

УДК 330.44+338.22.021.4

*Регион: экономика и социология, 2015, № 3 (87), с. 37–66*

**Н.И. Суслов, А.Б. Хуторецкий**

## **МОДЕЛЬ ЭКОНОМИКИ РОССИИ КАК ИНСТРУМЕНТ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПРОЕКТОВ**

*Описана модификация оптимизационной межотраслевой межрегиональной модели (ОМММ) экономики страны, допускающая включение в модель крупномасштабного железнодорожного инвестиционного проекта. При фиксированном сценарии развития экономики модель позволяет рассчитать прирост конечного потребления домашних хозяйств в результате реализации проекта. Это макроэкономическая оценка эффективности проекта в данном сценарии. Неопределенность развития экономики учитывается посредством разработки представительного набора сценариев. Сравнение конкурирующих проектов в условиях сценарной неопределенности мы рассматриваем как игру с природой и показываем, что для инвестора целесообразен критерий Вальда, а менеджер имеет основания предпочесть критерий Сэвиджа. Если проекты предполагают государственное финансирование, интересы общества и выбирающих проект государственных служащих могут существенно различаться из-за несовпадения критериев.*

**Ключевые слова:** инвестиционный проект, железнодорожный транспорт, макроэкономическая эффективность, методика оценки, оптимизационная межотраслевая межрегиональная модель, неопределенность сценария

Крупномасштабные проекты железнодорожного транспорта играли весьма заметную, иногда ключевую роль в развитии и дореволюци-

онной России, и СССР. Строительство Транссибирской магистрали, стимулировавшее освоение и заселение Сибири и Дальнего Востока, имело как геополитическое, так и экономическое значение. Байкало-Амурская магистраль значительно усиливает интеграцию восточных районов страны с ее западной и центральной зонами, позволяет вовлечь в оборот ресурсы Дальнего Востока и Восточной Сибири, увеличивает возможности интеграции со странами АТР и освоения растущих рынков этих стран. Дальнейшее развитие Транссиба и БАМа сопряжено с реализацией ряда крупных проектов. Освоение арктической зоны страны потребует строительства новых больших железнодорожных магистралей. Реализация крупномасштабных проектов железнодорожного транспорта необходима и для обеспечения международного транзита товаров.

Межотраслевые межрегиональные модели применяются для оценки последствий и эффективности реализации крупных инвестиционных проектов как за рубежом [12–16; 18; 19], так и в России [3; 5; 8]<sup>1</sup>. В Институте экономики и организации промышленного производства СО РАН в течение многих лет развивается соответствующая методика. Однако до сих пор не предложена достаточно строгая формализация используемых методов, обсуждение которых сводилось главным образом к анализу содержательных постановок и технических приемов «встраивания» проектов в модели. Данная статья претендует на то, чтобы заполнить указанный пробел хотя бы частично. Кроме того, мы попытались при оценке проектов рассматриваемого типа (крупномасштабных долгосрочных инвестиционных железнодорожных проектов) учесть неопределенность условий их реализации. Территори-

---

<sup>1</sup> См. также: *Суслов Н.И.* СОНАР-ТЭК: моделирование и анализ проблем энергетического комплекса в системе национальной экономики // Системное моделирование и анализ мезо- и микроэкономических объектов / Отв. ред. В.В. Кулешов, Н.И. Суслов. – Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2014. – С. 40–111; *Suslov N.* Inter-sector inter-region analysis: estimating consequences of realization of large investment projects in energy sector of Russian economy // Development of Macro and Interindustrial Methods of Economic Analysis: Proceedings of the 21st INFORUM World Conference. Listvyanka, 26–31 August 2013 / Eds. A. Baranov, V. Suslov. – Novosibirsk: IEIE SB RAS, 2014. – P. 188–210.

альная протяженность России настоятельно требует оценки последствий и эффективности реализации таких проектов.

Проект указанного типа (далее – просто проект) порождает значительные макроэкономические, социальные и экологические эффекты, зависящие от состояния внешней среды проекта в период его реализации. Следовательно, методика оценки проекта должна учитывать качественное различие ожидаемых результатов и их количественную неопределенность, связанную с неопределенностью состояния внешней среды проекта. Мы будем предполагать, что оцениваемый проект прошел экспертную проверку, подтвердившую приемлемость его социальных и экологических последствий. Это предположение позволяет далее обсуждать только макроэкономические результаты реализации проекта.

Будем считать проект крупномасштабным, если его реализация изменяет народно-хозяйственную эффективность продуктов и/или ресурсов. Теоретически этим свойством может обладать проект, требующий небольших затрат труда, инвестиций и времени, но долгосрочный и ресурсоемкий проект имеет больше шансов оказаться крупномасштабным в указанном выше смысле.

Для частичного снятия неопределенности, связанной с состоянием внешней среды проекта, будем применять сценарный подход, рассматривая в качестве сценариев варианты долгосрочного прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 г.<sup>2</sup> и документы, в которых сформулирована стратегия развития железнодорожного транспорта на тот же период<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup> См.: *Прогноз* долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года / Министерство экономического развития РФ. 2013. – URL: [government.ru/media/files/41d457592e04b76338b7.pdf](http://government.ru/media/files/41d457592e04b76338b7.pdf).

<sup>3</sup> См.: *Стратегия* развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года. Утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р. – URL: [http://www.mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT\\_ID=13009](http://www.mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT_ID=13009); *Программа* действий по развитию железнодорожных контейнерных перевозок с использованием Транссибирской магистрали на период до 2015 года. Утв. распоряжением ОАО РЖД № 1232р. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902184594>.

В данной статье в разделе 2 описана оптимизационная межотраслевая межрегиональная модель с выделением подотрасли «железнодорожный транспорт общего пользования» (указанная модификация модели опубликована в работе [2], а в работе [7] ей присвоено название ОМММ-ЖДТ). Эту модель, далее для краткости называемую ОМММ, мы предлагаем использовать для макроэкономической оценки проекта как в условиях фиксированного сценария (раздел 3), так и при сценарной неопределенности (раздел 4).

Если получены оценки проекта в условиях каждого из рассматриваемых сценариев, то оценку проекта с учетом неопределенности состояния внешней среды можно получить, используя оценочную функцию одного из критериев выбора стратегии в игре с природой. Эти же критерии позволяют выбрать предпочтительный проект (вариант проекта), как показано в разделе 5.

## 1. АДАПТАЦИЯ ОМММ К СЦЕНАРИЮ

Каждый сценарий указывает (точно или интервально) прогнозируемые значения некоторых макроэкономических или иных важных параметров развития российской экономики на перспективу. Множество этих параметров обозначим  $M$ .

Пусть  $\mathbf{p}$  – вектор значений параметров ОМММ,  $x$  – решение соответствующей оптимизационной задачи. Зная  $\mathbf{p}$  и  $x$ , можно найти расчетные значения параметров, входящих в множество  $M$ . Будем говорить, что ОМММ *настроена на сценарий*, если:

- 1) компоненты вектора  $\mathbf{p}$  согласованы со статистической информацией и тенденциями базового периода;
- 2) расчетные значения параметров из  $M$  согласованы с их сценарными значениями.

Некоторые параметры модели, настроенной на данный сценарий, можно извлечь из сценария и отраслевых прогнозов, другие приходится определять экспертно и уточнять в процессе численных экспериментов.

В работах [2; 6]<sup>4</sup> упоминаются варианты ОМММ, настроенные на сценарии (инерционный, энерго-сырьевой и инновационный), входящие в Концепцию долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года<sup>5</sup>. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2030 года формулирует сценарии (консервативный, инновационный и форсированный), которые уточняют предшествующие прогнозы и распространяют их на более удаленную перспективу. По-видимому, необходима настройка модели на указанные сценарии.

Решение ОМММ, настроенной на некоторый сценарий социально-экономического развития РФ, дезагрегирует макроэкономический прогноз: указывает структуру (отраслевую и пространственную) экономики, в условиях данного сценария обеспечивающую максимум конечного потребления домохозяйств [6, с. 11].

## 2. ИСХОДНАЯ МОДЕЛЬ

Последний по времени вариант однопериодной ОМММ приведен в работе [1, с. 23–28]. Естественным развитием модели является двухпериодная ОМММ [4, разд. 3.4], состоящая из двух однопериодных блоков. Детализация транспортных связей в двухпериодной ОМММ с выделением подотрасли «железнодорожный транспорт общего пользования» описана в работе [2]. Ниже записан однопериодный региональный блок ограничений ОМММ в соответствии с указанными публикациями. Изложенная в настоящей статье методика оценки проектов формально предполагает использование однопериодной ОМММ, но очевидным образом может быть применена и к двухпериодной модели.

