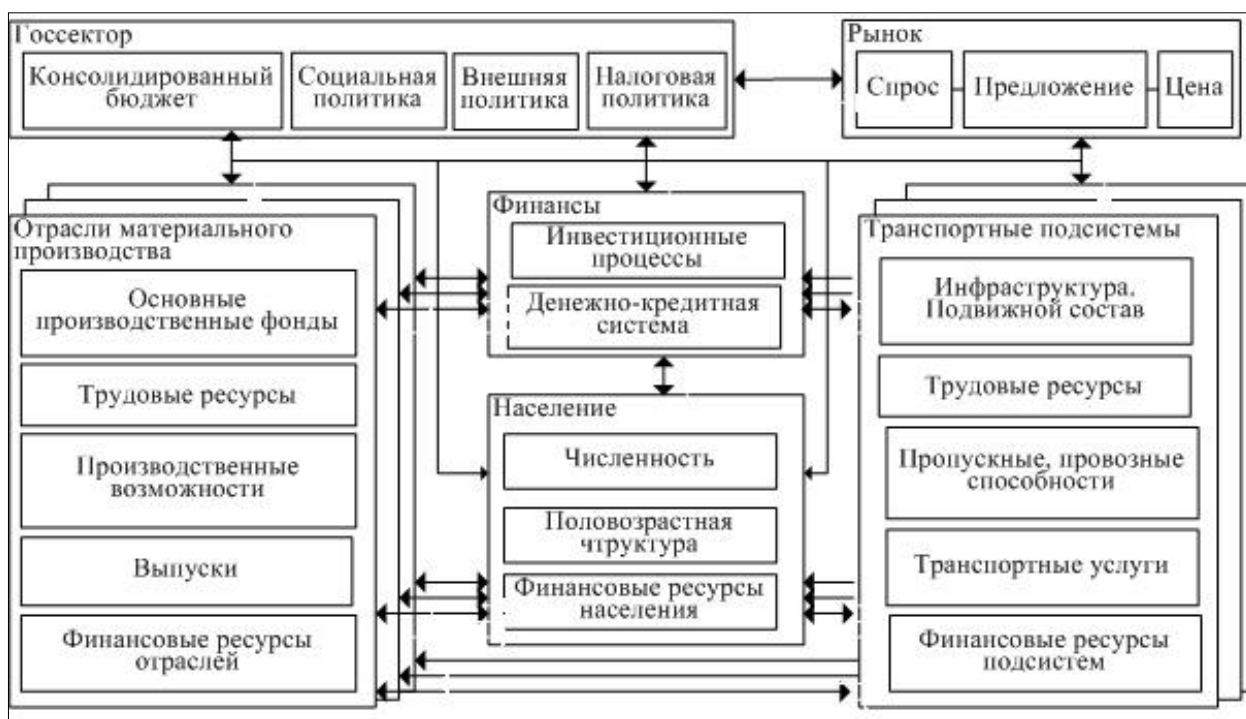


Рис. 1. Укрупненная схема модели развития транспортного комплекса

Важнейшим определяющим фактором развития, задающим конечную цель производства, выступает население, которое является, с одной стороны, конечным потребителем всех произведенных материальных благ и, с другой стороны, - источником трудовых ресурсов для самого производства. Соответствующий блок модели имеет следующие основные выходные показатели:

- численность и половозрастная структура населения;
- доходы населения.

Все население разделено на 4 группы:

- население, моложе трудоспособного возраста;
- экономически активное население;
- население, старше трудоспособного возраста;
- безработные.

Экономически активное население является источником трудовых ресурсов для отраслей материального производства и транспортных подсистем. Доходы населения формируются на основе выходных данных других блоков и складываются из:

- оплаты труда в отраслях материального производства и транспортных подсистемах;
- оплаты труда работников бюджетной сферы (образования, культуры, государственного управления и т. д.), которая производится из средств консолидированного бюджета;
- оплаты труда работающих в денежно-кредитной сфере;
- доходов от предпринимательской деятельности и собственности;

- социальных трансфертов, включающих пенсии и пособия;
- доходов в виде процентов по вкладам.

Фонд оплаты труда формируются на основе финансовых ресурсов отраслей материального производства и транспортных подсистем, а также на основе спроса на продукцию отраслей и имеющихся производственных возможностей.

Часть доходов в виде подоходного налога с физических лиц направляется в консолидированный бюджет. Другая - в виде накопления направляется в денежно-кредитную сферу. Большая часть доходов населения расходуется на покупку товаров и услуг. На этой основе формируется платежеспособный спрос на продукцию и услуги отраслей материального производства и транспортных подсистем.

Выходной информацией блоков производства для отраслей материального производства и транспортных подсистем являются производственные возможности каждой из отраслей. Величина производственных возможностей задает максимальный размер предложения каждой из отраслей, т.е. те объемы продукции и услуг, которые они могут предоставить на рынок. Производственные возможности определяются значением двух основных материально-вещественных факторов производства: трудовых ресурсов и основных производственных фондов. Динамика основных производственных фондов складывается под воздействием двух основных факторов:

- выбытия части фондов из производственного процесса по причине физического и морального износа;
- прироста за счет инвестиций.

