

Оценка эффективности производственных и инфраструктурных подсистем

Диагностика транспортных сетей как естественных монополий во взаимосвязи с характеристиками сетевого проекта*

Н.И. БЕЛОУСОВА^I, С.П. БУШАНСКИЙ^{II}, В.Б. ВАСИЛЬЕВ^{II}, Е.М. ВАСИЛЬЕВА^I

^I Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук», г. Москва, Россия

^{II} Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный экономико-математический институт Российской академии наук», г. Москва, Россия

Аннотация. Представлены результаты по уточнению методов диагностики транспортных сетей как естественных монополий, прежде всего, в части разработки новых подходов к их идентификации при варьировании спросовой нагрузки на сеть и ограничений на бюджет инвестиций в развитие сети, ставки дисконтирования и других параметров сетевого инвестиционного проекта. Предлагаемая методология аккумулирует и развивает накопленный в теории и освоенный мировой практикой реформирования современный подход к выявлению свойств сетевых объектов естественно-монопольного рынка. С использованием системы технологических детерминант и связанных с ними индикаторов, определяемых на основе моделируемой для условий рынка инфраструктурных услуг многопродуктовой функции совокупных издержек, решаются задачи оценки эффектов целостности при экзогенном и эндогенном спросе на грузовые и пассажирские перевозки, учете различной степени нелинейности сетевых затрат и т.п. Представлены результаты компьютерных экспериментов для реальной транспортной сети региона: Дается оценка свойств сети как естественной монополии, выполнен сопоставительный анализ оценок динамики взаимосвязей естественно-монопольных индикаторов и характеристик сетевого инвестиционного проекта в требуемых разрезах.

Ключевые слова: естественные монополии, транспортные сетевые проекты, моделирование технологических детерминант, структурные характеристики транспортной сети, многопродуктовая функция совокупных издержек, тестирование на субаддитивность, оптимизация развития нелинейных транспортных сетей, варьирование значений индикаторов, эффекты естественно-монопольной синергии, целостность транспортной сети.

DOI: 10.14357/20790279200401

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-010-00135.

Введение

Вопросы обоснованного проведения реформ и обеспечения эффективных управленческих решений в сфере российских естественных монополий во многом остаются открытыми, как на этапе активных дискуссий по намечаемым преобразованиям, так и при обсуждении новых подходов к созданию современных и адекватных условиям экономики России теоретико-прикладных моделей и методов структурного и ценового регулирования инфраструктурных подсистем.

При этом накопленный мировой опыт экономико-математического моделирования в отечественной практике реформирования рассматриваемой сферы в значительной мере остается невостребованным и неосвоенным.

В настоящей статье представлены полученные в последнее время результаты (в продолжение исследований авторов, включая [1-7]) – по восполнению указанного пробела. Излагаются теоретико-прикладные подходы и результаты компьютерного моделирования оптимальной деятельности и структуры внегородских транспортных сетей с учетом естественно-монопольного компонента. Так, с позиций современной экономической теории и в рамках нормативной идентификации естественной монополии, когда характеристики сетевой транспортной технологии однозначно определяются через многопродуктовую функцию совокупных издержек, проводится тестирование ее на субаддитивность, продолжено исследование условий, при которых транспортные сети теряют эффекты целостности, утрачивая свойства естественно-монопольной синергии.

Заметим, что в течение всего периода российских рыночных реформ в процессе принятия управленческих решений относительно развития инфраструктурных объектов, в том числе, внегородских транспортных сетей, при обосновании эффективности соответствующих инвестиционных проектов учет особенностей деятельности транспортных сетей обычно не предусматривал анализ свойств сетей как естественных монополий. В значительной мере имеет место ситуация, отражающая следующее распространенное заблуждение: принимается как данность, что указанные сети – это заведомо естественные монополии с априори присущими им технологическими плюсами для экономики и существенными минусами их ценового поведения как обычных монополий.

Цель статьи – развитие методологии диагностики естественно-монопольных свойств транс-

портных сетей на основе синтеза подходов, связанных с теорией естественной монополии, методами инвестиционного проектирования и нелинейной оптимизации работы и развития транспортных сетей. Исследуется устойчивость сетевых транспортных проектов в зависимости от варьируемых значений ряда исходных параметров, определяющих оценки субаддитивности агрегированной общесетевой многопродуктовой функции совокупных издержек и, соответственно, перегруженности/неперегруженности транспортной сети, ее структуры и целостности.

В первом разделе статьи представлены существенные элементы создаваемой методологии построения моделей и методов диагностики транспортных сетей как естественных монополий. Во втором – результаты анализа по предлагаемой методологии вариантных расчетов динамики характеристик сетевого транспортного проекта применительно к региональной транспортной сети.

1. Элементы методологии построения моделей и методов диагностики транспортных сетей как естественных монополий

Для проведения диагностики транспортной сети как естественной монополии предполагается использование моделей технологических детерминант/естественно-монопольных индикаторов деятельности [8-10], прежде всего, экономии от структуры, а также от масштаба и средних приростных издержек по каждому из видов инфраструктурной продукции (услуг).¹

В терминах таких индикаторов сформулирована и доказана [8] одна из систем необходимых и достаточных условий субаддитивности многопродуктовой функции совокупных издержек –

¹ *Индикатор экономии от структуры (SC)* оценивается через экономии в издержках при сравнении вариантов организации многопродуктового производства: совместное производство всех видов продукции/услуг и полностью специализированные производства по одному или нескольким видам деятельности, при обеспечении суммарного объема спроса.

Индикатор экономии от масштаба (S) позволяет при оптимизации сетевой технологии сопоставлять динамику роста совокупных издержек и роста объемов выпуска продукции/услуг, что математически выражается в виде обратной величины к затратной эластичности.

Оценка *индикатора средних приростных издержек (AIC)* связана с началом выпуска некоторого одного продукта или, напротив, прекращением его выпуска при условии, что условно-постоянные затраты (с учетом инвестиционной составляющей) отвечают оптимальным сетевым технологиям (при минимизации издержек). Расчет *AIC* осуществляется на основе однопродуктовой функции средних издержек – как оценка прироста издержек (или их экономии) на единицу объема выпуска этого продукта.

фундаментального свойства сетевой технологии, идентифицирующего естественную монополию в нормативном аспекте. Выявление наличия или отсутствия этого свойства с привлечением систем необходимых и достаточных условий обусловлено тем, что непосредственная проверка субаддитивности аналитическими способами для многопродуктовых технологий невозможна. Доказано, что наличие положительных значений индикатора экономии от структуры SC во всей допустимой области анализа – необходимое условие. Наличие положительных значений SC в сочетании с монотонным снижением индикаторов природных средних издержек AIC по каждому из рассматриваемых продуктов (также во всей допустимой области анализа) – достаточные условия.