---

<sup>4</sup> См. также: *Разработка рекомендаций по оценке воздействия проектов строительства новых железнодорожных линий на макроэкономические показатели (ВВП) с учетом их назначения в соответствии со «Стратегией развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 г.»*: Отчет о научно-исследовательской работе. – Новосибирск: СГУПС, 2008.

<sup>5</sup> См.: *Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года*. Утв. распоряжением Правительства Российской Федерации № 1662-р от 17.10.2008. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_90601/?frame=1](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_90601/?frame=1) .

### Номенклатура

$I$  – множество (номеров) отраслей, производящих продукты и услуги;

$T \subset I$  – множество (номеров) видов транспорта;

$G \subset I \setminus T$  – множество (номеров) инвестиционных отраслей;

$R$  – множество (номеров) регионов;

$S(r) \subset R \setminus \{r\}$  при  $r \in R$  – множество (номеров) регионов, смежных с регионом  $r$ .

Мощность по производству товаров, услуг или транспортной работы будем называть «старой», если она существовала в начале планового периода, и «новой», если она создана в течение этого периода. Если не оговорено противное, будем считать, что  $j \in I, i \in I \setminus T, g \in G, T, r \in R, s \in S(r)$ .

### Переменные

$x_i^{r0}$  и  $x_i^{r1}$  – объемы производства продукции отрасли  $i$  в регионе  $r$  на старых и новых мощностях соответственно;

$x_i^{rs}$  – объем перевозок продукции отрасли  $i$  из региона  $r$  в регион  $s$  транспортом вида  $i$ ;

$x^{r0}$  и  $x^{r1}$  – объемы транспортной работы, выполняемой транспортом вида  $i$  в регионе  $r$  за счет старых и новых мощностей соответственно;

$u_g^{r1}, U_g^r$  – объемы инвестиций вида  $g$  в регионе  $r$  в последнем году планового периода и суммарно за период;

$Z$  – величина конечного потребления домашних хозяйств.

Все переменные, кроме  $U_g^r$ , относятся к последнему году планового периода.

### Параметры

$a_{ij}^{r0}$  и  $a_{ij}^{r1}$  – затраты продукции отрасли  $i$  на единицу выпуска отрасли  $j$  в регионе  $r$  на старых и новых мощностях соответственно;

$a^r_i$  – удельные затраты транспортной работы вида в регионе  $r$  на внутрирегиональные перевозки продукции отрасли  $i$ ;

$a^{rs}_{ir}$  и  $a^{sr}_{ir}$  – удельные затраты транспортной работы вида в регионе  $r$  на вывоз в регион  $s$  и на ввоз из региона  $s$  продукции отрасли  $i$  соответственно;

$l^r_j$  и  $l^{r1}_j$  – затраты труда в регионе  $r$  на единицу выпуска продукции отрасли  $j$  на старых и новых мощностях соответственно;

$k^{r0}_{gj}$  и  $k^{r1}_{gj}$  – затраты (в течение планового периода) инвестиций вида  $g$  в регионе  $r$  на поддержание единичной мощности и на единичный прирост мощности в отрасли  $j$  соответственно;

$r_j$  – доля отрасли  $j$  региона  $r$  в общероссийском объеме конечного потребления домашних хозяйств;

$q^r_j$  – фиксированная часть потребности в продукции отрасли  $j$  в регионе  $r$  (приросты запасов и потери, см. [9, с. 31]);

$L^r$  – лимит трудовых ресурсов в регионе  $r$ ;

$Q^{r0}_j$  – верхняя граница выпуска продукции отрасли  $j$  в регионе  $r$  на старых мощностях;

$m^r_j$  и  $M^r_j$  – соответственно нижняя и верхняя границы прироста мощности отрасли  $j$  в регионе  $r$  за период.

Все параметры, кроме  $k^{r0}_{gj}$ ,  $k^{r1}_{gj}$ ,  $m^r_j$ ,  $M^r_j$  и  $Q^{r0}_j$ , относятся к последнему году планового периода.

### Гипотеза о динамике инвестиций

Пусть  $u^{r0}_g$  – объем инвестиций вида  $g$  в регионе  $r$  в базовом году. Чтобы увязать значения  $u^{r0}_g$ ,  $u^{r1}_g$  и  $U^r_g$ , необходимо принять некоторое предположение о динамике инвестиций вида  $g$  в регионе  $r$  в течение планового периода.

Объем инвестиций вида  $g$  в регионе  $r$  в году  $t$  обозначим  $u^r_g(t)$ . Предположим, что величина инвестиций года  $t + 1$  зависит только от  $u^r_g(t)$  и подлежащего определению параметра  ${}^r_g : u^r_g(0) \rightarrow u^{r0}_g$ ,

$u_g^r(t-1) = f_g^r(u_g^r(t), r_g)$  для  $t = 0$ . Эти рекуррентные соотношения задают  $u_g^r(t)$  и, следовательно,  $U_g^r$  как функции от  $u_g^{r0}$  и  $r_g$ . Зависимость от известной величины  $u_g^{r0}$  можно не указывать, поэтому обозначим  $u_g^{r1} = u_g^r(T) = u_g^r(r_g), U_g^r = U_g^r(r_g)$ .

### Ограничения

В модель входят условия неотрицательности всех переменных и для каждого  $r \in R$  следующие ограничения:

$$\begin{aligned} x_i^{r0} - x_i^{r1} - \sum_j a_{ij}^{r0} x_j^{r0} + \sum_j a_{ij}^{r1} x_j^{r1} - r_i Z & \\ (x_i^{sr} - x_i^{rs}) - q_i^r \text{ для } i \in I \setminus T \cup G; & \\ s \in S(r) & \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} x_g^{r0} - x_g^{r1} - \sum_j a_{gj}^{r0} x_j^{r0} + \sum_j a_{gj}^{r1} x_j^{r1} - r_g(r_g) - r_g Z & \\ (x_g^{sr} - x_g^{rs}) - q_g^r \text{ для } g \in G; & \\ s \in S(r) & \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} x^{r0} - x^{r1} - \sum_j a_j^r (x_j^{r0} - x_j^{r1}) - \sum_{j \in S(r)} (a_{rj}^{rs} - a_j^r) x_j^{rs} & \\ (a_{rj}^{sr} - a_j^r) x_j^{sr} - r Z - q^r \text{ для } r \in T; & \\ j \in S(r) & \end{aligned} \quad (3)$$

$$l_j^{r0} x_j^{r0} - l_j^{r1} x_j^{r1} - L_j^r; \quad (4)$$

$$k_{gj}^{r0} x_j^{r0} - k_{gj}^{r1} x_j^{r1} - r_g(r_g) = 0 \text{ для } g \in G; \quad (5)$$

$$x_j^{r0} - Q_j^{r0} \text{ для } j \in I; \quad (6)$$

$$x_j^{r1} - m_j^r, x_j^{r1} - M_j^r \text{ для } j \in I. \quad (7)$$

Ограничения (1) балансируют производство и распределение продукции и услуг всех отраслей, за исключением транспортных и капи-

талообразующих. Ограничения (2) и (3) играют ту же роль в отношении инвестиционной продукции и транспортной работы. Для упрощения модели предположим, что объемы экспорта/импорта в последнем году планового периода заданы экзогенно. Тогда можно считать, что эти объемы и связанная с ними транспортная работа учтены в правых частях ограничений (1)–(3) для пограничных регионов (включение в ОМММ эндогенных переменных экспорта/импорта см. в работе [4, разд. 3.4]). Условия (4) и (5) – балансы труда и инвестиций соответственно. Смысл ограничений (6) и (7) очевиден.