Размеры инвестиций формируются на основе выходных данных об инвестиционных возможностях отраслей материального производства и транспортных подсистем, которые в свою очередь зависят от имеющихся у них финансовых ресурсов, а также на основе спроса на продукцию и имеющихся производственных возможностей.

Финансовые ресурсы отраслей материального производства и транспортных подсистем в части доходов определяются на основе:

- результатов их производственной деятельности;
- поступлений из бюджета (дотации, субсидии и т. д.);
- кредитов, предоставляемых денежно-кредитной системой;
- доходов от депозитов и продажи акций;
- доходов от экспорта и импорта.

В части расходов финансовые ресурсы определяются:

- затратами на производственную деятельность;
- налоговыми отчислениями в бюджет;
- выплатами процентов по взятым кредитам и дивидендов по акциям;
- расходами на экспорт и импорт.

Платежеспособный спрос на продукцию и услуги определяется спросом населения и отраженным в бюджете спросом государственных учреждений, удовлетворяющим как общественные потребности (оборона, управление, наука и т.д.), так и индивидуальные (здравоохранение, образование и т.д.).

Объемы выпускаемой продукции и услуг определяются посредством сопоставления величин спроса и предложения. При этом возможны ситуации:

- превышение спроса над предложением показывает величину неудовлетворенного спроса;
- превышение предложения над спросом показывает нерезализованные возможности производства.

В первой ситуации выпуск продукции фиксируется на уровне производственных возможностей. Корректируются показатели, влияющие на производственные возможности в сторону их увеличения, которое может быть достигнуто за счет приема дополнительной рабочей силы, и роста основных производственных фондов путем привлечения соответствующих инвестиций. Для второй ситуации выпуск продукции фиксируется на уровне спроса на продукцию. Показатели, влияющие на производственные возможности, корректируются в сторону их уменьшения.

Соотношение спроса и предложения также влияет на динамику цен на продукцию и услуги, которая складывается под воздействием рыночных механизмов спроса и предложения, с одной стороны, и на основе среднотраслевых издержек с другой. Опишем некоторые блоки модели.

2 Блоки модельного комплекса

2.1 Производство

Выходной информацией блока производства являются производственные возможности каждой из отраслей, которые задают максимальные объемы продукции и услуг, которые они могут предоставить на рынок. Производственные возможности i -ой отрасли в году t определяются значением двух основных факторов производства: трудовых ресурсов $L_i(t)$ и основных производственных фондов $K_i(t)$ и могут быть оценены с помощью производственных функций, которые в общем случае имеют вид:

$$(1) F_i(t) = f(t, K_i(t), L_i(t)) = \chi_i * (K_i(t))^{\alpha_i} * (L_i(t))^{1-\alpha_i},$$

где χ_i, α_i - коэффициенты, определяемые при идентификации, $i = \overline{1, n}$, n - число отраслей, включая транспортные подсистемы.

Динамика основных производственных фондов описывается уравнениями, где присутствуют показатели $V_i(t)$ - объемы производственных инвестиций и $\mu^i(t)$ - коэффициенты выбытия основных производственных фондов (ОПФ) i -ой отрасли в году t [6]. Величины $K_i(t)$ и $V_i(t)$ измеряются в денежном выражении в фиксированных ценах, т. е. ценах года, принятого за базу. Валовой выпуск продукции i -ой отрасли в год t $X_i(t)$ ограничивается её производственными возможностями: $0 \leq X_i(t) \leq F_i(t, K_i(t), L_i(t))$.

Однако, если положение в отрасли таково, что в отдельных отраслях часть имеющихся ОПФ простаивают, не оказывая влияния на величину произведенной продукции, или работники формально числятся, но не участвуют в производственном процессе, имеет смысл использовать производственную функцию следующего вида:

$$(2) F_i(t) = f(t, K_i(t), L_i(t)) = \begin{cases} \chi_i * L_i(t) * (k_{\max}^i(t))^{\alpha_i}, & k^i(t) \geq k_{\max}^i(t) \\ \chi_i * L_i(t) * (k^i(t))^{\alpha_i}, & k_{\max}^i(t) \geq k^i(t) \geq k_{\min}^i(t) \\ \chi_i * L_i(t) * (k_{\min}^i(t))^{\alpha_i}, & k^i(t) \leq k_{\min}^i(t) \end{cases}$$

где $k^i(t) = \frac{K_i(t)}{L_i(t)}$ - фондовооруженность в i -ой отрасли в году t .

Этот вид производственной функции учитывает неэффективность чрезмерной $k^i(t) \geq k_{\max}^i(t)$ фондовооруженности и избытка трудовых ресурсов $k^i(t) \leq k_{\min}^i(t)$.

