

ПОДХОДЫ К ДИАГНОСТИКЕ ЕСТЕСТВЕННО-МОНОПОЛЬНЫХ СВОЙСТВ ВНЕГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ

Васильева Е.М., Лившиц В.Н., Миронова И.А.
ФИЦ «Информатика и управление» РАН, Москва, Россия
livchits@isa.ru

Аннотация. Представлены модельные подходы и разработаны расчетные конструкции оценки технологических характеристик работы и развития сетевых транспортных подсистем, позволяющие уточнить влияние эффекта естественно-монопольной синергии. Приведены результаты расчетов при различных постановках задач диагностики естественно-монопольных свойств внегородских региональных транспортных сетей на основе моделей нормативной идентификации естественной монополии.

Ключевые слова: сетевая транспортная инфраструктура, естественно-монопольные индикаторы, тестирование субаддитивности, многопродуктовая функция издержек, технологические детерминанты, внегородская сеть дорог, варьирование объема инвестиций, норма дисконта.

Введение

В современной экономической теории естественная монополия определена как наиболее эффективная бизнес-структура, состоящая из одной-единственной фирмы и обеспечивающая минимизацию (по числу фирм-производителей) совокупных издержек при каждом фиксированном объеме спроса, что математически означает наличие свойства субаддитивности функции издержек анализируемой компании. В рамках указанной теории и на практике при проведении экономических реформ за рубежом установлено, что в особых, специально создаваемых регулятором рыночных средах естественная монополия вынуждена вести себя как вполне конкурентная структура, не обладающая рыночной властью, утрачивая возможность назначать монопольно высокие цены, так как это становится для нее экономически нецелесообразным [1, 2].

Крупные транспортные сети, в том числе внегородские региональные сети, зачастую принято рассматривать как естественные монополии, хотя значительное количество зарубежных и отечественных прикладных работ в этой сфере показывают, что в условиях роста спроса транспортная сеть может терять свойства естественной монополии.

В практике российских антимонопольных исполнительных служб вопросы включения хозяйствующих субъектов в реестры естественных монополистов решаются преимущественно бюрократически, без применения корректных процедур идентификации, без каких-либо экономических расчетов.

В статье рассматриваются модели диагностики естественно-монопольных свойств транспортных сетей, конструируемые с использованием специальных индикаторов технологического процесса (технологических детерминант): экономия от масштаба, экономия от структуры и т.п. Эти индикаторы ориентированы на сопоставление динамики затрат и результатов, связанных с освоением перевозок по транспортным сетям заданной конфигурации (топологии). Они позволяют (при определенных предпосылках) оценивать эффекты синергетического характера, проявляющиеся в дополнительной экономии совокупных издержек, присущей естественным монополиям, и обусловленные особым, оптимальным или максимально к нему приближенным способом организации перевозок, технологией транспортировки.

Предлагаемые модели существенно расширяют возможности аналитического инструментария, применяемого при обосновании структурных реформ в сфере естественной монополии и ориентированы на получение специальных оценок эффективности проводимых преобразований различных сетевых подсистем (магистрального железнодорожного транспорта, крупных энергосетевых компаний, внегородской сети автомобильных дорог и т.п.).

Вычисление индикаторов и проведение компьютерных экспериментов базируется на агрегированной общесетевой функции издержек. Одна из наиболее трудных проблем прикладного моделирования такого рода функций (помимо выбора функциональных форм при эконометрическом моделировании) – это обеспечение исходной информацией, в наибольшей мере отвечающей гипотезам, заложенным в базовые модели теории естественной монополии. Прежде всего, имеется ввиду включение в расчеты затратных характеристик сетевых технологий перевозок, в достаточной мере приближенных к их минимальным значениям. Такие характеристики не являются наблюдаемыми, и их требуется специально моделировать. В данной работе в качестве генератора ненаблюдаемых данных используются оптимизационные (в сочетании с имитационными) модели распределения потоков и

развития транспортной сети с нелинейными характеристиками, которые являются основой разработанной в ИСА РАН и ЦЭМИ РАН информационной технологии синтеза сложных сетевых структур (*IT-S*) [3].