### Целевая функция

ОМММ максимизирует конечное потребление домашних хозяйств:

$$Z \quad \max. \quad (8)$$

### Линеаризация модели

Задачу (1)–(8) обозначим  $P$ . Если функции  $f_g^r$  линейны, то функции  $\frac{r}{g}(\frac{r}{g})$ ,  $\frac{r}{g}(\frac{r}{g})$  и задача (1)–(8) в целом тоже линейны. Если же для некоторых  $g, r$  функция  $f_g^r$  нелинейна, то заменив  $\frac{r}{g}(\frac{r}{g})$  и  $\frac{r}{g}(\frac{r}{g})$  их кусочно-линейными аппроксимациями, получим задачу  $\hat{P}$ . Эта задача тоже нелинейна, но при некоторых условиях можно построить эквивалентную ей задачу линейного программирования  $\tilde{P}$ . В работе [4, с. 25–27] построена такая задача для случая

$$u_g^r(t-1) \quad \frac{r}{g} u_g^r(t).$$

Используя те же идеи, можно распространить этот результат на более широкий класс функций. Если функции  $f_g^r$  непрерывны, то  $\frac{r}{g}(\frac{r}{g})$  и  $\frac{r}{g}(\frac{r}{g})$  можно с любой заданной точностью аппроксимировать кусочно-линейными функциями. Однако не всегда можно построить задачу линейного программирования  $\tilde{P}$ , эквивалентную задаче  $\hat{P}$ . Достаточные условия линеаризуемости задачи  $\hat{P}$  сформулирова-

ны в Приложении. Если для всех  $g$  и  $r$  функции  $f_g^r$  дифференцируемы в области возможных значений параметра  $\frac{r}{g}$ , то упомянутые достаточные условия выглядят следующим образом:

либо  $\frac{r}{g}(\frac{r}{g})$  и  $\frac{r}{g}(\frac{r}{g})$  монотонно возрастают, а отношение  $[\frac{r}{g}(\frac{r}{g})] / [\frac{r}{g}(\frac{r}{g})]$  монотонно убывает;

либо  $\frac{r}{g}(\frac{r}{g})$  и  $\frac{r}{g}(\frac{r}{g})$  монотонно убывают, а отношение  $[\frac{r}{g}(\frac{r}{g})] / [\frac{r}{g}(\frac{r}{g})]$  монотонно возрастает.

### 3. ВКЛЮЧЕНИЕ ПРОЕКТА В ОМММ

Будем далее считать, что записанные выше достаточные условия линейаризуемости выполнены и ОМММ – это линейная задача  $\tilde{P}$  (см. Приложение), т.е. задача (1)–(8), в которой  $\frac{r}{g}(\frac{r}{g})$  и  $\frac{r}{g}(\frac{r}{g})$  выражены линейно через вспомогательные переменные  $\frac{k}{gr} \in [0, 1]$ .

Крупномасштабный долгосрочный инвестиционный железнодорожный проект (только о таких проектах мы говорим) предполагает создание в каждом регионе зоны его реализации мощностей для выполнения транспортной работы. Будем называть их *проектными мощностями*. Можно считать, что проект порождает новый *технологический способ*, который в каждом регионе производит некоторое количество работы железнодорожного транспорта, потребляя продукцию других отраслей, капиталовложения и трудовой ресурс. Этот способ можно включить в исходную ОМММ, настроенную на некоторый сценарий, если описание проекта соответствует информационной структуре модели.

Проектные мощности могут дать экономический эффект, даже если их ввод не обеспечивает увеличения суммарной мощности по выполнению транспортной работы на рассматриваемом направлении, а замещает некоторые старые мощности. В таком случае речь идет о реконструкции участков железнодорожной сети, что может включать замену путей, расширение возможностей для парковки или маневрирования, замену подвижного состава. При этом основным ис-

точником экономического эффекта является снижение издержек на осуществление перевозок.

Эффект от ввода новых мощностей будет больше, если они увеличивают возможный объем транспортной работы, вследствие чего возрастают грузопотоки к местам полезного использования грузов. Варианты такого использования определены структурой модели: на экспорт, для внутренней переработки (например, сырья), для организации новых производств. Использование дополнительных грузов может увеличить эффективность экономики за счет снижения удельных затрат производственных ресурсов, включая труд. Тогда в оптимальном решении мы увидим рост выпуска продукции, добавленной стоимости, конечного потребления.

Возможные схемы проявления эффектов от реализации проекта определены структурой модели. В частности, описанный ниже способ включения проекта в ОМММ отражает увеличение экспорта продукции, производимой в результате реализации проекта (например, введение в оборот новых месторождений или строительство заводов по переработке добываемого сырья), и увеличение ввоза продукции, производство которой внутри страны обходится дороже, чем ее импорт. Рост валютной выручки позволит увеличить импорт продукции, нужной для развития российской экономики, например инвестиционных товаров, что даст экономический эффект. Этот эффект предопределен описанием проекта, поэтому полный эффект от его реализации не может быть меньше.

Расчеты с использованием ОМММ-ЖДТ позволят оценить комплексные последствия и эффективность реализации проекта, включая

- *прямые эффекты*, связанные с изменением спроса на продукцию и ресурсы со стороны железнодорожного транспорта;
- *внешние эффекты*, связанные с ростом внешней торговли и полезным использованием импортируемой продукции;
- *косвенные эффекты*, отражающие общую структурную перестройку экономики, увеличение выпуска и конечного использования продукции, что должно привести к улучшению макроэкономических показателей.

Встраивание проекта в модель предполагает изменение некоторых ее экзогенных параметров. Предположим, что в описании проекта указаны следующие параметры:

$u_{0g}^r$  и  $U_{0g}^r$  – потребности проекта в инвестициях вида  $g \in G$  для региона  $r$  в последнем году планового периода и суммарно за период;

$M_0^r$  – проектная мощность, которая должна быть создана в регионе  $r$ ;

$L_0^r$  и  $g_{0j}^r$  – прогнозируемые затраты труда и продукции отрасли  $j$  на транспортную работу, выполняемую на проектных мощностях в регионе  $r$  в последнем году планового периода;

$ex_{0j}^r$  и  $im_{0j}^r$  для  $j \in I \setminus T$  – прогнозируемые объемы экспорта и импорта продукции отрасли  $j$  в регионе  $r$ , возникающие вследствие реализации проекта.

Пусть  $t \in T$  – номер железнодорожного транспорта в номенклатуре ОМММ. Модифицируем исходную ОМММ следующим образом:

а) правые части ограничений (1) для  $i \in I \setminus (T \cup G)$  и ограничений (2) для  $g \in G$  заменим на  $q_i^r - q_{0i}^r - ex_{0i}^r + im_{0i}^r$  и  $q_g^r - q_{0g}^r - ex_{0g}^r + im_{0g}^r$  соответственно;

б) правую часть ограничения (3) для  $t$  заменим на  $q_t^r - M_0^r$ ;

в) правую часть ограничения (4) заменим на  $L^r - L_0^r$ ;

г) правую часть ограничения (5) заменим на  $U_{0g}^r$ .

Модифицированные ограничения (1)–(5) будем обозначать (1')–(5'). Переменная  $x_i^{r1}$  теперь указывает объем транспортной работы железнодорожного транспорта в регионе  $r$  за счет мощностей, созданных в плановом периоде за рамками проекта. Параметры  $m_j^r$  и  $M_j^r$  теперь интерпретируем как границы не связанного с проектом прироста мощности по производству транспортной работы железнодорожного транспорта в регионе  $r$  за период.

Построенную указанным образом модель обозначим ОМММ-П. Это исходная ОМММ, модифицированная изменением правых частей ограничений. Пусть  $b_0$  – вектор правых частей ограничений (1)–(7),  $b_1$  – вектор правых частей ограничений (1')–(5'), (6), (7). Положим  $P = b_0 - b_1$ . Вектор-столбец  $P$  описывает соответствующий проекту технологический способ, который входит в ОМММ-П с фиксированной (единичной) интенсивностью. Такой подход к отражению проекта в ОМММ использован, например, в работах [3; 5; 8].

Ограничение (3') для  $t$  распределяет проектную транспортную мощность  $M_0^r$  (совместно с величиной  $x_i^{r0} - x_i^{r1}$ ) между переменными межрегиональными перевозками. Ограничения (1') и (2') обеспечивают проект продукцией нетранспортных отраслей. Ограничение (4') резервирует для проекта трудовые ресурсы.

Проектные инвестиции в ограничениях (5') требуют увеличения  $\begin{pmatrix} r \\ g \end{pmatrix}$ . Тогда в соответствии с достаточными условиями линеаризуемости задачи (см. раздел 2) в ограничениях (2') растут затраты инвестиционных продуктов  $\begin{pmatrix} r \\ g \end{pmatrix}$  и, следовательно, растет производство этих продуктов.

Если  $ex_{0j}^r - im_{0j}^r = 0$  для всех  $j$  и  $r$ , то можно ожидать, что включение проекта в модель приведет к частичной замене действующих мощностей проектными, общий объем перевозок существенно не изменится и значительные внешние эффекты не возникнут. В этом случае реализация проекта должна увеличить эффективность железнодорожных перевозок за счет, например, снижения затрат, увеличения скорости движения на реконструированных участках и т.д. Если же  $ex_{0j}^r > 0$  или  $im_{0j}^r > 0$  для некоторых  $j$  и  $r$ , то внешние эффекты, как правило, присутствуют. Важно, чтобы экспортировалась продукция только тех отраслей, которые формируют конкурентные преимущества России, т.е. обеспечивают удельные издержки, меньшие, чем у зарубежных производителей аналогичной продукции. Параметры  $ex_{0j}^r$  и  $im_{0j}^r$  следует задавать так, чтобы для каждого вида продукции ис-

ключить совмещение экспорта и импорта: если  $ex_{0j}^r = 0$  для какого-то  $r$ , то  $im_{0j}^r = 0$  для всех  $r$ . И, следовательно, если  $im_{0j}^r = 0$  для какого-то  $r$ , то  $ex_{0j}^r = 0$  для всех  $r$ . Предположим, что выполнено балансовое условие

$$\sum_{j \in I \cap T} p_{jr}^{ex} ex_{0j}^r = \sum_{j \in I \cap T} p_{jr}^{im} im_{0j}^r, \quad (9)$$

где  $p_{jr}^{ex}$  и  $p_{jr}^{im}$  – экспортная и импортная цены продукта  $j$  в регионе  $r$ . Условие (9) требует, чтобы вся экспортная выручка использовалась на закупку импортной продукции<sup>6</sup>.