Предполагаемые значения выпусков продукции отраслей материального производства в разработанной системе моделей определяются на основе платежеспособного спроса $\bar{X}_i(t)$, который определяется объемом денежных средств направленных на приобретение продукции ($D_i^\Sigma(t)$) (прямо пропорционально) и цены на продукцию $\bar{P}_i(t)$ (обратно пропорционально). Коэффициенты пропорциональности $r_i^X(t)$, $r_i^{X1}(t)$ вычисляются при идентификации.

$$(3) \bar{X}_i(t) = D_i^\Sigma(t) * r_i^X(t) / \bar{P}_i(t).$$

Однако, в ряде случаев этого оказывается недостаточно. В некоторых расчетах необходимо учесть роль импорта, как фактора конкуренции для предприятий отрасли.

$$(4) \bar{X}_i(t) = ((1 - k_i^I) * D_i^\Sigma(t) * r_i^X(t) + k_i^I * R_i^I(t - \Delta t) * r_i^{X1}(t)) / \bar{P}_i(t),$$

где k_i^I - коэффициент, определяющий влияние импорта на выпуск продукции, $R_i^I(t - \Delta t)$ - расходы на импорт в предыдущий период.

При расчетах, связанных с прогнозированием значений данного параметра на перспективу, возникает необходимость в более инерционном его поведении, в результате чего в формуле появляется

дополнительное слагаемое, зависящее от предыдущего значения параметра. Аналогичная ситуация с определением цены на продукцию отрасли материального производства.

$$(5) \bar{X}_i(t) = (1 - k_i^I) * X_i(t - \Delta t) + k_i^I * R_i^I(t - \Delta t) * r_i^{X1}(t) / \bar{P}_i(t)$$

Наконец, если спрос на продукцию превышает производственные возможности отрасли, то выпуск может производиться в объеме этих производственных возможностей.

$$(6) X_i(t) = \min(\bar{X}_i(t), F_i(t)).$$

Валовый выпуск продукции i -ой отрасли в году t используется на производственное потребление в других отраслях, а также идет на конечное потребление, которое, в свою очередь, складывается из личного потребления населения ($C_i(t)$), накопления в i -ой отрасли ($\sum_j d_j^i \cdot V^j(t)$), экспорта ($E_i(t)$) и импорта ($I_i(t)$), а также прочие расходы ($Y_i(t)$) (прирост государственных материальных запасов и резервов, расходы на управление).

$$(7) X_i(t) = \sum_{j=1}^n a_j^i X_j(t) + \sum_{j=1}^n d_j^i V_j(t) + E_i(t) - I_i(t) + C_i(t) + Y_i(t),$$

где a_j^i - коэффициенты прямых затрат, показывающие количество продукции j -ой отрасли, используемое для производства единицы продукции i -ой отрасли.

Объемы денежных средств направленных на приобретение продукции ($D_i^\Sigma(t)$) определяются доходами населения, отраженным в бюджете спросом государственных учреждений, удовлетворяющим как общественные потребности (оборона, управление, наука и т.д.), так и индивидуальные (здравоохранение, образование и т.д.), спросом экспорта и внутреннего производства.

2.2 Динамика цен

Динамика цен производства может быть описана одним из способов в зависимости от специфики конкретной отрасли и складывается под воздействием рыночных механизмов спроса и предложения, с одной стороны, и на основе среднеотраслевых издержек с другой.

Аналогично выпускам продукции, цены на продукцию отрасли материального производства также может вычисляться по-разному. При использовании рыночных механизмов, цена определяется спросом (\bar{X}) и предложением (X). Фиксированные цены могут вычисляться по формуле: $P_i(t) = a_i^{P0} + a_i^{P1} \cdot t + a_i^{P2} \cdot t^2 + \dots$, где a_i^{P0} , a_i^{P1} , a_i^{P2} ...- коэффициенты, определяемые при идентификации модели. Компенсационные цены учитывают лишь инфляционную составляющую цены. Базовой формулой будем считать формулу (5).

$$(8) \bar{P}_j(t) = ((R_j(t) - R_j^O(t - \Delta t)) / X_j(t - \Delta t)) * r_j^P(t) + R_j^O(t - \Delta t) * r_j^{P1}(t) + (D_j^\Sigma(t) / X_j(t - \Delta t)) * r_j^{P2}(t),$$

где $R_i(t)$ - текущие расходы i -ой отрасли; $R_i^O(t - \Delta t)$ - расходы предыдущего периода i -ой отрасли на приобретение оборотных средств; $r_i^P(t)$, $r_i^{P1}(t)$, $r_i^{P2}(t)$ - коэффициенты влияния соответствующих слагаемых на цену.

При необходимости учитывать дефицит продукции формула может быть скорректирована следующим образом:

$$(9) P_i(t) = \max(\bar{P}_i(t), D_i^\Sigma(t) * r_i^X(t) / X_i(t))$$

2.3 Моделирование транспортных подсистем

Подсистемы транспортного комплекса подразделены на четыре типа, для каждого из которых валовый продукт X_i является специфическим. Для каждого типа подсистем это:

- грузового транспорта (T^c)– объемы перевозок (тонны) или грузооборот (тонно-километры);
- транспортной инфраструктуры (T^l)- производственная возможность инфраструктуры (поездо-километры, автомобиле-километры и т.д.);
- пассажирского транспорта (T^p)– объемы пассажирских перевозок (пассажиры-километры);

- личного транспорта (T^a)– объемы транспортных услуг (пассажиры-километры).