Эти индикаторы, как и взаимосвязи между ними, определяются на основе многопродуктовой функции совокупных издержек. Согласно [8], свойство субаддитивности функции совокупных издержек инфраструктурного объекта $C(y)$ позволяет в рамках нормативной идентификации дать формальное определение естественной монополии, как состояния, при котором производство требуемого объема продукции/услуг дешевле одним производителем, чем несколькими. Функция совокупных затрат в отрасли $C(\bar{y})$ называется субаддитивной для вектора выпуска \bar{y} , если $C(\bar{y}) < \sum_{i=1}^k C(\bar{y}^i)$ при любых допустимых наборах выпусков $\bar{y}^1, \bar{y}^2, \dots, \bar{y}^k$, таких, что $\sum_{i=1}^k \bar{y}^i = \bar{y}$, $\bar{y}^i \geq 0$, причем существуют как минимум два положительных значения $\bar{y}^{i1}, \bar{y}^{i2}$.

Соответственно, состояние отраслевого рынка по определенному виду деятельности на федеральном и/или региональном уровне может быть отнесено к сфере естественной монополии, если для любых допустимых объемов выпуска \bar{y} , величина совокупных издержек, рассчитываемая при оптимальных режимах использования ресурсов, минимальна при рыночной структуре, состоящей из одной единственной фирмы. При учете лежащих в основе проверки субаддитивности теоретических предпосылок устанавливается наиболее эффективная в технологическом смысле рыночная структура.

Решение задачи нормативной идентификации естественной монополии как сложной системы, по сути дела, представляет собой способ оценки системных эффектов, прежде всего, естественно-монопольной синергии в виде экономии совокупных издержек, возникающей как результат эффективной организации производства услуг на естественно-монопольном рынке, оптимизации отраслевой структуры по количеству фирм. В этом случае результат проверки субаддитивности,

как разница в экономии совокупных издержек в случае естественно-монопольного способа организации рынка и конкурентного, интерпретируется (на концептуальном уровне и возможности получения количественных оценок) как методологический подход к выявлению эффектов синергии. Применительно к естественным монополиям такой эффект оценивают как запас субаддитивности, измеряемый в абсолютных или относительных единицах. Соответственно, индикатор SC позволяет получать оценки эффекта естественно-монопольной синергии для транспортной сети в целом ряде случаев, например, когда моделируется раздельное освоение заданных объемов пассажирских и грузовых перевозок: по разным дорогам, основным и дублерам, отдельным фрагментам сети и т.п.

На результаты теоретико-прикладного анализа многопродуктовой функции совокупных издержек, прежде всего, тестирования ее на субаддитивность значительное влияние оказывает выбор типа эконометрической модели [8], не допускающего возможность априорной предсказуемости результатов моделирования.

В информационную базу для оценки параметров сетевой технологии на основе функции издержек включаются (согласно условиям оптимизации) не только наблюдаемые, но специально формируемые в процессе модельных расчетов данные о минимальных или приближенных к ним значениях совокупных издержек на перевозки и развитие транспортной сети. В этих целях применяется инженерный подход – генерирование данных о режимах деятельности реальной транспортной сети, отвечающих минимизации совокупных издержек, которое осуществляется в рамках специальной информационной технологии синтеза сложных сетевых структур [11], разработанной совместно ИСА РАН и ЦЭМИ РАН. В качестве базовой постановки задачи оптимизации работы и развития сети при этом принимается следующая.

Рассматривается внегородская транспортная сеть с нелинейными затратными характеристиками (в части эксплуатационных затрат на ее деятельность и в части инвестиций в ее развитие), по которой осуществляются грузовые и пассажирские перевозки.

При моделировании такой многопродуктовой сетевой технологии считаются заданными:

- исходная топология сети (ее структурные характеристики относительно отдельных дорог с их первоначальными взаимосвязями и множеством возможных технических состояний);

- суммарные (общесетевые) объемы спроса по видам перевозок, бюджет инвестиций на развитие сети в целом;
- затратные характеристики на всех существующих и проектируемых звеньях сети (или объектные функции издержек – зависимости от загрузок дорог и их технических состояний), связанные с работой и развитием на объектном уровне.

Указанные параметры допускают варьирование значений в достаточно широком спектре для анализа устойчивости характеристик сетевого транспортного проекта и обеспечения учета неопределенности. Критерием выбора оптимальной технологии работы и развития транспортной сети – при выявленном объеме спроса – служит минимум совокупных издержек (или максимум NPV в терминах инвестиционного проекта [12]).

Модель технологии перевозок по заданной сети при выполнении заданных объемов спроса включает в качестве ключевых такие характеристики работы и развития сети, как объемы потоковой нагрузки на звеньях сети и виды их технических состояний.

Нелинейная оптимизация развития транспортной сети проводится с использованием декомпозиционных подходов [13-16], в которых на каждом шаге итерационных процедур предполагается как этап распределения потоков (по кратчайшим маршрутам в смысле средних или предельных издержек) для сети фиксированной топологии и структуры, так и при фиксированной загрузке элементов (звеньев) сети – выбор наилучшей ее структуры.

Выбор структуры сети включает оптимизацию технических состояний существующих звеньев, корректировку топологии сети в направлении усиления ее связности, появления новых элементов и их цепочек для построения дублирующих маршрутов, в том числе, для выявления режимов перегруженности (резко нелинейного роста издержек на эксплуатацию и развитие сети при растущем спросе на перевозки). Условное начальное техническое состояние звеньев характеризуется небольшой пропускной способностью.

Применительно к анализу транспортных сетей как естественных монополий и оценке условий целостности и неделимости транспортной сети предлагается удобный и вполне конструктивный способ выражения синергетических эффектов на основе модифицированного представления ключевого технологического детерминанта – экономии от структуры SC . Представим оценку естественно-монопольного эффекта целостности транспортной сети (FSY), фактора естественно-монопольной синергии в следующем виде: $FSY = \frac{1}{1-SC}$.

Значения этого индикатора меняются от 0 до 1 при отрицательных значениях экономии от структуры ($SC < 0$), т.е. когда необходимое условие естественной монополии не выполняется; и значения $FSY > 1$ при $SC > 0$, когда существование естественной монополии возможно, но при дополнительном выполнении достаточных условий субаддитивности многопродуктовой функции издержек (монотонного снижения средних приростных издержек AIC). По мере снижения эффекта целостности транспортной сети, исчерпания естественно-монопольной синергии при росте объемов спроса на перевозки и загрузки сети фактор FSY становится меньше 1 и уменьшается до нуля, что в иллюстративных целях оказывается более наглядным, чем использование знакопеременных значений SC . В качестве показателей динамики выступают оценки темпов прироста анализируемых показателей с использованием логарифмических шкал.

В целом проведение диагностики транспортных сетей как естественных монополий на основе предлагаемой методологии, ориентированной, как было указано, на синтез моделей и методов теории естественной монополии (с включением сетевой концепции субаддитивности [17]), нелинейных сетевых транспортных задач и инвестиционного проектирования предполагает выделение следующих существенных элементов оценки.