#### 4. ОЦЕНКА ПРОЕКТА

**Оценка проекта при фиксированном сценарии.** Рассмотрим модель ОМММ-П, полученную из исходной ОМММ, настроенной на некоторый сценарий. Будем считать, что целью проекта является увеличение конечного потребления домашних хозяйств в рамках сценарных параметров и с соблюдением ограничений ОМММ-П. Предположим, что задача оптимизации, соответствующая ОМММ-П, совместна, т.е. проект может быть выполнен.

Пусть  $Z_0^*$  и  $Z^*$  – оптимальные значения целевых функций в ОМММ и ОМММ-П соответственно. Проект *целесообразен* в данном сценарии, если: а)  $Z^* \geq Z_0^*$ ; б) оптимальное решение задачи ОМММ-П согласуется с рассматриваемым сценарием.

Введем обозначения двойственных оценок ограничений исходной ОМММ:

$p_j^r$  для  $j \in I$  – оценки ограничений (1)–(3);

$w^r$  – оценки ограничений (4);

<sup>6</sup> Это условие можно ослабить, заменив его фиксацией нижней границы для сальдо внешнеторгового баланса в рамках проекта, как это сделано в работе [4] (строка 1 на с. 40) для экономики в целом.

$v_g^r$  для  $g \in G$  – оценки ограничений (5).

Проект, включенный в ОМММ (см. раздел 2), можно рассматривать как технологический способ, реализуемый с единичной интенсивностью. *Оценкой* (относительной стоимостью) этого способа является величина

$$r_i \in \mathbb{N} \quad (q_{0i}^r \quad ex_{0i}^r \quad im_{0i}^r) p_i^r \quad M_0^r p_t^r \quad L_0^r w^r \quad U_{0g}^r \quad v_g^r \quad .$$

В результате включения проекта в ОМММ оптимальное значение целевой функции модели возрастет, если  $v_g^r > 0$ ; не изменится, если  $v_g^r = 0$ ; уменьшится, если  $v_g^r < 0$ <sup>7</sup>. Следовательно,  $v_g^r = 0$  – необходимое условие целесообразности проекта.

Второе условие целесообразности проекта требует, чтобы значения макроэкономических показателей (из множества  $M$ , см. раздел 1), рассчитанные по оптимальному решению задачи ОМММ-II, не противоречили указанным в сценарии прогнозным значениям этих показателей.

Если ОМММ-II несовместна (проект в рассматриваемом сценарии невыполним) или ее решение не обеспечивает приемлемые значения макроэкономических параметров, то проект, по-видимому, требует корректировки. В противном случае оценкой проекта является величина  $Z^* - Z_0^*$ <sup>8</sup>.

Теперь мы можем дать формальное определение крупномасштабного (при фиксированном сценарии) проекта: это проект, для которого двойственные оценки ограничений исходной ОМММ и ОМММ-II различаются. Если проект не является крупномасштабным, то его

<sup>7</sup> Обоснование см. в § 4.11.3 книги: Хуторецкий А.Б. Модели исследования операций: введение в предмет, нелинейное программирование, выпуклое программирование, линейное программирование. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006.

<sup>8</sup> При сравнении нескольких проектов в условиях неопределенности сценария не всегда необходимо корректировать или исключать из рассмотрения проект, для которого  $Z^* - Z_0^*$  в каком-то сценарии. Такой проект может даже оказаться лучшим, если имеет высокие оценки в других сценариях.

оценку можно найти, не решая задачу оптимизации, соответствующую ОМММ-П, так как  $Z^* - Z_0^*$ .

**Оценка проекта при неопределенности сценария.** Допустим, что неопределенная внешняя среда проекта описана сценариями  $A_1, \dots, A_n$ , вероятности реализации которых неизвестны. Допустим также, что лицо, принимающее решения (ЛПР), сравнивает проекты (варианты проектов)  $P_1, \dots, P_m$ . Введем в рассмотрение фиктивный «проект»  $P_0$ , состоящий в том, что ни один из проектов  $P_1, \dots, P_m$  не реализуется. Пусть  $X = \{P_0, P_1, \dots, P_m\}$  – множество рассматриваемых проектов,  $M_{ij}$  – задача оптимизации, полученная включением проекта  $P_i$  в ОМММ, настроенную на сценарий  $A_j$ . Понятно, что задача  $M_{0j}$  – это ОМММ, настроенная на сценарий  $A_j$ .

Предположим, что для всех  $i > 1$  задачи  $M_{ij}$  разрешимы, причем оптимальное решение задачи  $M_{ij}$  согласовано со сценарием  $A_j$ . Тогда для любой пары  $(i, j)$  определена оценка  $u_{ij}$  проекта  $P_i$  в условиях сценария  $A_j$  (разность оптимальных значений целевой функции в задачах  $M_{ij}$  и  $M_{0j}$ ). Ясно, что оценка проекта  $P_0$  в любом сценарии равна нулю. Будем интерпретировать  $u_{ij}$  как «выигрыш» ЛПР от реализации проекта в условиях сценария  $A_j$ .

Используя модель «игра с природой»<sup>9</sup>, ситуацию выбора проекта при неопределенном сценарии можно формализовать в виде  $(X, A, U)$ , где  $X = \{P_0, P_1, \dots, P_m\}$  – множество проектов (*стратегий* ЛПР);  $A = (A_1, \dots, A_n)$  – множество сценариев (*состояний природы*);  $U = (u_{ij})$  – оценочная матрица (*матрица последствий*) размерности  $(m + 1) \times n$ .

Оценкой проекта по совокупности сценариев можно считать значение *оценочной функции* любого из классических критериев выбора решения в условиях неопределенности. Мы имеем в виду критерии Лапласа, Вальда, Гурвица, Сэвиджа.

Оценочная функция Лапласа имеет вид

$$La(P_i) = \frac{1}{n} \sum_j u_{ij}.$$

<sup>9</sup> См., например: [10, разд. 5].

Интуитивным обоснованием этой оценки является то, что ЛПР, не зная вероятностей реализации сценариев, полагает одинаково значимыми выигрыши, доставляемые проектом в разных сценариях, а оценкой проекта по совокупности сценариев он считает средний (по сценариям) выигрыш.

Оценочная функция Вальда – это гарантированный выигрыш ЛПР:

$$Wa(P_i) = \min\{u_{i1}, \dots, u_{in}\}.$$

Пусть  $m_i = Wa(P_i)$ ,  $M_i = \max\{u_{i1}, \dots, u_{in}\}$ . Оценочная функция Гурвица имеет вид

$$Hu(\alpha, P_i) = (1 - \alpha)m_i + \alpha M_i,$$

где  $\alpha \in [0, 1]$  – параметр, определяемый ЛПР и интерпретируемый как показатель склонности ЛПР к риску в рассматриваемой ситуации.

Положим  $R_j = \max\{u_{1j}, \dots, u_{mj}\}$ . Величину  $r_{ij} = R_j - u_{ij}$  интерпретируют как упущенную выгоду, *сожаление* ЛПР в случае выбора проекта  $P_i$  в условиях сценария  $A_j$ . Теперь можем записать оценочную функцию Сэвиджа:  $Sa(P_i) = \max\{r_{i1}, \dots, r_{in}\}$ . Она, в отличие от описанных выше функций Лапласа, Вальда и Гурвица, оценивает проект не автономно, а относительно набора конкурирующих проектов.

## 5. ВЫБОР ПРОЕКТА ПРИ НЕОПРЕДЕЛЕННОМ СЦЕНАРИИ

*О применении критериев Лапласа, Вальда, Гурвица, Сэвиджа.* Критерии Лапласа, Вальда и Гурвица выбирают проекты, максимизирующие на множестве  $X$  соответствующую оценочную функцию. Критерий Сэвиджа выбирает проекты, минимизирующие на множестве  $X$  функцию  $Sa(P_i)$ , или, эквивалентно, максимизирующие функцию  $-Sa(P_i)$ .