Модель каждой транспортной подсистемы представляется теми же уравнениями, как и любая из отраслей материального производства, т.к. транспортная подсистема характеризуется основными производственными фондами, наличными трудовыми ресурсами и другими общими для всех отраслей показателями. Методически прогнозы объемов отправок грузов и пассажиров, а также грузо- и пассажирооборот строятся путем сопоставления спроса и предложения на перевозки.

Спрос на перевозки для подсистем грузового, пассажирского и личного транспорта соответственно имеют вид:

$$(10) \quad \bar{X}_k(t) = \sum_{i=1}^m (\theta_{ik} \sum_{j=1}^N g_{ij} X_j(t)), \quad k \in T^c$$

$$(11) \quad \bar{X}_k(t) = \eta^k L^\Sigma(t), \quad k \in T^p$$

$$(12) \quad \bar{X}_k(t) = l^k m^k L^\Sigma(t), \quad k \in T^a$$

где θ_{ik} - транспортная емкость i -го вида груза k -м видом грузового транспорта, которая определяется отношением грузооборота к объемам грузов, выпускаемых отраслями экономики, $\{g_{ij}\}$ - матрица соответствий грузов отраслям материального производства, N - число отраслей материального производства, m - число видов грузов, $L^\Sigma(t)$ - численность населения, η^k - средняя подвижность населения на k - виде транспорта, l^k - среднегодовой пробег единицы личного транспорта, m^k - обеспеченность населения личным транспортом.

Полученный спрос на перевозку i -го вида груза k -м видом транспорта в году t ($\bar{X}_k^i(t)$) сравнивается с соответствующими производственными возможностями $F_k^i(t)$, $k \in T^c$.

Если для каждого вида транспорта спрос на перевозку i -го вида груза меньше производственных возможностей, т.е. $\bar{X}_k^i(t) < F_k^i(t)$, $\forall k \in T^c$, $i = \overline{1..m}$, то спрос на перевозки грузов удовлетворяется и реальные объемы грузооборота этим видом транспорта равны величине спроса.

Если спрос на перевозку i -го вида груза для некоторых видов транспорта не меньше производственных возможностей, т.е. $\bar{X}_k^i(t) \geq F_k^i(t)$, $\exists k \in T^c$, $i = \overline{1..m}$, но в целом спрос на перевозку i -го вида груза всеми видами транспорта не превышает производственных возможностей, т.е.

$\sum_{k \in T^c} (\bar{X}_k^i(t) - F_k^i(t)) \leq 0$, $i = \overline{1..m}$, то по некоторым видам транспорта будет неудовлетворенный спрос, а по

остальным – недоиспользование производственных возможностей. Будем считать, что неудовлетворенный спрос будет перераспределяться по видам транспорта второй группы пропорционально излишкам производственных возможностей. Введем два множества индексов $T_i^- = \{k : \bar{X}_k^i(t) \geq F_k^i(t)\}$, $T_i^+ = \{k : \bar{X}_k^i(t) < F_k^i(t)\}$. Объемы грузооборота k -м видом транспорта в году t по перевозке i -го вида груза вычислим по формуле:

$$(13) \quad X_k^i(t) = \begin{cases} F_k^i(t), & k \in T_i^- \\ \bar{X}_k^i(t) + \Delta \bar{X}_k^i(t), & k \in T_i^+ \end{cases},$$

где $\Delta \bar{X}_k^i(t)$ вычисляется по формуле:

$$\Delta \bar{X}_k^i(t) = \sum_{j \in T_i^-} (\bar{X}_j^i(t) - F_j^i(t)) \frac{F_k^i(t) - \bar{X}_k^i(t)}{\sum_{j \in T_i^+} (F_j^i(t) - \bar{X}_j^i(t))}$$

Наконец, если в целом спрос на перевозку i -го вида груза всеми видами транспорта превышает суммарные производственные возможности, т.е. $\sum_{k \in T^c} (\bar{X}_k^i(t) - F_k^i(t)) > 0, \exists i = \overline{1..m}$, то всем видам

транспорта реальные объемы грузооборота будут равны величине производственных возможностей и по данному виду груза будет неудовлетворенный спрос.

Превышение спроса над производственными возможностями приведет к тому, что цены на перевозки возрастут и составят:

$$(15) \quad P_i(t) = \frac{\sum_{k \in T^c} \bar{X}_k^i(t)}{\sum_{k \in T^c} F_k^i(t)} \bar{P}_i(t),$$

что соответствует формуле (9) для отраслей материального производства.

Рост тарифов приведет к увеличению расходов соответствующей отрасли материального производства в году t , а это будет способствовать снижению выпусков продукции данной отрасли в последующие годы.