1.1. Идентификация транспортной сети как естественной монополии и анализ взаимосвязи динамики ее индикаторов и параметров сетевого проекта

Выявляется характер влияния на результаты идентификации транспортной сети и структуру проектируемой сети ограничений на бюджет инвестиций и ставки дисконтирования как характеристики дефицитности инвестиций в экономике в целом при расчетах сетевого транспортного проекта. При решении этой задачи, непосредственно связанной с обоснованием методов структурных мероприятий в системе госрегулирования, требуется проверить, отвечает ли транспортная сеть по своей структуре условиям естественной монополии. Требуется также оценить, как влияет на варианты оценок динамики NPV потеря в той или иной мере естественно-монопольного эффекта целостности транспортной сети (рассматриваемой в качестве одной из ее структурных характеристик), его диссипация при исчерпании естественно-монопольных свойств по мере роста объемов спроса на перевозки и загрузки сети.

1.2. Анализ перехода от агрегированного экзогенного спроса к моделям эндогенного спроса

Дается оценка в терминах технологических и структурных характеристик перехода от моделирования экзогенных, агрегированных по сети в целом объемов спроса на грузовые и пассажирские перевозки, к моделированию их эндогенных детализированных аналогов. Данное уточнение направлено на формирование более адекватных моделей спроса на перевозки и достигается путем эндогенного представления матрицы детализированных объемов в виде не фиксированной, а переменной шахматной таблицы корреспонденций, с учетом складывающихся предпочтений конечных пунктов перевозок и изменений в структуре сети.

1.3. Моделирование сетевой транспортной технологии при различных способах учета нелинейности затрат на отдельных элементах сети

Формируются оценки технологических детерминант при заданных объемах грузовых и пассажирских перевозок в зависимости от моделирования сетевой транспортной технологии с использованием различных способов учета нелинейности затрат на отдельных элементах сети. Проводится анализ влияния на оценки технологических детерминант изменения характера нелинейности издержек, а также уточнения способов выбора в процессе оптимизации структурных параметров звеньев в виде их технических состояний.

2. Результаты компьютерных экспериментов

В настоящем разделе – для выделенных элементов методологии 1.1, 1.2, и 1.3 – представлены результаты компьютерных экспериментов по анализу вариантных расчетов технологических индикаторов транспортной сети, характеристик сетевого транспортного проекта, а также оценок динамики их взаимосвязей. Компьютерные эксперименты выполнены для условий реальной топологии внегородских дорог региона РФ областного уровня.

Эконометрическим способом с использованием пакета EViews (версия 11.0) по 625 точкам для объемов спроса на грузовые (в пределах от 0 до 30,5 млн поездок в год) и на пассажирские перевозки (от 0 до 63,9 млн поездок в год) моделируется общесетевая функция совокупных издержек для соответствующих объемов двухпродуктового выпуска. При моделировании учитываются различные способы нелинейности затрат на элементах сети. Для расчетов принята квадратичная функциональная фор-

ма [8,18,19], динамика цен на факторы производства не учитывается, но учет инфляции издержек осуществляется с использованием индекса цен – дефлятора ВВП; ставка дисконта принимается заданной (на уровне 10%); в расчеты включаются модельные оценки экзогенного и эндогенного спроса.

Согласно представленной выше методологии диагностики, в качестве ключевого элемента оценки выделяется *идентификация транспортной сети как естественной монополии и анализ взаимосвязи динамики ее индикаторов и параметров сетевого проекта (п. 1.1)*.

Так, результаты оценки средних значений важнейших технологических детерминант (*SC*, *C* и *AIC*) при заданном дисконте, ограничениях на бюджет инвестиций различной степени жесткости и выявленном эндогенном спросе представлены в табл.1. Соответственно, по расчетным данным можно проследить (в зависимости от жесткости инвестиционных ограничений) выполнение условий наличия или отсутствия свойств естественной монополии применительно к рассматриваемой транспортной сети.

При наиболее ограничительном по инвестициям варианте (5 млрд руб.) и немалом исходном запасе субаддитивности (при малых уровнях спроса на перевозки) происходит довольно быстрое его исчерпание. Экономия от структуры (*SC*) становится отрицательной, нарушается необходимое условие субаддитивности. Результирующий вывод по идентификации: данная транспортная сеть по мере роста спроса на перевозки перестает быть естественной монополией, т.к. полностью теряет запас субаддитивности; не является естественной монополией во всей области спроса и, судя по значениям экономии от масштаба ($S < 1$), работает неэффективно. Затратная эластичность ($1/S$) показывает, что темп прироста совокупных издержек выше, чем темп прироста объемов выпускаемой продукции.

Также интерпретация данных табл.1 показывает, что при ослаблении ограничений по инвестициям (10 млрд руб.) область субаддитивности расширяется, ее запас снижается и остается положительным во всей области спроса ($SC > 0$: от 0,134 до 0,041). Растущей становится и экономия от масштаба ($S > 1$), однако сеть не становится естественной монополией, поскольку средние природные издержки (*AIC*) не демонстрируют монотонного снижения, и достаточные условия естественной монополии нарушены. Тем не менее, анализируемая сеть отвечает условиям естественной монополии при дальнейшем ослаблении ограничений на бюджет инвестиций (до 15 млрд руб.). Из табл.1

Табл. 1

Средние значения технологических характеристик транспортной сети для идентификации естественной монополии при различных вариантах ограничений на бюджет инвестиций

Средняя арифм. $SC(x_1, x_2)$ по x_1	Средняя арифм. $SC(x_1, x_2)$ по x_2	Средняя арифм. $AIC(x_1)$ по x_1	Средняя арифм. $AIC(x_2)$ по x_2	Средняя геом. $S(x_1, x_2)$ по x_1	Средняя геом. $S(x_1, x_2)$ по x_2
5 млрд руб.					
0,294	0,194	0,234	0,064	1,234	0,919
0,118	0,039	0,307	0,092	0,713	0,753
0,038	-0,019	0,343	0,106	0,633	0,707
-0,031	-0,068	0,379	0,120	0,584	0,672
-0,196	-0,196	0,525	0,175	0,502	0,594
-0,217	-0,217	0,561	0,189	0,493	0,583
-0,232	-0,234	0,598	0,203	0,487	0,574
-0,244	-0,248	0,634	0,217	0,482	0,566
10 млрд руб.					
0,134	0,132	0,208	0,074	1,144	1,129
0,103	0,101	0,210	0,075	1,098	1,089
0,092	0,089	0,212	0,075	1,081	1,075
0,082	0,080	0,213	0,076	1,067	1,064
0,055	0,053	0,217	0,077	1,025	1,032
0,050	0,048	0,219	0,078	1,017	1,027
0,045	0,044	0,220	0,078	1,010	1,021
0,041	0,040	0,221	0,079	1,002	1,017
15 млрд руб.					
0,104	0,102	0,217	0,077	1,150	1,138
0,088	0,087	0,215	0,076	1,130	1,122
0,083	0,082	0,214	0,076	1,124	1,118
0,079	0,078	0,213	0,076	1,120	1,116
0,069	0,067	0,210	0,074	1,111	1,117
0,067	0,066	0,209	0,074	1,110	1,118
0,065	0,064	0,208	0,074	1,110	1,120
0,064	0,063	0,207	0,073	1,110	1,123

Таблица составлена по авторским расчетам

видно, что для такого варианта полностью выполняются необходимые и достаточные условия субаддитивности общесетевой многопродуктовой функции совокупных издержек: $SC > 0$ и AIC монотонно убывают во всей области спроса. Экономия от масштаба S остается растущей ($S > 1$) всюду и по мере усиления нагрузки на сеть стремится к единице, хотя и медленнее, чем в предыдущем варианте.