Применяя критерий Гурвица, целесообразно не фиксировать значение параметра  $\alpha$ , а определить для каждого  $i \in \{0, 1, \dots, m\}$  диапазон (возможно, пустой) значений параметра, при которых проект  $P_i$  максимизирует функцию  $Hu(\alpha, P_i)$ . Для этого нужно при каждом  $i$  решить

систему линейных неравенств относительно  $\alpha \geq 0$  и  $Hu(\alpha, P_i)$

$Hu(\alpha, P_k)$ , если  $k \neq i$ . Такой анализ дает, в частности, информацию о результатах выбора по критерию Вальда, поскольку функция  $Wa(P)$  есть частный случай функции  $Hu(\alpha, P)$  при  $\alpha = 0$ .

Каждый критерий выделяет из множества рассматриваемых проектов подмножество всех проектов, оптимальных по этому критерию. Если какой-то проект  $P \in X$  оптимален по критериям Лапласа, Вальда и Сэвиджа, а также выбирается по критерию Гурвица в приемлемом для ЛППР диапазоне значений параметра  $\alpha$  (который, напомним, интерпретируется как показатель склонности ЛППР к риску), то решение очевидно. Однако подмножества проектов, оптимальных по разным критериям, как правило, различаются. В таких случаях проблема выбора проекта превращается в проблему выбора критерия. Чтобы решить, какой критерий лучше отражает специфику рассматриваемой ситуации, нужно учитывать основные свойства предпочтений, порождаемых функциями выбора на множестве всех проектов (см. ниже).

**Свойства предпочтений на множестве проектов.** Предположим, что оценочная функция  $g(P)$ , использующая только элементы матрицы  $U$ , определяет на множестве  $X$  отношение предпочтения  $\succsim$ . Без ограничения общности можем считать, что  $P_i \succsim P_k$  эквивалентно  $g(P_i) \geq g(P_k)$ <sup>10</sup>.

Введем следующие обозначения:

Запись  $P_i \succ P_k$  означает, что проект  $P_i$  не менее предпочтителен, чем проект  $P_k$ ;

$P \succ P_k$  (проект  $P_i$  предпочтительнее проекта  $P_k$ ), если  $P_i \succ P_k$  и неверно, что  $P_k \succ P_i$ ;

$P_i \sim P_k$  (проекты  $P_i$  и  $P_k$  равноценны), если  $P_i \succ P_k$  и  $P_k \succ P_i$ .

Следуя работе [17], перечислим желательные свойства порождаемого функцией выбора отношения предпочтения на множестве проектов.

<sup>10</sup> Если  $P_i \succsim P_k$  эквивалентно  $g(P_i) \geq g(P_k)$ , как для оценочной функции Сэвиджа, то заменим функцию  $g$  функцией  $-g$ .

1. *Полнота и транзитивность*. Для любой пары проектов  $P_i$  и  $P_k$  выполняется хотя бы одно из соотношений  $P_i \succcurlyeq P_k$ ,  $P_k \succcurlyeq P_i$ . Если  $P_i \succcurlyeq P_k$  и  $P_k \succcurlyeq P_l$ , то  $P_i \succcurlyeq P_l$ .

2. *Независимость от нумераций (симметричность)*. Предположим, что матрица  $U_1$  получена из матрицы  $U$  перестановкой строк и/или столбцов. Применяя функцию  $g$  к матрице  $U_1$ , получим отношение предпочтения  $\succcurlyeq_1$  на множестве  $X$ . Независимость от нумераций означает, что  $P_i \succcurlyeq P_k$  эквивалентно  $P_i \succcurlyeq_1 P_k$  для всех  $i$  и  $k$ , отношение предпочтения не зависит от нумерации проектов и сценариев.

3. *Сохранение сильного доминирования*. Если  $u_{ij} > u_{kj}$  для всех  $j$  то  $P_i \succ P_k$ .

4. *Непрерывность*. Предположим, что матрица  $U$  является пределом последовательности матриц  $U_t, t \in \{1, 2, \dots\}$  и отношение  $\succcurlyeq_t$  получено применением функции  $g$  к матрице  $U_t$ . Отношение  $\succcurlyeq$  непрерывно, если  $P_i \succ_t P_k$  для всех  $t$  влечет  $P_i \succcurlyeq P_k$ .

5. *Линейность*. Отношение предпочтения не изменится, если для всех пар  $(i, j)$  заменить  $u_{ij}$  на  $au_{ij} + b$ , где  $a > 0$ .

6. *Независимость от посторонних стратегий*. Допустим, что множество сравниваемых проектов дополнено проектом  $P_{m+1}$ ,  $X_1 \subset X \cup \{P_{m+1}\}$ . Тогда матрица последствий  $U_1$  – это матрица  $U$ , дополненная строкой  $(u_{m+1,1}, \dots, u_{m+1,n})$ . Пусть функция выбора  $g$  в этой ситуации порождает отношение  $\succcurlyeq_1$  на множестве  $X_1$ . Независимость от посторонних стратегий означает, что  $P_i \succcurlyeq P_k$  эквивалентно  $P_i \succcurlyeq_1 P_k$  для всех  $P_i$  и  $P_k$  из  $X$ .

7. *Независимость от равномерного улучшения (линейность по столбцам)*. Если ко всем элементам некоторого столбца матрицы  $U$  прибавить одно и то же число, то отношение предпочтения на множестве проектов не изменится.

8. *Независимость от дублирования столбцов*. Если в матрице  $U$  есть одинаковые столбцы и матрица  $U_1$  получена удалением одного из них, то применение функции  $g$  к матрицам  $U$  и  $U_1$  порождает одинаковые отношения предпочтения на множестве  $X$ .

9. *Выпуклость*. Если  $P_k \sim P_l$  и  $u_{ij} > (u_{kj} + u_{lj})/2$  для всех  $j$ , то  $P_i \succcurlyeq P_k$ .

10. Слабая независимость от посторонних стратегий. Допустим, что множество сравниваемых проектов дополнено проектом  $P_{m-1}$ ,  $X_1 \setminus X = \{P_{m-1}\}$ , а  $U_1$  – это матрица  $U$ , дополненная строкой  $(u_{m-1,1}, \dots, u_{m-1,n})$ . Пусть функция выбора  $g$  в этой ситуации порождает отношение  $\succsim_1$  на множестве  $X_1$ . Если какой-то проект  $P_i \in X$  во всех сценариях не хуже, чем проект  $P_{m-1}$  (эквивалентно  $u_{m-1,j} \leq u_{ij}$  для всех  $j$ ), то отношения  $\succsim$  и  $\succsim_1$  совпадают на множестве  $X$ .

В таблице знаком « » отмечены свойства, которыми обладают отношения предпочтения, соответствующие рассматриваемым функциям выбора. Отношения предпочтения на множестве проектов, порожденные оценочными функциями Лапласа, Вальда, Гурвица и Сэвиджа, обозначим  $\succsim_{La}$ ,  $\succsim_{Wa}$ ,  $\succsim_{Hu}$  и  $\succsim_{Sa}$  соответственно. Из таблицы видно, что все введенные выше отношения обладают свойствами 1–5 и 10. Кроме того, для отношения  $\succsim_{La}$  выполняются свойства 6, 7, 9, для отношения  $\succsim_{Wa}$  – свойства 6, 8, 9, для отношения  $\succsim_{Hu}$  – свойства 6, 8, для отношения  $\succsim_{Sa}$  – свойства 7, 8, 9 (доказательства см. в работе [17, теорема 1]).

**Свойства отношений предпочтения, порожденных функциями выбора**

Свойство	Функция выбора			
	Лапласа	Вальда	Гурвица	Сэвиджа
1. Полнота и транзитивность				
2. Независимость от нумераций				
3. Сохранение сильного доминирования				
4. Непрерывность				
5. Линейность				
6. Независимость от посторонних стратегий				
7. Независимость от равномерного улучшения				
8. Независимость от дублирования столбцов				
9. Выпуклость				
10. Слабая независимость от посторонних стратегий				

**О выборе критерия.** Если нет проекта, оптимального по всем критериям, перечисленным выше, то ЛППР может выявить критерий, наиболее адекватный рассматриваемой ситуации, ориентируясь на свойства соответствующего отношения предпочтения.

Для критерия Лапласа может быть не выполнено только свойство 8 (независимость от дублирования столбцов). Это значит, что критерий Лапласа работает лучше, если нет схожих (по результатам) сценариев. Другими словами, для каждой пары сценариев  $A_r$  и  $A_s$  ( $r \neq s$ ) должен существовать проект  $P_i \in X$ , оценки которого в этих сценариях различаются. В таком случае применение критерия Лапласа не вызывает возражений.