Подсистемы транспортной инфраструктуры предоставляют услуги для других транспортных подсистем в виде пропускных способностей (производственных возможностей). В связи с этим уравнения распределения валовых выпусков примут вид:

$$(16) \quad X_k(t) = \sum_{j \in T^g \cup T^p} \frac{l_j \psi_{jk}}{q_j \varphi_j} X_j(t) + \sum_{j \in T^a} \psi_{jk} X_j(t), k \in T^l,$$

где, l_j - среднее расстояние перевозки j -м видом транспорта, q_j - средняя грузоподъемность (пассажироместимость) одного транспортного средства на j -ом вида транспорта, φ_j - коэффициент полезной работы j -го вида транспорта, ψ_{jk} - коэффициент приведения транспортных средств к единице транспортного потока. Если j -й вид транспорта не использует k -й вид инфраструктуры, то $\psi_{jk} = 0$.

3 Организация сценарного моделирования

Компьютерный эксперимент предполагает многовариантность, которая имеет место не только на уровне сценариев, но и на уровне отдельных переменных, значения которых можно вычислять различными способами и также на уровне модели в целом. Транспортная система на макроуровне в сочетании с многофакторной социально-экономической структурой образует сложный комплекс, описываемый большим (несколько тысяч) количеством показателей, каждый из которых при определенных условиях может влиять на все другие показатели. При переходной экономике характер влияния показателей может меняться. Например, предполагаемые значения выпусков продукции отраслей материального производства могут определяться на основе производственных возможностей. Однако, если производственные мощности простаивают, то на основе платежеспособного спроса на продукцию и цены на продукцию. В ряде случаев необходимо учитывать роль импорта, как фактора конкуренции для предприятий отрасли. При расчетах, связанных с прогнозированием значений данного параметра на перспективу, возникает необходимость в использовании формулы с дополнительным слагаемым, зависящим от предыдущего значения параметра.

Методика использования разработанного модельного комплекса предполагает проведение сценарного анализа социально-экономического развития страны, регионов, отдельных отраслей материального производства и транспортных подсистем. Модельный комплекс задается как сеть взаимосвязанных показателей. Для проведения расчетов необходимо задать входные и выходные показатели, направления влияния и из имеющихся вариантов влияния выбрать один. Возможные сценарии формируются путем задания определенных изменений конкретных значений одного или нескольких параметров модели. Они могут формироваться исследователем – пользователем самостоятельно. Причем в общем случае произвольно, что позволяет проверить различные гипотезы изменения тех или иных параметров и оценить их последствия.

Полученные результаты по каждому сценарию сравниваются с базовым. В качестве базового сценария рассматривается сценарий, предусматривающий, что в перспективе развитие идет на основе тенденций, сложившихся в ретроспективном периоде. Значения параметров базового сценария в ретроспективе совпадают с фактическими отчетными данными. Значения входных и выходных параметров, соответствующие этому сценарию, находятся в информационной базе модели. При выработке стратегических решений базовый сценарий служит иллюстрацией того, как будет развиваться ситуация при отсутствии кардинальных управляющих воздействий. Для оценки последствий управляющих решений разрабатываются специальные сценарии, которые мы назовем экспериментальными (или просто эксперимент). Для экспериментального сценария готовятся входные данные, которые имеют отклонения от значений базового сценария. Отклонения соответствуют прямым последствиям реализации исследуемого управленческого решения. Применение разработанной модели осуществляется по следующей схеме:

- Разработка базового сценария;
- Идентификация базового сценария;
- Подготовка экспериментального сценария;
- Расчет по базовому сценарию;
- Расчет по экспериментальному сценарию (проведение эксперимента);
- Сопоставление результатов расчетов.

Разработка базового сценария связана с прогнозированием динамики всех показателей, зависящих от времени на исследуемом временном интервале, включая выходные показатели модели. Этот вопрос решался различными методами, посредством аппроксимации динамических коэффициентов или в нахождении постоянных коэффициентов, например, методом линейной регрессии, прямой экстраполяцией всех требуемых показателей, а также, многократными расчетами различных вариантов сценария и экспертной оценкой поведения показателей. Разработка базового сценария на перспективу, т.е. прогнозирование динамики параметров модели, является сложной многошаговой процедурой, требующей значительных трудовых и временных затрат. В настоящее время данная процедура не может быть полностью формализована. Многошаговая человеко-машинная процедура построения базового сценария предполагает выполнение следующих итераций.

- 1) Построение начального варианта базового сценария.
- 2) Оценка качества сценария.
- 3) Если качество удовлетворительное, то **сценарий построен** иначе перейти к следующему пункту.
- 4) Выявление причин неудовлетворительного качества сценария.
- 5) Внесение изменений в сценарий.
- 6) Переход к пункту 2).