Результаты оценки, применительно к рассматриваемой транспортной сети и параметрам моделирования сетевой технологии, взаимосвязи динамики естественно-монопольных индикаторов синергии (целостности) (FSY) и интегральных па-

раметров сетевого проекта (NPV) представлены в табл.2.

Варьируются ограничения на бюджет инвестиций, и для каждого варианта сетевого транспортного проекта при заданных объемах спроса на перевозки в табл.2 в левых колонках представлены значения FSY (усредненные по x_1), а в правых – показатели соотношения динамики FSY и NPV (также усредненные по x_1) в виде отношения темпов прироста (изменения) фактора синергии FSY к темпам прироста (изменения) NPV . Очевидно, что это аналоги показателей эластичности, изменяющиеся по мере усиления нагрузки транспортной сети. В последней строке приведены усредненные оценки по вариантам спроса.

Табл. 2

Средние значения фактора синергии FSY и оценки его эластичности по NPV при различных вариантах ограничений на бюджет инвестиций

С ограничениями на инвестиции					
5 млрд руб.		10 млрд руб.		15 млрд руб.	
2,647	-1,208	1,402	-0,680	1,283	-0,761
2,524	-4,383	1,369	-0,650	1,254	-0,570
2,413	-3,569	1,342	-0,569	1,232	-0,516
2,313	-2,888	1,319	-0,478	1,215	-0,357
2,223	-2,539	1,298	-0,418	1,201	-0,309
1,870	-1,757	1,228	-0,305	1,155	-0,208
1,615	-1,093	1,185	-0,199	1,131	-0,121
1,416	-0,788	1,155	-0,149	1,116	-0,077
1,257	-0,619	1,132	-0,120	1,105	-0,062
1,133	-0,505	1,115	-0,102	1,097	-0,048
1,039	-0,422	1,101	-0,088	1,091	-0,040
0,970	-0,359	1,090	-0,078	1,086	-0,034
0,919	-0,308	1,080	-0,071	1,082	-0,030
0,882	-0,266	1,072	-0,065	1,079	-0,026
0,856	-0,236	1,065	-0,060	1,076	-0,023
0,836	-0,209	1,058	-0,056	1,074	-0,021
0,822	-0,175	1,053	-0,053	1,072	-0,019
0,812	-0,156	1,048	-0,050	1,070	-0,017
0,804	-0,136	1,043	-0,047	1,068	-0,016
0,799	-0,118	1,039	-0,043	1,067	-0,014
0,795	-0,100	1,035	-0,042	1,066	-0,013
0,793	-0,091	1,032	-0,041	1,065	-0,012
0,792	-0,075	1,029	-0,037	1,064	-0,011
0,791	-0,066	1,026	-0,036	1,063	-0,011
1,364	-0,920	1,150	-0,185	1,125	-0,138

Таблица составлена по авторским расчетам

Анализ динамики эластичности FSY по NPV по мере роста спроса на перевозки показывает, что за каждый процент прироста NPV имеет место «плата» в виде снижения динамики эффекта си-

нергии, присущего целостным по структуре транспортным сетям. Эта «плата» относительно небольшая (выражаемая в долях процента). При этом она существенно меньше для сетей, обладающих свойствами естественной монополии (для вариантов с более мягкими ограничениями на инвестиции), чем для сетей, эти свойства утрачивающих, когда появляются оценки $FSY < 1$, т.е. отвергается технологико-экономическая (по общесетевым совокупным издержкам) целесообразность существования естественной монополии на рынке услуг.

Отметим, что, если исходить из оценок обратной эластичности индикатора NPV по FSY (рассчитываемых по данным табл.2), то на каждый процент снижения (динамики исчерпания) эффекта естественно-монопольной синергии по мере роста загрузки транспортной сети будет иметь место заметное, многократное увеличение темпов прироста NPV .

Особенно сильное превышение динамики (в 3-5 раз) проявляется для транспортных сетей, являющихся по своей структуре естественными монополиями. Другими словами, чем медленнее растрачивается эффект целостности, тем более быстрыми темпами растет NPV сетевого транспортного проекта. И если речь идет о замедлении динамики исчерпания эффекта синергии для сети, которая является естественной монополией, то при росте спроса на перевозки значения темпа прироста NPV , как показывают экспериментальные расчеты, увеличиваются в разы.

В рамках разрабатываемой методологии предлагаемые уточнения подходов к моделированию используемых при идентификации объемов спроса на грузовые и пассажирские перевозки по транспортной сети непосредственно связаны со способами задания характеристик спроса. Уточнения представляются как **переход от агрегированного экзогенного спроса к моделям эндогенного спроса (п.1.2)** (например, см. [20]), при котором в дополнение к моделированию экзогенных, агрегированных по сети в целом объемов спроса на грузовые и пассажирские перевозки, предусматривается моделирование их эндогенных детализированных аналогов.

В расчетах, представленных далее, поток по корреспонденциям определялся по гравитационной модели с ограничениями-равенствами (для каждого узла сети) на объемы исходящих поездов.

Далее в табл.3 для сопоставительного анализа естественно-монопольных характеристик, определяемых при различных способах моделирования спроса, в качестве примера приведены некоторые результаты расчетов средних значений технологических детерминант по умеренному варианту огра-

Табл. 3

Сопоставление технологических характеристик транспортной сети при экзогенном и эндогенном моделировании спроса на перевозки (при ограничениях на бюджет инвестиций в 10 млрд руб.)