Для критерия Вальда может нарушаться только свойство 7 (независимость от равномерного улучшения). Но в нашем случае оно выполнено: оценки всех проектов в некотором сценарии не могут измениться на величину  $a > 0$ , так как оценка проекта  $P_0$  в любом сценарии равна нулю. Следовательно, критерий Вальда вполне адекватен рассматриваемой ситуации. Значение оценочной функции Вальда для выбранного проекта равно гарантированному (наименьшему возможному) выигрышу от его реализации.

Для упорядочения, порожденного критерием Сэвиджа, только условие 6 (независимость от посторонних стратегий) может не выполняться. В нашем случае нет опасности возникновения «посторонней стратегии», так как, по предположению, оцениваются все подготовленные к реализации проекты и варианты проектов. Однако нужна осторожность в применении критерия Сэвиджа, если проект, выбранный по этому критерию, окажется нереализуемым из-за неучтенных сценариями обстоятельств. В такой ситуации следует заново упорядочить оставшиеся проекты, поскольку второй по предпочтительности (в исходном упорядочении) проект может не быть оптимальным (по Сэвиджу) среди них. Несмотря на указанное небольшое осложнение, можно считать, что критерий Сэвиджа адекватен рассматриваемой ситуации. Оценочная функция Сэвиджа указывает максимальное (по сценариям) отклонение оценки проекта от наилучшей достижимой оценки (максимальное сожаление).

Таким образом, свойства упорядочений, порождаемых критериями Вальда и Сэвиджа, позволяют любой из них использовать для определения предпочтительного проекта в условиях сценарной неопределенности. Если применение этих критериев дает разные результаты, то окончательный выбор определяется мотивацией ЛПР.

Инвестор рискует собственными деньгами, и главным «оценщиком» его деятельности является он сам. Выбирая проект, инвестор, вероятно, постарается максимизировать гарантированный результат с помощью критерия Вальда.

Наемный управляющий (менеджер, чиновник) имеет другую мотивацию, так как он распоряжается чужими средствами. Наблюдая только результат принятого по критерию Вальда решения в условиях реализованного сценария, вышестоящий начальник или владелец средств может заметить, что выбор другой стратегии дал бы гораздо лучший результат. Большая разница между максимальным (в условиях реализованного сценария) результатом и достигнутым (сожаление по Сэвиджу) порождает опасные для карьеры управляющего сомнения в его деловых качествах<sup>11</sup>. По этой причине можно ожидать, что наемный управляющий, сознательно или интуитивно, применит критерий Сэвиджа и выберет проект, для которого максимальное сожаление минимально.

Заметим, что оптимальные значения критериев Вальда и Сэвиджа дают важную информацию (гарантированный результат и гарантированное сожаление соответственно), а для оптимального значения критерия Лапласа при неизвестных вероятностях сценариев убедительная интерпретация отсутствует. По этой причине мы предпочитаем использовать критерий Вальда или Сэвиджа. В любом случае полезно определить диапазон значений параметра  $\alpha$ , при которых выбранный проект оптимален по Гурвицу, и сопоставить этот диапазон с приемлемыми для ЛПР уровнями риска.

---

<sup>11</sup> Нетрудно вспомнить случаи, когда руководители и «широкая общественность» выражали недовольство менеджерами, принявшими решение, которое в сложившейся ситуации привело к нежелательному результату, не замечая того, что любое другое решение в одной из возможных ситуаций могло бы дать еще худший результат.

\* \* \*

Проекты, о которых мы говорили в начале статьи, предполагают государственное финансирование. Целевая функция (конечное потребление домашних хозяйств), с помощью которой определялись оценки проектов, выражает интересы общества в целом, но не соответствует целям частного инвестора. По-видимому, отбирать проекты для реализации будут уполномоченные управленцы, которые в интересах общества должны бы максимизировать гарантированный результат, т.е. использовать критерий Вальда. Однако мотивация управляющего, которую мы обсудили выше, стимулирует применение критерия Сэвиджа. Результат этого конфликта интересов трудно предсказать.

Приложение

### Достаточные условия линейризуемости задачи $\hat{P}$

Для единообразия будем считать, что  $f_g^r$  нелинейны для всех  $g$  и  $r$ . Предположим, что множество возможных значений параметра  $\frac{r}{g}$  есть промежуток  $[\min_{gr}, \max_{gr}]$ . Разобьем этот промежуток на  $n(g, r)$  промежутков точками  $\frac{k}{gr}, 1 \leq k \leq n(g, r)$ :

$$\min_{gr} \frac{0}{gr} \leq \frac{1}{gr} \leq \frac{n(g,r)}{gr} \leq \frac{\max}{gr}.$$

Введем вектор переменных  $(\frac{k}{gr})$  и положим

$$\tilde{r}_g(\frac{k}{gr}) = \frac{r}{g}(\frac{0}{gr}) + \frac{n(g,r)}{k-1} a_{gr}^k \frac{k}{gr}, \quad \tilde{r}_g(\frac{k}{gr}) = \frac{r}{g}(\frac{0}{gr}) + \frac{n(g,r)}{k-1} b_{gr}^k \frac{k}{gr},$$

где  $a_{gr}^k = \frac{r}{g}(\frac{k}{gr}) - \frac{r}{g}(\frac{k-1}{gr}), b_{gr}^k = \frac{r}{g}(\frac{k}{gr}) - \frac{r}{g}(\frac{k-1}{gr})$ .

Построим задачу линейного программирования  $\tilde{P}$  следующим образом. Для всех  $g, r$  заменим правые части ограничений (2) и (5) задачи  $P$  функциями  $\tilde{r}_g(\frac{k}{gr})$  и  $\tilde{r}_g(\frac{k}{gr})$  соответственно. Преобразованным ограничениям (2) и (5) присвоим идентификаторы (2а) и (5а). Кроме того, введем ограничения

$$0 \leq \frac{k}{gr} \leq 1 \text{ для всех } g, r, k. \quad (10)$$

Двойственные оценки ограничений (2а), (5а) и правой части ограничения (10) в задаче  $\tilde{P}$  обозначим  $v_{gr}$ ,  $w_{gr}$  и  $y_{gr}^k$  соответственно. Понятно, что  $v_{gr} \geq 0$ ,  $w_{gr} \geq 0$  и  $y_{gr}^k \geq 0$ . Запишем двойственное ограничение, соответствующее переменной  $x_{gr}^k$ :

$$v_{gr} a_{gr}^k - w_{gr} b_{gr}^k - y_{gr}^k = 0.$$

**Лемма.** Предположим, что  $k < n(g, r)$  и выполнено одно из следующих условий:

- (а)  $a_{gr}^k > 0$ ,  $a_{gr}^{k-1} = 0$  и  $b_{gr}^k / a_{gr}^k < b_{gr}^{k-1} / a_{gr}^{k-1}$ ;
- (б)  $a_{gr}^k > 0$ ,  $a_{gr}^{k-1} = 0$  и  $b_{gr}^k / a_{gr}^k > b_{gr}^{k-1} / a_{gr}^{k-1}$ .

Тогда в оптимальном решении задачи  $\tilde{P}$  либо  $x_{gr}^k = 1$ , либо  $x_{gr}^k = 0$ .

*Доказательство.* Пусть  $k < n(g, r)$  и в оптимальном решении задачи  $\tilde{P}$  имеем  $x_{gr}^k = 1$  и  $x_{gr}^{k-1} = 0$ . Из условий дополняющей нежесткости следует, что

$$y_{gr}^k = 0, \quad v_{gr} a_{gr}^k - w_{gr} b_{gr}^k - y_{gr}^k = 0, \quad v_{gr} a_{gr}^{k-1} - w_{gr} b_{gr}^{k-1} - y_{gr}^{k-1} = 0.$$

Тогда  $|v_{gr}| a_{gr}^k - w_{gr} b_{gr}^k$  и  $|v_{gr}| a_{gr}^{k-1} - w_{gr} b_{gr}^{k-1}$ . Отсюда следует  $b_{gr}^{k-1} / a_{gr}^{k-1} < |v_{gr}| / w_{gr} < b_{gr}^k / a_{gr}^k$  при  $a_{gr}^k > 0$ ,  $a_{gr}^{k-1} = 0$  и  $b_{gr}^{k-1} / a_{gr}^{k-1} > |v_{gr}| / w_{gr} > b_{gr}^k / a_{gr}^k$  при  $a_{gr}^k > 0$ ,  $a_{gr}^{k-1} = 0$ . В любом случае условия (а), (б) не выполняются. Лемма доказана.