1. Постановка задачи

В круге задач стратегического планирования и управления развитием крупных внегородских транспортных сетей для условий растущего спроса на перевозки, порождающего ускоренный рост нелинейных совокупных издержек, имеет особую ценность рассмотрение проблемы диагностики естественно-монопольных свойств транспортной сети. Анализ, связанный с возможной утратой этих свойств при перегрузках сети, элиминированием характера естественной монополии в совокупных издержках, базируется на моделировании вариантов сетевых инвестиционных проектов, предусматривающих возможность модернизации и усиления существующих звеньев, а также изменения, расширения топологии исходной сети (добавления отдельных звеньев или их цепочек для расшивки "узких мест", дублирования фрагментов сети и т.п.). Теоретическое решение этих вопросов обеспечивается моделями и методами оптимизации транспортных сетей с нелинейными характеристиками (см. разработанный в [4-6] и принимаемый за основу в настоящей работе декомпозиционный подход, обеспечивающий поиск оптимальных по загрузкам звеньев сети и по выбору их технических состояний пространственных сетевых технологий для освоения заданных объемов перевозок).

В прикладном аспекте при решении сетевых задач обычно ограничиваются моделированием функционирования и развития сети фиксированной топологии: осуществляют выбор (с учетом ресурсных ограничений) наилучших вариантов усиления технических состояний только для существующих звеньев. Анализ изменений топологических свойств сети приходится рассматривать как самостоятельную, причем не полностью формализуемую процедуру. Для ее решения может быть полезен разрабатываемый авторами инструментарий нормативной идентификации естественной монополии, прежде всего, установление на рассматриваемом сегменте рынка свойства субаддитивности соответствующей функции издержек.

Задача оценки вариантов стратегического развития внегородских транспортных сетей (например, сети внегородских автомобильных дорог в регионе) и выбора наиболее эффективного из них рассматривается в данной работе применительно к многопродуктовому случаю - для условий растущего спроса как на грузовые, так и на пассажирские перевозки. Варьируются объемы спроса на перевозки (выпусков продукции/услуг по сети в целом), а также ограничения на бюджет инвестиций в развитие сети (непосредственно или через вариации принимаемой в расчетах нормы дисконта).

С помощью естественно-монопольных индикаторов, идентифицирующих наличие или отсутствие субаддитивности общесетевой функции издержек, рассчитываются оценки эффективности/неэффективности деятельности сети, выявляются возможные переходы к режимам перегруженности и, как следствие, необходимость структурных, топологических изменений сети (или подключения конкурирующих видов транспорта для передачи им части спроса на перевозки).

2. Методология моделирования: ключевые элементы

Моделирование сетевых инфраструктурных подсистем в данной работе базируется на сочетании положений теории естественной монополии, методах оптимизации нелинейных сетевых транспортных задач и инвестиционного проектирования.

Предлагаемая система моделей для анализа свойств сети как естественной монополии и построения вариантов развития топологии сети включает:

- модели оптимизации развития транспортной сети с нелинейными характеристиками;
- модели по применению технологии *IT-S* для генерации ненаблюдаемых данных;
- модели (в том числе, эконометрические) построения агрегированной общесетевой функции издержек;
- модели оценки технологических детерминант (S , SC , AIC).

Если естественную монополию идентифицируют как отраслевую структуру, отвечающую минимальным совокупным издержкам по количеству фирм-производителей, то проверка оптимальности означает тестирование свойства субаддитивности многопродуктовой функции издержек. Субаддитивность издержек – ключевое свойство естественной монополии в рамках нормативной идентификации, оно (как показано в теории [2, 7, 8]) может обосновано служить определяющим для установления факта естественной монополии.

Функция совокупных затрат в отрасли $C(\bar{y})$ называется строго 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 $\bar{y}^{i_1}, \bar{y}^{i_2}$.

Непосредственно аналитическими методами установить свойство субаддитивности функции издержек удастся только для однопродуктового случая, причем при упрощающих предположениях. Чтобы проводить нормативную идентификацию в общем случае, разработан специальный аппарат тестирования одно- и многопродуктовых функций издержек на субаддитивность.

Модели естественно-монопольных характеристик (технологических детерминант) играют определяющую роль при тестировании многопродуктовых функций издержек на субаддитивность. К ним, прежде всего, относятся индикаторы экономии от масштаба, экономии от структуры, средние приростные издержки.

Наиболее существенным признаком (необходимым условием) естественной монополии является наличие экономии от структуры, а не экономия от масштаба, тесно связанная со снижением средних издержек, но не тождественная ему. Отношение средних (или лучевых средних) издержек к предельным, определяющее экономию от масштаба, позволяет соизмерять динамику издержек и объемов выпускаемой продукции, анализировать эффективность производства продукции в терминах коэффициентов затратной эластичности.