При построении начального варианта базового сценария предполагается применение методов определения перспективных значений отдельно взятых параметров. Методологически при определении перспективных значений отдельно взятого параметра модели целесообразно использовать интервальный способ их задания. При этом границами интервала являются минимально и максимально ожидаемые значения параметра. Это позволит провести цикл моделирования как минимум для трех вариантов: Пессимистическому, соответствующему наихудшему из ожидаемых значений параметра. Оптимистическому – лучшему значению параметра. Среднему, соответствующему некоторому среднему значению параметра.

Для задания интервалов изменения конкретного параметра в общем случае могут быть использованы три группы методов: экстраполяционные, статистические и экспертные. Предполагается также наличие квалификации и профессиональная интуиция пользователя-аналитика, участвующего в построении базового сценария.

Оценками качества базового сценария являются его сбалансированность и реализуемость. Сбалансированность сценария количественно может быть оценена показателями: продуктовый и финансовый дисбаланс.

Продуктовый дисбаланс определяется по каждой отрасли в натуральных единицах. Дисбаланс может возникать из-за того, что отдельные составляющие баланса формируются по независимым моделям (импорт, экспорт и т. д.). Продуктовый дисбаланс по i -ой отрасли в году t рассчитывается по формуле, аналогичной формуле (7). Предполагается, что допустимым может считаться сценарий, для которого выполняется условие:

$$(17) \quad \max_i \frac{X_i(t) + I_i(t) - \sum_{j=1}^n a_j^i X_j(t) + \sum_{j=1}^n d_j^i V_j(t) + E_i(t) + C_i(t) + Y_i(t)}{X_i(t) + I_i(t)} \leq \varepsilon^P,$$

Возможность использования этой величины допуска обусловлена не только погрешностями в статистических исходных данных, но также и тем, что на практике часть продукции может быть не реализована, а часть продукции может быть использована на увеличение товарных запасов на складах производителей.

Финансовые дисбалансы определяются в текущих ценах по каждой отрасли. При этом сравниваются доходы и расходы отрасли и полученная прибыль. Это позволяет рассчитать обобщенный показатель эффективности производства – рентабельность продукции по формуле:

$$(18) \quad \rho_i(t) = \frac{D_i(t) - R_i(t)}{R_i(t)} * 100,$$

где $\rho_i(t)$ рентабельность продукции (в %) i -ой отрасли в году t ;

$D_i(t)$ - доходы от производственной деятельности i -ой отрасли в году t .

Рассчитанная величина рентабельности сравнивается с фактической ($\rho_i^f(t)$). На ретроспективном периоде фактические значения совпадают с отчетными статистическими данными, а на перспективном интервале – в качестве фактических используются прогнозы ожидаемого уровня рентабельности. Предполагается, что допустимым может считаться сценарий, для которого выполняется условие:

$$(19) \quad \left| 1 - \max_t \frac{\rho_i(t)}{\rho_i^f(t)} \right| \leq \varepsilon_i^f.$$

Максимальные допустимые величины дисбалансов ε^P и ε_i^f первоначально можно определять только экспертным методом, в последующем – на основании накопленного опыта расчетов..

Реализуемость сценария количественно может быть оценена показателями уровня безработицы и реальных денежных доходов населения, темпы изменения которых также должны находиться в некоторых заранее заданных границах.

Приведенные показатели предназначены для оценки качества сценария в основном по экономическим критериям. Целесообразно оценить результаты расчетов также и по социальным критериям. Оценка удовлетворительности качества базового сценария определяется попаданием значений оценочных критериев в определенные границы. Однако здесь также необходима квалификация пользователя-аналитика, т.к. эти границы имеют размытый характер. Набор оценочных критериев также может быть нечетким множеством.

Для выявления причин неудовлетворительного качества сценария предполагается использовать подсистему объяснений. Внесение изменений в сценарий с использованием информации, полученной от подсистемы объяснений, также требует участия человека, т.к. подсистема объяснений может представить большое число таких вариантов изменений.

Идентификация базового сценария осуществляется в рамках данной модели. При идентификации вычисляются следующие коэффициенты пропорциональности, зависящие от времени:

- отношение произведения текущей цены на объем произведенной продукции прошлого года к объему денежных расходов отрасли, за исключением расходов на оборотные средства;
- отношение текущей цены к цене на оборотные средства прошлого года;
- отношение произведения текущей цены на объем произведенной продукции прошлого года к объему денежных средств, предъявляемых к спросу на данную продукцию;
- отношение произведения текущей цены на объем произведенной продукции текущего года к объему денежных расходов на импорт прошлого года;
- отношение произведения текущей цены на объем произведенной продукции текущего года к объему денежных средств, предъявляемых к спросу на данную продукцию;
- отношение суммы доходов населения от собственности и предпринимательской деятельности к суммарному доходу всех отраслей материального производства;

- отношение суммы доходов работников бюджетной сферы к объему расходной части консолидированного бюджета;
- отношение цены в транспортной отрасли к суммарному уровню тарифов на грузовые перевозки в транспортных подсистемах; и другие.