Предположим, что условия леммы выполнены для всех  $k \in \{1, \dots, n(g, r)-1\}$ . Тогда либо все  $a_{gr}^k$  положительны и отношение  $b_{gr}^k / a_{gr}^k$  убывает по  $k$ , либо все  $a_{gr}^k$  отрицательны и отношение  $b_{gr}^k / a_{gr}^k$  возрастает. В этих случаях по лемме существует единственное  $m(g, r)$ , такое что  $0 < m(g, r) < n(g, r)$ ,  $x_{gr}^k = 1$  для  $k < m(g, r)$  и  $x_{gr}^k = 0$  для  $k > m(g, r)$ <sup>12</sup>. Далее будем писать  $t$  вместо  $m(g, r)$  там, где значения  $g, r$  очевидны из контекста.

<sup>12</sup> Заметим, что  $m(g, r) = 0$ , если  $x_{gr}^k = 0$  для всех  $k > 1$ .

Кусочно-линейные аппроксимации функций  $r_g(r/g)$  и  $r_g(r/g)$  с узлами в точках  $r/g$  обозначим  $\hat{r}_g(r/g)$  и  $\hat{r}_g(r/g)$  соответственно и используем их для построения задачи  $\hat{P}$ . Пусть  $(X, \cdot)$ , где  $(r/g)$  – вектор переменных задач  $P$  и  $\hat{P}$ ;  $(X, \cdot)$  – вектор переменных задачи  $\tilde{P}$ ;  $(\tilde{X}, \tilde{\cdot})$ , где  $\tilde{\cdot} = (\tilde{k}_{gr}^k)$  – оптимальное решение задачи  $\tilde{P}$ . Если

$$\hat{r}_g = \frac{m}{gr} \tilde{m}_{gr} (\frac{m}{gr} - 1 \frac{m}{gr}),$$

то  $\tilde{r}_g(\tilde{\cdot}) = \frac{r}{g} (\frac{m}{gr}) \tilde{m}_{gr} a_{gr}^{m-1} \hat{r}_g(\hat{r}_g)$  и  $\tilde{r}_g(\tilde{\cdot}) = \frac{r}{g} (\frac{m}{gr}) \tilde{m}_{gr} b_{gr}^{m-1} \hat{r}_g(\hat{r}_g)$ . Тогда  $(\hat{X}, \hat{\cdot})$ , где  $\hat{\cdot} = (\hat{r}_g)$ , – оптимальное решение задачи  $\hat{P}$  и допустимое решение задачи  $P$ .

Пусть  $d_{gr} = \max\{ \frac{k}{gr}, \frac{k}{gr} - 1 | k \geq 0 \}$ . Если для каждой пары  $(g, r)$  выполнено одно из условий (а), (б) леммы, то чем меньше максимум  $d_{gr}$ , тем ближе решение задачи  $\hat{P}$  к решению задачи  $P$ . Различие между этими решениями можно сделать сколь угодно малым, если для любой пары  $(g, r)$  существует разбиение отрезка  $[\frac{\min}{gr}, \frac{\max}{gr}]$ , удовлетворяющее одному из условий леммы и такое, что  $d_{gr} \rightarrow 0$ .

Предположим, что для всех  $g, r$  функции  $f_g^r$  дифференцируемы на промежутке  $[\frac{\min}{gr}, \frac{\max}{gr}]$ . Тогда для любого  $\epsilon > 0$  существует разбиение с указанными выше свойствами, если и только если для каждой пары  $(g, r)$  функции  $r_g(r/g)$  и  $r_g(r/g)$  на промежутке  $[\frac{\min}{gr}, \frac{\max}{gr}]$  удовлетворяют одному из следующих условий:

- (а)  $r_g(r/g)$  и  $r_g(r/g)$  монотонно возрастают, а отношение  $[r_g(r/g)] / [r_g(r/g)]$  монотонно убывает;
- (б)  $r_g(r/g)$  и  $r_g(r/g)$  монотонно убывают, а отношение  $[r_g(r/g)] / [r_g(r/g)]$  монотонно возрастает.

\* \* \*

Авторы благодарны Е.Б. Кибалову за постановку проблемы и продуктивные обсуждения, а также рецензентам за глубокие и полезные замечания.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда (проект 14-02-00159а)*

### **Список источников**

1. *Блам Ю.Ш., Бузулуцков В.Ф., Машкина Л.В.* Методология анализа и прогнозирования сложных иерархических структур: системный подход // Системное моделирование и анализ мезо- и микроэкономических объектов / Отв. ред. В.В. Кулешов, Н.И. Суслов. – Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2014. – С. 5–39.
2. *Бузулуцков В.Ф., Сизов А.Н.* Развитие представления транспортных связей в ОМММ-ТЭК: информационно-методический аспект // Экономическое развитие России: региональный и отраслевой аспекты: Сб. науч. тр. – Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2012. – Вып. 11. – С. 120–150.
3. *Гранберг А.Г., Михеева Н.Н., Суслов В.И. и др.* Результаты экспериментальных расчетов по оценке эффективности инвестиционных проектов с использованием межотраслевых межрегиональных моделей // Регион: экономика и социология. – 2010. – № 4. – С. 45–72.
4. *Гранберг А.Г., Суслов В.И., Суспицын С.А.* Многорегиональные системы: экономико-математическое исследование. – Новосибирск: Сиб. науч. изд-во, 2007. – 371 с.
5. *Гулакова О.И.* Общественная эффективность крупных инфраструктурных проектов // Вестник НГУ. Сер.: Социально-экономические науки. – 2013. – Т. 13, вып. 2. – С. 14–27.
6. *Еришов Ю.С., Мельникова Л.В., Суслов В.И.* Практика применения оптимизационных мультирегиональных межотраслевых моделей в стратегических прогнозах российской экономики // Вестник НГУ. Сер.: Социально-экономические науки. – 2009. – Т. 9, вып. 4. – С. 9–23.
7. *Кибалов Е.Б., Шибикин Д.Д.* Нетрадиционный подход к оценке эффективности крупномасштабных транспортных проектов // Теоретические и прикладные аспекты современной науки: Мат. IV Междунар. науч.-практ. конф. (г. Белгород, 31 октября 2014 г.). – Белгород: ИП Петрова М.Г., 2014. – Ч. II. – С. 145–148.
8. *Михеева Н.Н., Новикова Т.С., Суслов В.И.* Оценка инвестиционных проектов на основе комплекса межотраслевых межрегиональных моделей // Проблемы прогнозирования. – 2011. – № 4. – С. 78–90.
9. *Суслов В.И.* Многорегиональная оптимизационная модель: реальное значение и современная спецификация // Регион: экономика и социология. – 2011. – № 2. – С. 19–45.
10. *Хуторецкий А.Б., Горюшкин А.А.* Математические модели и методы исследования операций. – Новосибирск: РИЦ НГУ, 2014. – 124 с.

11. *Granberg A.G., Zaitseva J.* Multiregional analysis with use of regional accounts and input-output tables / European Regional Science Association, 2001 (ERSA Conference Papers ersa01p161). – URL: <http://www-sre.wu-wien.ac.at/ersa/ersaconfs/ersa01/papers/full/161.pdf> (дата обращения 30.01.2015).
12. *Ha S.J., Hewings G., Turner K.* An interregional input-output analysis of the pollution content of trade flows and environmental trade balances between five states in the US Mid-West / University of Strathclyde Business School, Department of Economics, 2010 (Working Papers 0920). – 31 p.
13. *Horridge M., Glyn W.* The economic impact of a construction project, using SINO TERM, a multi-region CGE model of China / Monash University, Center of Policy Studies, 2007 (General Working Paper No. G-164). – 15 p.
14. *Horridge M., Madden J., Wittwer G.* Using a highly disaggregated multi-regional single country model to analyze the impacts of 2002-03 droughts on Australia // Journal of Policy Modeling. – 2005. – V. 27. – P. 258–308.
15. *Israilevich P.R., Hewings G.J.D., Sonis M., Schindler G.R.* Forecasting structural change with a regional econometric input-output model // Journal of Regional Economics. – 1997. – V. 37, is. 4. – P. 565–590.
16. *Lahr M.L.* A review of literature supporting the hybrid approach to constructing regional input-output models // Economic Systems Research. – 1993. – V. 5. – P. 277–293.
17. *Milnor J.W.* Games against Nature // Decision Processes / Eds. C.H. Coombs, R.L. Davis, R.M. Thrall. – N.Y.: Wiley, 1954. – P. 49–60.
18. *Wiedmann T., Lenzen M., Barrett J., Turner K.* Examining the global environmental impact of regional consumption activities. P. 2: Review of input-output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade // Ecological Economics. – 2007. – V. 61, is. 1. – P. 15–26.
19. *Yamada M.* An interregional input-output table of Mie Prefecture, Japan: Estimation and applications // Journal of Applied Input-Output Analysis. – 1996. – V. 3. – P. 64–79.