Средняя арифм. $SC(x1, x2)$ по $x1$	Средняя арифм. $SC(x1, x2)$ по $x2$	Средняя арифм. $AIC(x1)$ по $x1$	Средняя арифм. $AIC(x2)$ по $x2$	Средняя геом. $S(x1, x2)$ по $x1$	Средняя геом. $S(x1, x2)$ по $x2$
Экзогенный спрос					
0,270	0,217	0,296	0,087	0,957	0,932
0,205	0,158	0,328	0,099	0,834	0,854
0,145	0,106	0,360	0,112	0,751	0,795
0,091	0,061	0,392	0,124	0,693	0,750
0,043	0,022	0,424	0,136	0,650	0,715
0,003	-0,013	0,457	0,148	0,618	0,687
-0,032	-0,042	0,489	0,161	0,593	0,664
-0,062	-0,068	0,521	0,173	0,574	0,645
-0,086	-0,091	0,553	0,185	0,559	0,629
-0,107	-0,110	0,585	0,197	0,546	0,615
-0,124	-0,127	0,617	0,210	0,536	0,604
Эндогенный спрос					
0,103	0,101	0,210	0,075	1,098	1,089
0,092	0,089	0,212	0,075	1,081	1,075
0,082	0,080	0,213	0,076	1,067	1,064
0,074	0,072	0,214	0,076	1,055	1,054
0,067	0,065	0,215	0,077	1,044	1,046
0,061	0,059	0,216	0,077	1,034	1,039
0,055	0,053	0,217	0,077	1,025	1,032
0,050	0,048	0,219	0,078	1,017	1,027
0,045	0,044	0,220	0,078	1,010	1,021
0,041	0,040	0,221	0,079	1,002	1,017
0,038	0,036	0,222	0,079	0,996	1,012

Таблица составлена по авторским расчетам

ничений на бюджет инвестиций (в 10 млрд. руб.) и заданной ставке дисконта.

Данные табл. 3 демонстрируют существенные различия в оценках технологических детерминант, хотя по совокупности представленных результатов расчетов итоговые выводы идентичны: наличие естественной монополии не подтверждается при использовании, и модели экзогенного спроса, и модели эндогенного спроса.

Основания для такого вывода различны для разных моделей формирования спроса на услуги рассматриваемой транспортной сети. Так, применение модели экзогенного спроса в виде общесетевых объемов грузовых и пассажирских перевозок (при фиксированной структуре кор-

респондентий) приводит, при последовательном и однотипном увеличении объемов спроса, к отрицательному значению экономии от структуры SC . Нарушается необходимое условие субаддитивности, причем при быстром исчерпании его довольно большого исходного запаса. Более того, во всем диапазоне варьирования объемов спроса экономия от масштаба S меньше единицы при также быстром снижении его до 0,5-0,6 по мере роста спроса, что позволяет оценивать работу сети по затратной эластичности, как неэффективную.

При использовании эндогенного спроса для одних и тех же его общесетевых объемов, положительная экономия от структуры имеет место во всей анализируемой области при относительно небольшом исходном запасе субаддитивности и замедленном темпе его исчерпания, по сравнению с аналогичными показателями при экзогенном спросе. Рост AIC – приростных средних издержек – приводит к выводу о нарушении субаддитивности функции совокупных общесетевых издержек и, соответственно, об отсутствии условий естественной монополии применительно к данной транспортной сети. Заметим, однако, что в отличие от ситуации экзогенного спроса, экономия от масштаба (при эндогенном спросе) в аналогичных расчетах получается растущей почти в всей области спроса ($S > 1$), что свидетельствует об эффективности работы сети при выявленном оптимальном уровне ее загрузки.

Модели эндогенного спроса являются более адекватным способом моделирования. При этом осуществляется дезагрегация общесетевых объемов спроса на грузовые и пассажирские перевозки с учетом структуры сети и предпочтений пользователей при выборе конечных пунктов поездов.

Еще один существенный элемент предлагаемой методологии построения моделей и методов диагностики транспортных сетей как естественных монополий – *моделирование сетевой транспортной технологии при различных способах учета нелинейности затрат на отдельных элементах сети (п.1.3)*.

Представим результаты расчетов влияния на оценки характеристик сетевого транспортного проекта и естественно-монопольных индикаторов (технологических детерминант) изменений характера нелинейности издержек из-за увеличения капитальных затрат на дорогах в зависимости от числа полос. В данной серии экспериментов такое увеличение моделировалось следующим образом: требуемые объемы инвестиций в строительство многополосных (4 полосы и более) до-

рог увеличивались до 5 раз случайным образом для всех звеньев (дорог). В процессе оптимизации работы и развития сети эти дополнительные объемы составляющих капитальных затрат также распределялись по сети в рамках заданных общесетевых ограничений на бюджет инвестиций и предъявляемых объемов спроса на грузовые и пассажирские перевозки.

В графическом виде результат нелинейной оптимизации развития транспортной сети для эконометрического моделирования агрегированной двухпродуктовой функции издержек представлен на рис.1.

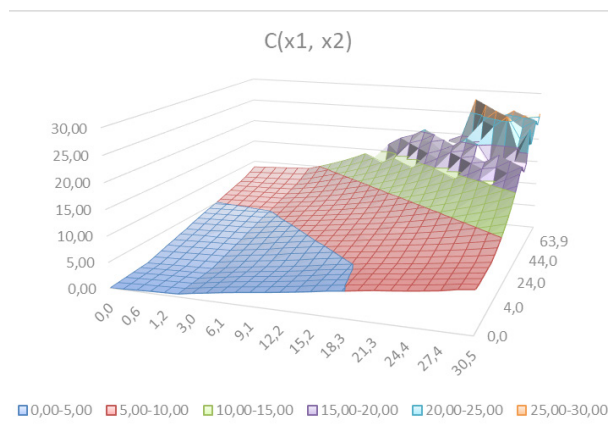


Рис. 1. Диаграмма исходных значений функции совокупных общесетевых затрат, полученный как результат нелинейной оптимизации развития транспортной сети для эконометрического моделирования агрегированной двухпродуктовой функции издержек

Диаграмма построена для варианта с ограничением 10 млрд руб. при заданной ставке дисконта 10%. Выраженная квадратичная нелинейность при значительном росте объема спроса на грузовые и пассажирские перевозки обусловлена преимущественно указанным выше многократным увеличением условно-постоянных издержек на многополосных дорогах.

Для удобной визуализации результатов вариантов расчетов при изменении характера нелинейности моделей издержек на работу и развитие сети, также формировались специальные таблицы (см., например, представленный их фрагмент в табл.4). Эти таблицы, конструируемые в рамках компьютерного моделирования, включают наборы характеристик, привлекаемых к анализу расчетных показателей. При этом наборы составляются для обеспечения при сопоставительном анализе достаточной наглядности взаимосвязей естественно-монопольных индикаторов и характеристик сетевого транспортного проек-

та. Так, в табл. 4 для одинаковых средних значений объемов спроса на грузовые ($x1$) и пассажирские ($x2$) перевозки объединены усредненные значения характеристик сетевого транспортного проекта – темп прироста NPV и объемы инвестиций – с соответствующими абсолютными значениями естественно-монопольных индикаторов (экономии от структуры SC и формируемого на его основе фактора синергии FSY), а также с дополнительными показателями их удельных значений.

В табл. 4 представлены некоторые результаты расчетов применительно к умеренному варианту ограничений на бюджет инвестиций (10 млрд руб.).