При подготовке сценария для эксперимента следует учесть важное обстоятельство, связанное с тем, что отдельные входные социально-экономические показатели, рассматриваемые в модели как независимые, в общем случае на практике могут быть опосредовано взаимосвязанными через факторы, не рассматриваемые в модели, например, административный ресурс, человеческий фактор. При подготовке сценария- эксперимента, не нужно задавать выходные параметры модели.

Расчет по базовому сценарию, по сценарию для эксперимента, сопоставление результатов расчетов осуществляются в рамках данной модели. При сопоставлении результатов расчетов следует учитывать соображения изложенные выше.

4 Пример расчетов с применением программной оболочки

В приведенном примере показано, какие действия должен выполнить пользователь для формирования расчетной программы, проведения расчетов и анализа результатов. В качестве базового сценария (сценарий «Базовый») для нашего примера рассматривается вариант, зафиксированный в информационных файлах системы моделей. В качестве расчетного сценария выбран сценарий изменения курса доллара (сценарий «Доллар»), при котором курс доллара на третьем году возрастает относительно базового сценария, а в последующие годы соответствует базовому сценарию. В качестве расчетных моделей выбраны:

- модель «Базовая» с базовой формулой для вычисления выпусков продукции отраслей материального производства (формула (3)) и базовой формулой для вычисления цен производителей (формула (8));
- модель («Возможности»), в которой при вычислении выпусков продукции учитываются производственные возможности отраслей (формула (6)). При вычислении цен используется базовая формула (8).
- модель («С учетом спроса»), в которой, в дополнение к предыдущей, при вычислении цен учитывается перепроизводство или наличие дефицита на продукцию отрасли (формула (9)).

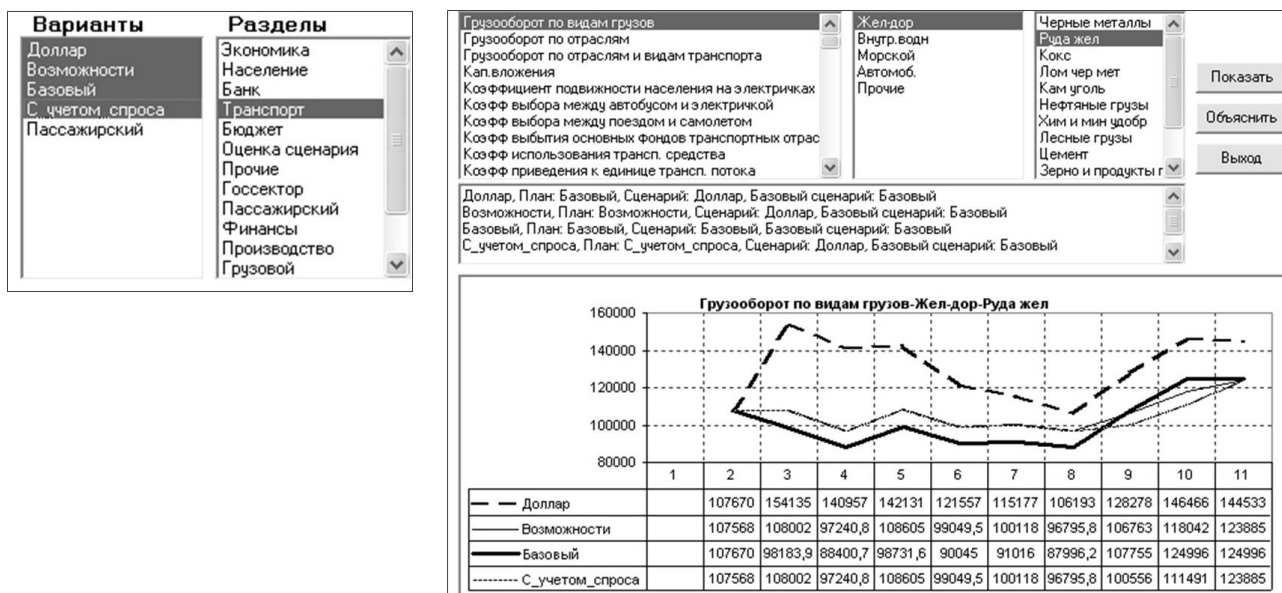


Рис. 2. Числовые результаты контрольного примера

Комбинации расчетных моделей и сценариев составили несколько вариантов расчетов, четыре из которых показаны на рис. 2. В вариантах «Доллар» и «С учетом спроса» предполагается сценарий «Доллар». Для остальных двух - «Базовый».

После выполнения расчетов в системе моделей вызывается подсистема просмотра и объяснения. В нашем случае показана динамика грузооборота железнодорожного транспорта по грузу «Руда железная» (рис 2). На рисунке изображена панель макета подсистемы объяснений для программной оболочки. В центральном окне отражена информация о составляющих вариант расчета модели, сценария и базового сценария.

Из графиков видно, что при неограниченных производственных возможностях увеличение курса доллара в 3-м году ведет к увеличению объемов добычи железной руды и, как следствие, грузооборота данного вида груза во все последующие годы. Если учесть влияние производственных возможностей и их недостаточно для увеличения выпуска продукции, то это приводит к его снижению даже ниже уровня базового сценария. Если также учесть влияние дефицита продукции на цену, то соответствующая кривая грузооборота с 8-го по 11-й год пройдет еще ниже.