Показатель экономии от структуры (экономии от разнообразия), который в однопродуктовом случае совпадает с определением субаддитивности издержек, дает возможность определять, будет ли дешевле (по издержкам) организовывать производство в рамках одной единственной фирмы, полностью удовлетворяющей спрос, или в рамках нескольких, меньших фирм, каждая из которых удовлетворяет лишь соответствующую часть спроса и является специализированной по одному или нескольким (несовпадающим) видам продукции.

Индикатор экономии от масштаба (S) рассчитывается по формуле:

$$S(\bar{y}) = \frac{C(\bar{y})}{(\bar{y}, \nabla C(\bar{y}))} \equiv \frac{C(\bar{y})}{\sum_i y_i \cdot \frac{\partial C(\bar{y})}{\partial y_i}} \equiv \frac{1}{\sum_i \frac{\partial \ln C(\bar{y})}{\partial \ln y_i}} \quad (1)$$

Индикатор экономии от масштаба (S) позволяет сопоставлять динамику роста совокупных издержек с динамикой спроса в терминах оценок затратной эластичности, когда рассматривается сравнительная динамика темпов прироста совокупных издержек и объемов выпуска продукции/услуг. Величина затратной эластичности меньше единицы означает, что темп прироста совокупных издержек отстает от темпа прироста объемов выпуска продукции (инфраструктурных услуг) и в этом смысле сеть может считаться эффективно работающей.

Согласно теоретическим подходам [2, 11], при нормативной идентификации естественной монополии, прежде всего, целесообразно ориентироваться на такие технологические детерминанты, как экономия от структуры, средние приростные издержки и т.п.

Индикатор экономии от структуры (SC) обеспечивает сравнение по издержкам гипотетических вариантов форм организации производства через ортогональные расщепления; в рассмотрение включаются варианты совместного производства всех видов продукции и варианты организации производств, которые полностью специализированы по одному или нескольким видам деятельности, суммарно обеспечивающих одинаковый объем спроса.

Оценка индикатора средних приростных издержек (AIC) связана с началом/прекращением выпуска какого-то одного продукта; в расчет эффективности включается прирост издержек/их экономия на единицу объема выпуска этого продукта.

Для иллюстрации приведем частный случай модели определения экономии от структуры: экономия от структуры существует, если $SC = \frac{(C(Y_P) + C(Y_T)) - C(Y_{P+T})}{C(Y_{P+T})} > 0$, т.е. полные совокупные затраты $C(Y_{P+T})$ для вектора диверсифицированного выпуска $Y_{P+T} = (y_1, y_2, \dots, y_P, y_{P+1}, \dots, y_{P+T})$ меньше, чем сумма затрат $C(Y_P)$ и $C(Y_T)$ при ортогональном способе расщепления данного предприятия на два специализированных, более мелких, выпускающих, соответственно $Y_P = (y_1, y_2, \dots, y_P, 0, \dots, 0)$ и $Y_T = (0, \dots, 0, y_{P+1}, y_{P+2}, \dots, y_{P+T})$.

Средние приростные издержки (average incremental cost – AIC), которые компания должна понести при дополнительном производстве, например, единицы продукта X , не выпускавшегося ранее, при производстве определенной комбинации всех других видов продуктов в объемах Y, Z, \dots определяется по формуле: $AIC_X = [C(X, Y, Z, \dots) - C(0, Y, Z, \dots)]/X$, где X, Y, Z, \dots – объемы выпусков различных

видов продукции (услуг) компании, $C(X, Y, Z, \dots)$ - функция совокупных издержек при фиксированных ценах на факторы производства.

В терминах этих индикаторов сформулирована и доказана в [2] одна из систем необходимых и достаточных условий субаддитивности многопродуктовой функции издержек, определяющих естественную монополию в рамках нормативной идентификации. Наличие положительных значений индикатора экономии от структуры во всей допустимой области анализа – необходимое условие; наличие положительных значений индикатора экономии от структуры в сочетании с монотонным снижением индикаторов приростных средних издержек по каждому из рассматриваемых продуктов (также во всей допустимой области анализа) – достаточные условия. Эти индикаторы далее использованы при тестировании на субаддитивность многопродуктовой общесетевой агрегированной функции издержек в компьютерных экспериментах.