Табл. 4

Попарное сопоставление FSY и SC с динамикой NPV и объемами инвестиций

Ср. знач. фактора синергии FSY (по $x1$)	Ср. арифм $SC(x1, x2)$ по $x1$	Темп прироста (%) NPV (по $x1$)	Ср. арифм. инвест. млрд. руб. (по $x1$)	Отнош. ср. FSY к темпу прироста NPV (по $x1$)	Ср. FSY на 1 млрд.руб. инвест (по $x1$)	Отнош. ср. SC (%) к темпу прироста NPV (по $x1$)	Ср. SC (%) на 1 млрд.руб. инвест (по $x1$)
Нелин-ть исх., нет ест. мон.: $SC > 0$, нет монот. убыв. $AIC(x1)$ и $AIC(x2)$, $S > 1$ не во всей области спроса							
1,132	0,117	16,23	6,58	0,070	0,172	0,721	1,778
1,115	0,103	15,09	6,96	0,074	0,160	0,685	1,484
1,090	0,082	13,22	7,62	0,082	0,143	0,623	1,081
1,080	0,074	12,29	8,04	0,088	0,134	0,603	0,922
1,065	0,061	10,90	8,55	0,098	0,125	0,556	0,709
1,058	0,055	10,37	8,80	0,102	0,120	0,530	0,624
1,048	0,045	9,30	9,26	0,113	0,113	0,488	0,490
1,043	0,041	8,89	9,46	0,117	0,110	0,464	0,436
1,035	0,034	8,16	9,62	0,127	0,108	0,418	0,354
1,026	0,025	7,37	9,95	0,139	0,103	0,344	0,255
Нелин-ть усил. – рост инвестиций в многополосн. дороги-, $SC < 0$, нет ест. мон., для некоторых фрагментов области спроса $S < 1$							
1,167	0,143	16,21	7,42	0,072	0,157	0,884	1,931
1,103	0,094	15,05	7,88	0,073	0,140	0,621	1,187
1,014	0,013	13,09	8,84	0,077	0,115	0,102	0,152
0,982	-0,018	12,24	9,15	0,080	0,107	-0,147	-0,197
0,937	-0,067	10,83	9,59	0,087	0,098	-0,620	-0,700
0,921	-0,086	10,36	9,75	0,089	0,094	-0,831	-0,884
0,897	-0,115	9,41	9,97	0,095	0,090	-1,226	-1,157
0,888	-0,126	8,92	9,97	0,100	0,089	-1,418	-1,269
0,875	-0,143	8,02	9,97	0,109	0,088	-1,789	-1,439
0,863	-0,159	7,24	9,98	0,119	0,086	-2,203	-1,596

Таблица составлена по авторским расчетам

Заметим, что темпы прироста NPV для данного варианта демонстрируют во всей области анализируемого спроса (как и для других принимаемых в расчет при компьютерном моделировании вариантов) устойчивый и близкий по значениям обратный U-образному виду. Показатель объема привлекаемых инвестиций при усилении нелинейности затрат плотнее приближается к общесетевому ограничению, сохраняя в целом характер растущей динамики.²

Соответственно, по данным табл. 4 динамика удельных показателей FSY и SC , отнесенных поочередно и к темпу прироста NPV и к объему инвестиций, при такой условной нормировке четко свидетельствует, по крайней мере, о двух явлениях. Первое, если судить по абсолютным или удельным значениям SC при исходной нелинейности, имеет место несколько больший первоначальный запас субаддитивности, а, значит, предположительно можно допускать и большую по спросу область естественно-монопольных свойств, присущих рассматриваемой транспортной сети. Однако этот запас имеет место лишь для небольших значений спроса, и появляющиеся отрицательные значения SC в ситуации с усиленной нелинейностью затрат показывают, что субаддитивность нарушена и естественная монополия не существует.

Второе – связь с заметным увеличением интенсивности процесса исчерпания первоначального запаса субаддитивности при росте условно-постоянных издержек на многополосных дорогах. Это демонстрируют, например, расчетные данные по абсолютным показателям FSY . Так, во всей области анализа субаддитивности имеет место снижение соответствующих значений в диапазоне 1,5-1,0 при исходной нелинейности и в диапазоне 1,95- 0,86 при усиленной нелинейности, когда естественно-монопольная синергия исчезает. По удельным показателям FSY снижение значений происходит, соответственно, в 2-3 раза при исходной нелинейности издержек и в 4–5 раз при усилении нелинейности затрат.

Эксперименты показывают, что аналогичные явления можно наблюдать и при усреднении указанных характеристик по $x2$, а также при проведении других вариантов расчетов. Результаты сопоставительного анализа подтверждают полученные выводы об уменьшении области (по объемам агрегированного спроса) естественной монополии при

² Показатель объема привлекаемых инвестиций при усилении нелинейности затрат, например, почти удваивается по мере роста спроса на перевозки при сопоставлении вариантов «без ограничений на бюджет инвестиций».

усилении нелинейности в моделях издержек, что хорошо согласуется и с соответствующими положениями теории в части перехода от линейных к нелинейным функциональным формам при выборе подходящих моделей функций издержек для сетевого транспортного проекта. Также подтверждаются и выводы относительно увеличения интенсивности исчерпания запаса субаддитивности общесетевой агрегированной функции издержек при увеличении капитальных затрат на многополосных дорогах.

Заключение

Рассмотренные в развитие результатов, полученных авторами ранее, уточнения создаваемой методологии диагностики естественно-монопольных свойств транспортной сети направлены на оценку взаимосвязей характеристик сетевого проекта и технологических детерминант. Существенным элементом новизны, при этом, можно считать проведение подобного анализа в динамике с использованием системы вариантных компьютерных расчетов. В качестве ключевых направлений дальнейших исследований по проблеме можно выделить следующие:

- исследование области анализа субаддитивности агрегированной общесетевой функции издержек с использованием различных методов оценки эндогенного спроса на грузовые и пассажирские перевозки;
- анализ влияния на оценки технологических детерминант при проверке свойств естественной монополии характера нелинейности издержек, путем варьирования степени нелинейности переменных составляющих затрат на отдельных дорогах сети;
- выявление зависимости результатов диагностики естественно-монопольных свойств транспортной сети от способов задания общесетевых ограничений на объемы инвестиций и методов алгоритмизации получения оптимальных вариантов технологических и структурных характеристик;
- расширение спектра применяемых при эконометрическом моделировании функциональных форм для построения агрегированной общесетевой функции издержек, включая использование гедонических подходов;
- разработка способов построения приемлемых наборов расчетных показателей для улучшения визуализации результатов компьютерного моделирования при проведении сопоставительного анализа вариантов.