### Информация об авторах

*Суслов Никита Иванович* (Россия, Новосибирск) – доктор экономических наук, профессор, заведующий отделом. Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН (630090, Новосибирск, пр. Акад. Лаврентьева, 17, e-mail: nsus@academ.org).

*Хуторецкий Александр Борисович* (Россия, Новосибирск) – доктор экономических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры. Новосибирский государственный университет (630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, e-mail: hab@dus.nsc.ru).

DOI: 10.15372/REG20150902

*Region: Economics and Sociology, 2015, No. 3 (87), p. 37–66*

**N.I. Suslov, A.B. Khutoretskii**

## **EFFICIENCY EVALUATION OF LARGE-SCALE RAILWAY PROJECTS USING THE MODEL OF RUSSIAN ECONOMY**

*In this article, we modify the well-known inter-regional inter-sectoral optimization model (OMMM), which makes it possible to incorporate a large-scale railway investment project. If the development of the national economy is deterministic, the model estimates the possible impact of the project on households' consumptive use. This helps to evaluate the macroeconomic efficiency of the project in the given development scenario. The uncertainty of economic development can be reflected in a representative set of scenarios. We consider the comparison of competing projects under the scenario uncertainty as a game against nature. We argue that Wald's criterion is appropriate for investors, whereas managers would possibly prefer Savage's criterion. If the projects use public funds, the interests of society and the government employees selecting projects for implementation may differ significantly due to inconsistency between the criteria.*

**Keywords:** investment project, rail transport, macroeconomic efficiency, method of evaluation, inter-regional inter-sectoral optimization model, scenario uncertainty

*The publication is prepared within the framework of the project No. 12-03-00621 supported by funding from the Russian Foundation for Humanities*

### **References**

1. Blam, Yu.Sh., V.F. Buzulutskov, L.V. Mashkina, V.V. Kuleshov. (Ed.) & N.I. Suslov (Ed.) (2014). Metodologiya analiza i prognozirovaniya slozhnykh ierarkhicheskikh struktur: sistemnyy podkhod [Methods for analyzing and forecasting complex hierarchical structures: systematic approach]. Sistemnoe modelirovanie i analiz mezo- i mikro-ekonomicheskikh ob'yektov [System modeling and analysis of meso- and microeconomic objects]. Novosibirsk, IEOPP SO RAN [Institute of Economics and Industrial Engineering], 5–39.

2. *Buzulutskov, V.F. & A.N. Sizov.* (2012). *Razvitie predstavleniya transportnykh svyazey v OMMM-TEK: informatsionno-metodicheskiy aspekt* [Developing the representation of transport network in OMMM-Energy: information and methodical aspect]. *Ekonomicheskoe razvitie Rossii: regionalnyy i otraslevoy aspekt: sb. nauch. tr. Vypusk 11* [Economic development of Russia: regional and industrial aspects: collection of scientific studies. Issue 11]. Novosibirsk, IEOPP SO RAN [Institute of Economics and Industrial Engineering], 120–150.

3. *Granberg, A.G., N.N. Mikheyeva, V.I. Suslov et al.* (2010). *Rezultaty eksperimentalnykh projektov s ispolzovaniem mezhotraslevykh mezhregionalnykh modeley* [Assessing the efficiency of investment projects by application of the intersectoral interregional models: results of experimental calculations]. *Region: ekonomika i sotsiologiya* [Region: Economics and Sociology], 4, 45–72.

4. *Granberg, A.G., V.I. Suslov, S.A. Suspinsin.* (2007). *Mnogoregionalnye sistemy: ekonomiko-matematicheskoe issledovanie* [Multiregional systems: economic and mathematical study]. Novosibirsk, Siberian Scientific Publ., 371.

5. *Gulakova, O.I.* (2013). *Obshchestvennaya effektivnost krupnykh infrastrukturykh projektov* [Public efficiency of major infrastructure projects]. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sotsialno-ekonomicheskie nauki* [Bulletin of the Novosibirsk State University. Socio-economic sciences], vol. 13, no. 2, 14–27.

6. *Yershov, Yu.S., L.V. Melnikova & V.I. Suslov.* (2009). *Praktika primeneniya optimizatsionnykh multiregionalnykh mezhotraslevykh modeley v strategicheskikh prognozakh rossiyskoy ekonomiki* [The practice of the use of multiregional IO models in strategic forecasts of Russian economy]. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sotsialno-ekonomicheskie nauki* [Bulletin of the Novosibirsk State University. Socio-economic sciences], vol. 9, no. 4, 9–23.

7. *Kibalov, Ye.B. & D.D. Shibikin.* (2014). *Netraditsionnyy podkhod k otsenke effektivnosti krupnomasshtabnykh transportnykh projektov* [An unconventional approach to assessing the efficiency of large transport projects]. *Teoreticheskie i prikladnye aspekty sovremennoy nauki: materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (g. Belgorod, 31 oktyabrya 2014 g.). Chast II* [Theoretical and Applied Aspects of Modern Science. Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference (Belgorod, 31 October, 2014). Part II]. Belgorod, M.G. Petrova 145–148.

8. *Mikheyeva, N.N., T.S. Novikova & V.I. Suslov.* (2011). *Otsenka investitsionnykh projektov na osnove kompleksa mezhotraslevykh mezhregionalnykh modeley* [Assessing investment projects on basis of the set of multiregional input-output models]. *Problemy prognozirovaniya* [Problems of Forecasting], 4, 78–90.

9. *Suslov, V.I.* (2011). *Mnogoregionalnaya optimizatsionnaya model: realnoe znachenie i sovremennaya spetsifikatsiya* [A multiregional optimization model: its current importance and new content]. *Region: ekonomika i sotsiologiya* [Region: Economics and Sociology], 2, 19–45.

10. *Khutoretskii, A.B. & A.A. Goryushkin.* (2014). *Matematicheskie modeli i metody issledovaniya operatsiy* [Mathematical models and methods in operations research]. Novosibirsk, Novosibirsk State University, 124.

11. *Granberg, A.G. & J. Zaitseva.* (2001). Multiregional analysis with use of regional accounts and input-output tables. European Regional Science Association (ERSA conference papers ersa01p161). Available at: <http://www.sre.wu-wien.ac.at/ersa/ersaconfs/ersa01/papers/full/161.pdf> (date of access: 30.01.2015).
12. *Ha, S.J., G. Hewings & K. Turner.* (2010). An interregional input-output analysis of the pollution content of trade flows and environmental trade balances between five states in the US Mid-West. University of Strathclyde Business School, Department of Economics (Working Papers 0920), 31.
13. *Horridge, M. & W. Glyn.* (2007). The economic impact of a construction project, using SINO TERM, a multi-region CGE model of China. Monash University, Center of Policy Studies (General Working Paper No. G-164), 15.
14. *Horridge, M., J. Madden & G. Wittwer.* (2005). Using a highly disaggregated multi-regional single country model to analyze the impacts of 2002-03 droughts on Australia. *Journal of Policy Modeling*, 27, 258–308.
15. *Israilevich, P.R., G.J.D. Hewings, M. Sonis & G.R. Schindler.* (1997). Forecasting structural change with a regional econometric input-output model. *Journal of Regional Economics*, vol. 37, is. 4, 565–590.
16. *Lahr, M.L.* (1993). A review of literature supporting the hybrid approach to constructing regional input-output models. *Economic Systems Research*, 5, 277–293.
17. *Milnor, J.W., C.H. Coombs (Ed.), R.L. Davis (Ed.), R.M. Thrall (Ed.)* (1954). *Games against Nature*. Decision Processes. New York, Wiley, 49–60.
18. *Wiedmann, T., M. Lenzen, J. Barrett & K. Turner.* (2007). Examining the global environmental impact of regional consumption activities. Part 2: Review of input-output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade. *Ecological Economics*, vol. 61, is. 1, 15–26.
19. *Yamada, M.* (1996). An interregional input-output table of Mie Prefecture, Japan: Estimation and applications. *Journal of Applied Input-Output Analysis*, 3, 64–79.

### Information about the authors

*Suslov, Nikita Ivanovich* (Novosibirsk, Russia) – Doctor of Sciences (Economics), Professor, Head of Department at the Institute of Economics and Industrial Engineering, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (17, Ac. Lavrentiev av., Novosibirsk, 630090, Russia, e-mail: [nsus@academ.org](mailto:nsus@academ.org)).

*Khutoretskii, Aleksandr Borisovich* (Novosibirsk, Russia) – Doctor of Sciences (Economics), Senior Researcher, Professor at Novosibirsk State University (2, Pirogov str., Novosibirsk, 630090, Russia, e-mail: [hab@dus.nsc.ru](mailto:hab@dus.nsc.ru)).

*Рукопись статьи поступила в редколлегию 01.04.2015 г.*