При реализации принятого подхода используется предлагаемая в [10, 11] «сетевая» трактовка субаддитивности. Нарушение субаддитивности (потеря свойств естественной монополии) трактуется в случае целостной и неделимой транспортной сети как показатель необходимости усиления разветвленности сети с созданием дублирующих фрагментов сети (например, платных дорог) или как показатель создания дополнительных (по сравнению с исходной топологией) параллельных маршрутов и замкнутых контуров. Допускается также – в случае нарушения субаддитивности - необходимость подключения сетей других (конкурирующих) видов транспорта. В качестве управленческих мер также могут быть даны рекомендации об изменении цен доступа к транспортной инфраструктуре, причем в соответствии с социально ориентированными моделями оптимального/субоптимального ценообразования.

3. Компьютерные эксперименты

Представлены примеры результатов расчетов по моделированию оценки системной эффективности работы и развития сети, связанные с расширениями вычислительных экспериментов в части количественных результатов диагностики за счет изменений состава учитываемых факторов (например, при дополнительном включении в расчетную оценку эффективности задания экзо- или эндогенного типа спроса на перевозки, способа структуризации внешних эффектов и т.п.).

Применительно к фрагменту сети внегородских автомобильных дорог (вид сети представлен, например, в [10, 11]) строится многопродуктовая функция издержек, на ее основе рассчитываются технологические детерминанты - ключевые индикаторы (SC, AIC, S), по ним проводится тестирование функции издержек на субаддитивность и выявляется наличие (или отсутствие) свойств естественной монополии при производстве двух видов продукции (услуг): выполнении грузовых и пассажирских перевозок. Эконометрическим способом с использованием пакета EViews (версия 11.0) по 625 точкам для объемов спроса на грузовые перевозки (в пределах от 0 до 30,5 млрд. поездок в год) и на пассажирские перевозки (от 0 до 79,9 млрд. поездок в год) и $IT-S$ моделируется общесетевая функция совокупных издержек для двухпродуктового случая.

Для построения пилотных вариантов моделей оценки экономических характеристик (технологических детерминант) использованы квадратичные по выпускам функции издержек в предположении, что динамикой цен на ресурсы преимущественно можно пренебречь.

Компьютерные расчеты естественно-монопольных индикаторов (экономии от структуры, экономии от масштаба, приростных средних по каждому из переменных выпуска) показывают, что эффективно развиваемая транспортная сеть сохраняет свойства естественной монополии в отсутствии ограничений на инвестиции. При этом по мере роста спроса экономия от структуры имеет место, хотя и постепенно исчерпывается, и динамика остальных технологических детерминант также отвечает условиям естественной монополии: средние приростные издержки снижаются по каждому из продуктов.

Для сценариев с ограничениями на объемы инвестиций результаты расчетов естественно-монопольных характеристик меняются.

Появление отрицательного значения индикатора экономии от структуры при решении задачи диагностики показывает, что рассматриваемая транспортная сеть региона, отвечающая условиям соответствующей постановки, не обладает свойствами естественной монополии. С ростом нагрузки на сеть запас субаддитивности исчерпывается, и экономия от структуры, постепенно снижаясь, становится меньше нуля. Последнее означает нарушение необходимого условия существования естественной монополии, утрату свойства комплементарности грузовых и пассажирских перевозок, осуществляемых по одним и тем же дорогам. Такое нарушение необходимого условия субаддитивности общесетевой функции издержек свидетельствует о целесообразности структурных и организационных преобразований по ослаблению режимов перегруженности сети и/или, например, о

снятии части нагрузки и передаче ее конкурирующим перевозчикам. Также наблюдается рост средних природных издержек и заметное снижение экономии от масштаба. Экспериментально подтверждается этим примером расчета известный в теории естественной монополии факт, что сетевые транспортные подсистемы с естественно-монопольным компонентом могут характеризоваться не только растущей, но и постоянной или даже падающей экономией от масштаба.

Значения затратной эластичности по выпускам постепенно растут по мере развития сети, соответствующего росту спроса на грузовые и пассажирские перевозки, причём становятся больше единицы, когда спросовая нагрузка на сеть увеличивается значительно. Это в данном случае означает, что работа развиваемой сети до определённого уровня нагрузки остаётся эффективной, а затем по мере увеличения нагрузки становится неэффективной.

При отсутствии ограничений на бюджет инвестиций выявляется слабая зависимость значений естественно-монопольных характеристик от изменений значения нормы дисконта при увеличении ее в 1,5 раза (от 10 до 15%) и более заметная – при увеличении нормы дисконта в 2 раза (от 15 до 30%). В последнем случае эффективность работы и развития сети снижается с ростом объемов выпуска, уменьшается область субаддитивности издержек и, следовательно, «запас прочности» существования естественной монополии.