Литература

1. *Анализ динамики технологических детерминант естественно-монопольных транспортных сетей при оптимальном их развитии* / В.Н. Лившиц, Н.И. Белоусова, С.П. Бушанский, Е.М. Васильева. С.Н. Гук // *Аудит и финансовый анализ*. М.: ДСМ Пресс, 2011. Вып.4. С. 138-159.
2. *Белоусова Н.И., Бушанский С.П., Васильева Е.М.* Моделирование оценок перегруженности транспортной сети и вариантов ее развития // *Экономический анализ: теория и практика*. 2013. 48 (351). С.16-23.
3. *Естественно-монопольные свойства транспортных сетей: многопродуктовые модели диагностики* / Н.И. Белоусова, С.П. Бушанский, Е.М. Васильева, В.Б. Васильев // *Аудит и финансовый анализ*. 2018. Вып.2. С.129-147.
4. *Белоусова Н.И., Васильева Е.М.* Особенности моделирования инфраструктурных технологий с учетом изменений законодательства по естественным монополиям // *Труды ИСА РАН*. 2019. Т.69. Вып.3. С.28-41.
5. *Белоусова Н.И., Васильева Е.М.* Моделирование параметров отраслевых технологий и учет естественно-монопольной специфики // *Восьмая Международная конференция «Системный анализ и информационные технологии» САИТ – 2019* (8 – 14 июля 2019 г., г. Иркутск – Листвянка, Россия): *Труды конференции*. М.: ФИЦ ИУ РАН. 2019. С. 422-429.
6. *Белоусова Н.И., Васильева Е.М.* Диагностика свойств сетевых инфраструктурных технологий в реформируемой системе госрегулирования российских естественных монополий // *Российский экономический журнал*. 2019. Вып. 3. С.25-35.
7. *Белоусова Н.И., Бушанский С.П., Васильева Е.М.* Оценка параметров инфраструктурных технологий в условиях реформы госрегулирования российских естественных монополий // *Экономический анализ: теория и практика*. 2020. Т.19. Вып.4. С. 663–682.
8. *Baumol W.L., Panzar J.C., Willig R.D.* Contestable Markets and the Theory of Industry Structure. N.Y.: NBJ. 1982. 497p.
9. *Белоусова Н.И., Васильева Е.М., Лившиц В.Н.* Модели идентификации естественных монополий и государственного управления ими (возможности расширения классической теории) // *Экономика и математические методы*. 2012. Т.48. №3. С.64-78.
10. *Белоусова Н.И., Васильева Е.М.* Естественно-монопольные индикаторы деятельности: теоретические и прикладные аспекты анализа // *Труды ИСА РАН*. 2018. Т.68. Вып.3. С.69-82.

11. *Информационная технология синтеза сложных сетевых структур нестационарной российской экономики: модели, алгоритмы, программная реализация*/ Н.И. Белоусова, С.П. Бушанский, Е.М. Васильева, В.Н. Лившиц, Э.И. Позамантир //Аудит и финансовый анализ. 2008. Вып. 1. С.50-88.
12. *Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А.* Оценка эффективности инвестиционных проектов: теория и практика. 5-е изд. перераб. и доп. М.: Поли Принт Сервис. 2015. 1300с.
13. *Benders J. F.* Partitioning procedures for solving mixed-variables programming problems// Numerische Mathematics (Berlin). 1962. 4:3. P. 238–252.
14. *Лившиц В.Н.* О применении математических методов при выборе оптимальной схемы развития транспортной сети. Труды Первой Всесоюзной конференции по оптимизации и моделированию транспортных сетей. Киев: Изд-во Института кибернетики АН УССР. 1967. С. 45-64.
15. *Левит Б.Ю., Лившиц В.Н.* Нелинейные сетевые транспортные задачи. М.: Транспорт. 1972. 144с.
16. *Васильева Е.М., Левит Б.Ю., Лившиц В.Н.* Нелинейные транспортные задачи на сетях. М.: Финансы и статистика. 1981. 104с.
17. *Васильева Е.М.* Формирование оценок эффективности естественно-монопольных производственных систем. М.: ЛИБРОКОМ. 2008. 176с.
18. *Roller L.H.* Proper quadratic cost functions with an applications to the Bell System //The Review of Economics and Statistics. 1990. 72(2). P.202-210.
19. *Pulley L.B., Braunstein Y.M.* A composite cost function for multiproduct firms with an application to economies of scope in banking //The Review of Economics and Statistics. 1992. 74(2). P.221-230.
20. *Мазурин Д.С., Федотов А.А., Швецов В.И.* Модель грузовых передвижений с применением к транспортной сети московской области // Труды ИСА РАН. 2016. Т. 66. Вып. 4. С.10-17.

Белоусова Наталия Ивановна. Федеральное государственное учреждение Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН). Ведущий научный сотрудник, доктор экономических наук. Количество печатных работ: более 150 (в т.ч. 6 монографий). Область научных интересов: теоретические модели государственного регулирования и практика проведения реформ в сферах естественных монополий, инновационные аспекты организационных изменений и развитие конкурентоспособных рынков, параметры стратегического развития инфраструктурных подсистем, развитие системной методологии структурного регулирования естественных монополий. E-mail: natabel.52@mail.ru; belousova@isa.ru

Бушанский Сергей Петрович. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центральный экономико-математический институт Российской академии наук (ЦЭМИ РАН). Старший научный сотрудник, кандидат экономических наук. Количество печатных работ: более 40 (в т.ч. 3 монографии). Область научных интересов: разработка и модификация методов построения оптимальных транспортных сетей, исследование методологических и методических проблем обоснования крупных инфраструктурных проектов, моделирование процессов принятия решений в системе государственного проектирования. E-mail: ergr190@rambler.ru

Васильев Владимир Борисович. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центральный экономико-математический институт Российской академии наук (ЦЭМИ РАН). Старший научный сотрудник, кандидат экономических наук. Количество печатных работ: 10. Область научных интересов: моделирование процессов поддержки и обоснования решений в системе государственного управления российскими естественными монополиями; разработка программных средств для диагностики естественно-монопольных свойств транспортных сетей при моделировании их работы и развития. E-mail: vas10081946@gmail.com

Васильева Елена Михайловна. Федеральное государственное учреждение Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН). Ведущий научный сотрудник, доктор экономических наук. Количество печатных работ: более 160 (в т.ч. 10 монографий). Область научных интересов: моделирование процессов функционирования и развития сетевых инфраструктурных подсистем, прежде всего, на транспорте; разработка теоретических и прикладных моделей идентификации естественной монополии, методов анализа динамики показателей сложной структуры; развитие методологии системного анализа и оценки эффективности деятельности российских естественных монополий. E-mail: vas10081946@gmail.com; vasileva@isa.ru

Diagnosics of Transport Networks as Natural Monopolies in Relation to the Characteristics of the Network Project*

N.I. Belousova¹, S.P. Bushansky^{II}, V.B. Vasiliev^{II}, E.M. Vasilieva^I

¹ Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

^{II} Central Economics and Mathematics Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. The results of refining diagnostic methods of transport networks as natural monopolies (NM) are presented. Especially with regard to elaboration of new approaches to NM identification under variation of demand on transportations well as investment constraints, discount rate and other parameters of the network design. Proposed methodology accumulates and enhancement conceptual and partially applied over the world practice modern approaches for identification of network objects of NM market. The objectives of the evaluation on NM synergy effects with exogenous and endogenous demand on cargo and passenger transportation are realized by modeling on the basis of suitable multiproduct total cost function, appropriate system of technological determinants and some related characteristics. Different variants of non-linearity of the network cost function are taking into account. The results of computer experiments on identification of NM properties of regional transport network are represented. Comparative analysis of the variants of dynamic assessments of NM technological determinants in interconnections with network investment project indicators is fulfilled.