Заключение

В данной статье изложен подход к организации сценарного моделирования развития транспортного комплекса, как элемента социально-экономической системы. Основными особенностями рассматриваемого подхода являются:

- разработан модельный комплекс развития транспорта в социально-экономической системе;
- математическая модель описывается графом, вершинами которого являются социально-экономические показатели и показатели транспортного комплекса, а ребра описывают взаимное влияние показателей;
- компьютерная реализация модельного комплекса позволяет проводить многовариантное сценарное моделирование;
- сценарное моделирование включает разработку базового сценария и множество компьютерных экспериментов.

Описана методика применения модельного комплекса, неформальный алгоритм разработки базового сценария, приведен иллюстративный пример многовариантного расчета.

Модельный комплекс может рассматриваться как элемент платформы управления транспортной инфраструктурой страны в целом и отдельных ее регионов

Литература

1. Joel Greenyer, Daniel Gritzner, Guy Katz, and Assaf Marron. (2016). Scenario-Based Modeling and Synthesis for Reactive Systems with Dynamic System Structure in ScenarioTools. Conference: MoDELS 2016 Demo and Poster Sessions At: Saint-Malo, France, October 2-7
2. Guo, Y., Kalidindi, V.V., Arief, M., Wang, W., Zhu, J., Peng, H., & Zhao, D. (2019). Modeling Multi-Vehicle Interaction Scenarios Using Gaussian Random Field. 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC), 3974-3980.
3. Romy Greiner, Javier Puig, Cindy Huchery, Neil Collier, Stephen T. Garnett, Scenario modelling to support industry strategic planning and decision making. Environmental Modelling & Software Volume 55, May 2014, Pages 120-131
4. Papageorgiou, George & Damianou, Pantelis & Pitsillides, Andreas & Aphantis, Thrassos & Ioannou, Petros. (2007). A computer simulation scenario analysis approach as a decision support tool for transportation systems planning. WIT Transactions on The Built Environment. 96. 177-187. 10.2495/UT070181.
5. Papageorgiou, George & Damianou, Pantelis & Pitsillides, Andreas & Aphantis, Thrassos & Charalambous, D. & Ioannou, Petros. (2009). Modelling and simulation of transportation systems: A scenario planning approach. Automata. 50. 39-50.
6. Jacyna-Golda, Ilona & Gołębowski, Piotr & Izdebski, Mariusz & Kłodawski, Michał & Jachimowski, Roland & Szczepański, Emilian. (2017). The evaluation of the sustainable transport system development with the scenario analyses procedure. Journal of Vibroengineering. 19. 5627-5638. 10.21595/jve.2017.19275.
7. Савушкин С.А. Задачи моделирования пакетов транспортных услуг // Труды 12-й международной конференции "Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2019)". 1-3 октября 2019 г. Москва, ИПУ РАН. М.: ИПУ РАН, 2019, С657-668.
8. Tsyganov V. V. and Savushkin S. A. "Intellectual Catalog of Digital Rail Transport Services," 2018 Global Smart Industry Conf. (GloSIC), Chelyabinsk, Russia, 2018, pp. 1-8. DOI: 10.1109/GloSIC.2018.8570150.
9. Савушкин С.А., Цыганов В.В. Каталог услуг в клиентоориентированном управлении транспортной компанией / Труды десятой международной конференции "Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2017". М.: ИПУ РАН, 2017. Т.1. С. 455-465.

10. *Савушкин С.А.* Задачи выравнивания сложностей управления транспортными сетями / Труды одиннадцатой международной конференции "Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2018". М.: ИПУ РАН, 2018. Т II. С. 225-233.
11. *Цыганов В.В., Малыгин И.Г., Еналеев А.К., Савушкин С.А.* Большие транспортные системы: теория, методология, разработка и экспертиза - СПб: ИПТ РАН, 2016.-216с (ISBN 978-5-9908209-3-7)
12. *Поносов Ю.К., Савушкин С.А.* Моделирование развития транспортной системы России (экономико-производственный аспект). – ВИНТИ РАН, 2002. –112с.
13. Комплексное освоение территории Российской Федерации на основе транспортных пространственно-логистических коридоров. Актуальные проблемы реализации мегапроекта «Единая Евразия: ТЕПР–ИЕТС»/Отв. ред. академик РАН В.В. Козлов, член-корреспондент РАН А.А. Макоско; РАН. – М.: Наука, 2019. – 463 с.
14. Инфраструктура Сибири, Дальнего Востока и Арктики. Состояние и 3 этапа развития до 2050 года / Коллективная монография под ред. А.А. Макоско. – М.: ИПТ РАН, 2019. – 465 с.
15. *Цыганов В.В.* Планирование развития инфраструктуры Сибири, Дальнего Востока и Арктической зоны России / Материалы 12-й Международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2019, Москва). М.: ИПУ РАН, 2019. С. 163-166