Приводимые результаты расчетов вполне соответствуют давно сложившимся и обоснованным представлениям о нецелесообразности ужесточения ограничений на инвестиции в работу и развитие сети, которое приводит к неэффективности ее структуры и деятельности, потере в том числе присущего естественным монополиям синергетического эффекта. В итоге неэффективная экономия на инвестициях в развитие инфраструктурных подсистем приводит к их хроническому отставанию.

4. Заключение

Направленность разработок представленного инструментария, во многом диктуемая проблемами госрегулирования в сфере сетевой транспортной инфраструктуры, предопределяется характером и масштабами фундаментальных задач нормативной и поведенческой идентификации. Решение задачи нормативной идентификации естественной монополии, по сути, представляет собой способ оценки системных эффектов, прежде всего, эффекта естественно-монопольной синергии в виде экономии совокупных издержек, возникающей как результат эффективной организации производства услуг на естественно-монопольном рынке [12]. Результаты компьютерных экспериментов по моделированию многопродуктовых естественно-монопольных характеристик могут быть полезны для составления перспективных схем развития транспортных сетей - при диагностике "узких мест", сокращении их количества, анализе экономической целесообразности дублирования конкретных фрагментов сети, изменении ее структуры. Решение задачи поведенческой идентификации естественных монополий в значительной мере исходит из присущей естественным монополиям временной неустойчивости.

В практическом плане изменчивость состояний определяет целесообразность регулярного проведения диагностики, по сути дела, налаживания мониторинга и моделирования системы оценок естественно-монопольных свойств сетевых инфраструктурных объектов. Проведение соответствующего мониторинга особенно существенно в условиях госрегулирования, интенсивных структурных преобразований в сферах естественных монополий и возникающей настоятельной необходимости обеспечения связности сетевых инфраструктурных объектов на федеральном и региональном уровнях.

В качестве ключевых направлений дальнейших исследований по проблеме можно выделить следующие:

- исследование области анализа субаддитивности агрегированной общесетевой функции издержек с использованием - в рамках нелинейной сетевой оптимизации решений задачи развития сети - различных методов современной модификации оценки;
- расширение спектра применяемых при эконометрическом моделировании функциональных форм для построения агрегированной общесетевой функции издержек.

Литература

1. Теория отраслевых рынков. Вехи экономической мысли / Под общ. ред. А.Г. Слуцкого. – СПб.: Экономическая школа, 2003. Т. 5. Вып. 27. – С. 110–140.
2. Baumol W.J., Panzar J.C., Willig R.D. Contestable markets and the theory of industry structure. – N.Y.: HBJ, 1982. – 497 p.

3. Белоусова Н.И., Бушанский С.П., Васильева Е.М., Лившиц В.Н., Позамантур Э.И. Информационная технология синтеза сложных сетевых структур нестационарной российской экономики: модели, алгоритмы, программная реализация // Аудит и финансовый анализ. 2008. Вып. 1. – С. 50-88.
4. 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.
5. Левит Б.Ю., Лившиц В.Н. Нелинейные сетевые транспортные задачи. – М.: Транспорт, 1972. – 144 с.
6. Bushansky S.P., Vasilieva E.M., Livchits V.N. Optimization transport computations // Advances in economics and optimization: collected scientific studies dedicated to the memory of L.V. Kantorovich / David Wing-kay Yeung ed. (Economic issues, problems and perspectives). – N.Y.: Nova Science Publishers Inc., 2014. – P. 19-36.
7. Васильева Е.М., Масленников Э.А. Модели идентификации естественных монополий: российская практика государственного управления и современная экономическая теория // Труды ИСА РАН. 2016. Т. 66. Вып. 3. – С. 105–116.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Белоусова Н.И., Бушанский С.П., Васильева Е.М., Васильев В.Б. Естественно-монопольные свойства транспортных сетей: многопродуктовые модели диагностики // Аудит и финансовый анализ. 2018. Вып. 2. – С. 129–147.
12. Белоусова Н.И., Васильева Е.М., Лившиц В.Н., Миронова И.А. Концептуальные основы моделирования оценки системной эффективности развития сетевой транспортной инфраструктуры // Труды ИСА РАН. 2021. № 71(1). – С. 10–21.