Keywords: *natural monopolies, transport network projects, technological determinants modeling, structure characteristics of transport network, multiproduct total cost function, testing on subadditivity, optimization of nonlinear transport networks development, variation of indicator values, natural monopoly synergy effects, transport network integrity*

DOI: 10.14357/20790279200401

References

1. *Analiz dinamiki tekhnologicheskikh determinant estestvenno-monopol'nykh transportnykh setej pri optimal'nom ih razvitiy / V.N. Livshic, N.I. Belousova, S.P. Bushanskij, E.M. Vasil'eva. S.N. Guk // Audit i finansovyj analiz. M.: «DSM Press», 2011. Vyp.4. P. 138-159.*
2. *Belousova N.I., Bushanskij S.P., Vasil'eva E.M. Modelirovanie ocenok peregruzhennosti transportnoj seti i variantov ee razvitiya // Ekonomicheskij analiz: teoriya i praktika. 2013. 48 (351). P.16-23.*
3. *Estestvenno-monopol'nye svoystva transportnykh setej: mnogoproductovye modeli diagnostiki / N.I. Belousova, S.P. Bushanskij, E.M. Vasil'eva, V.B. Vasil'ev // Audit i finansovyj analiz. 2018. Vyp.2. P.129-147.*
4. *Belousova N.I., Vasil'eva E.M. Osobennosti modelirovaniya infrastruktury tekhnologij s uchetom izmenenij zakonodatel'stva po estestvennym monopolijam // Trudy ISA RAN. 2019. T.69. Vyp.3. P. 28-41.*
5. *Belousova N.I., Vasil'eva E.M. Modelirovanie parametrov otraslevykh tekhnologij i uchet estestvenno-monopol'noj specifiky // Vos'maya Mezhdunarodnaya konferenciya «Sistemnyj analiz i informacionnye tekhnologii» SAIT – 2019 (8 – 14 iyulya 2019 g., g. Irkutsk – Listvyanka, Rossiya): Trudy konferencii. M.: FIC IU RAN. 2019. P. 422-429.*
6. *Belousova N.I., Vasil'eva E.M. Diagnostika svoystv setevykh infrastruktury tekhnologij v reformiruemoj sisteme gosregulirovaniya rossijskikh estestvennykh monopolij // Rossijskij ekonomicheskij zhurnal. 2019. Vyp. 3. P. 25-35.*
7. *Belousova N.I., Bushanskij S.P., Vasil'eva E.M. Ocenka parametrov infrastruktury tekhnologij v usloviyah reformy gosregulirovaniya rossijskikh estestvennykh monopolij // Ekonomicheskij analiz: teoriya i praktika. 2020. T.19. Vyp.4. P. 663–682.*
8. *Baumol W.L., Panzar J.C., Willig R.D. Contestable Markets and the Theory of Industry Structure. N.Y.: HBJ. 1982. 497.*
9. *Belousova N.I., Vasil'eva E.M., Livshic V.N. Modeli identifikacii estestvennykh monopolij i gosudarstvennogo upravleniya imi (vozmozhnosti rasshireniya klassicheskoy teorii) // Ekonomika i matematicheskie metody. 2012. T.48. №3. P. 64-78.*
10. *Belousova N.I., Vasil'eva E.M. Estestvenno-monopol'nye indykatory deyatel'nosti: teoreticheskie i prikladnye aspekty analiza // Trudy ISA RAN. 2018. T. 68. Vyp.3. P. 69-82.*

* Funding: The reported study was funded by RFBR, project number 20-010-00135.

11. *Informacionnaya tekhnologiya sinteza slozhnyh setevykh struktur nestacionarnoj rossijskoj ekonomiki: modeli, algoritmy, programmaya realizaciya/* N.I. Belousova, S.P. Bushanskij, E.M. Vasil'eva, V.N. Livshic, E.I. Pozamantir // *Audit i finansovyj analiz*. 2008. Vyp. 1. P. 50-88.
12. *Vilenskij P.L., Livshic V.N., Smolyak S.A.* Ocenka effektivnosti investicionnyh proektov: teoriya i praktika. 5-e izd. pererab. i dop. M.: Poli Print Servis. 2015. 1300 p.
13. *Benders J. F.* Partitioning procedures for solving mixed-variables programming problems// *Numerische Mathematics (Berlin)*. 1962. 4:3. P. 238–252.
14. *Livshic V.N.* O primenenii matematicheskikh metodov pri vybore optimal'noj skhemy razvitiya transportnoj seti. Trudy Pervoj Vsesoyuznoj konferencii po optimizacii i modelirovaniyu transportnyh setej. Kiev: Izd-vo Instituta kibernetiki AN USSR, 1967. P. 45-64.
15. *Levit B.U., Livshic V.N.* Nelinejnye setevye transportnye zadachi. M.: Transport, 1972. 144 p.
16. *Vasil'eva E.M., Levit B.U., Livshic V.N.* Nelinejnye transportnye zadachi na setyah. M.: Finansy i statistika. 1981. 104 p.
17. *Vasil'eva E.M.* Formirovanie ocenok effektivnosti estestvenno-monopol'nyh proizvodstvennyh sistem. M.: Knizhnyj dom «LIBROKOM». 2008. 176 p.
18. *Roller L.H.* Proper quadratic cost functions with an applications to the Bell System // *The Review of Economics and Statistics*. 1990. 72(2). P. 202-210.
19. *Pulley L.B., Braunstein Y.M.* A composite cost function for multiproduct firms with an application to economies of scope in banking // *The Review of Economics and Statistics*. 1992. 74(2). P.221-230.
20. *Mazurin D.S., Fedotov A.A., Shvetsov V.I.* Model gruzovyh peredvigjenij s primeneniem k transportnoj seti Moskovskoy oblasti // *Trudy ISA RAN*. 2016. T.66. Vyp.4. P. 10-17.

N.I. Belousova. Doctor of Economics, Leading Researcher, Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. E-mail: natabel.52@mail.ru; belousova@isa.ru

S.P. Bushansky. Phd (Economics), Senior Researcher, Central Economics and Mathematics Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. E-mail: dbd-s@yandex.ru

V.B. Vasiliev. Phd (Economics), Senior Researcher, Central Economics and Mathematics Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. E-mail: vas10081946@gmail.com

E.M. Vasileva. Doctor of Economics, Leading Researcher, Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. E-mail: vas10081946@gmail.com; vasileva@isa.ru