

Научная статья

УДК 332.1, 004.94

DOI 10.25205/1818-7900-2026-24-1-5-17

Система ПРОСТОР: существующие возможности и новые аспекты развития

Александр Георгиевич Анищенко¹

Михаил Алексеевич Бульонков²

¹Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН
Новосибирск, Россия

²Институт систем информатики им. А. П. Ершова СО РАН
Новосибирск, Россия

¹a.anishchenko1@g.nsu.ru, <https://orcid.org/0009-0008-6024-7327>

²bulyonkov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2490-4077>

Аннотация

В данной статье описываются как уже существующие возможности, так и новые дополнения в системе ПРОСТОР – программе, которая позволяет рассчитывать оптимальные способы перевозки грузов между пунктами. Целью работы было создать необходимые условия для более удобного для пользователей взаимодействия с программой. Для этого были предложены некоторые нововведения в работе программы. Также в статье для понимания контекста работы с системой ПРОСТОР и вызываемых трудностей и неточностей были описаны существующие возможности программы и особенности работы с ней.

К новым аспектам развития системы были отнесены возможности по автоматическому преобразованию данных в соответствии с территориальным расположением транспортных узлов. Такое дополнение к программе позволяет любым ее пользователям самостоятельно определять размерность эксперимента транспортной задачи и решать его в программе.

Также программа была дополнена возможностью увеличения продуктовой размерности транспортной задачи. Это нововведение является необходимой мерой по увеличению точности создаваемого системой ПРОСТОР решения, поскольку соединяет оптимальные способы перевозки грузов между пунктами с реально сложившейся географической и продуктовой особенностью расположения этих пунктов между собой.

После введения этих возможностей в работу программы взаимодействие пользователей – исследователей, изучающих развитие транспортных систем, с системой ПРОСТОР становится более эффективным. Полученные результаты более точно описывают транспортную отрасль, а соответственно, дают более качественные прогнозы. Также такие изменения работы программы не только создают более точные результаты экспериментов, но и упрощают взаимодействие пользователя с системой.

Ключевые слова

развитие транспортной отрасли, ПРОСТОР, транспорт, транспортная задача, моделирование, ГИС

Финансирование

Исследование выполнено в рамках проекта НИР ИЭОПП СО РАН «Модели и методы исследования социально-экономического развития многоуровневой пространственной системы Российской Федерации в современных условиях».

Для цитирования

Анищенко А. Г., Бульонков М. А. Система ПРОСТОР: существующие возможности и новые аспекты развития // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2026. Т. 24, № 1. С. 5–17. DOI 10.25205/1818-7900-2026-24-1-5-17

© Анищенко А. Г., Бульонков М. А., 2026

System PROSTOR: Existing Features and New Aspects of Development

Alexander G. Anischenko¹, Mikhail A. Bulyonkov²

¹Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS
Novosibirsk, Russian Federation

²The A. P. Ershov Institute of Informatics Systems SB RAS
Novosibirsk, Russian Federation

¹a.anishchenko1@g.nsu.ru, <https://orcid.org/0009-0008-6024-7327>

²bulyonkov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2490-4077>

Abstract

This study aims to describe both existing and new capabilities of the system of PROSTOR and create conditions for more convenient use of the program. PROSTOR is a program designed to find optimal ways of transporting goods between hubs. The author introduces capabilities of the program including innovative features such as automatic data conversation based on location of transport hub. This addition allows each user to determine the dimensions of a transportation problem experiment and solve the problem within PROSTOR. This helps researchers to work with the program easier. Also the ability to increase product dimension was added to the program. This innovation is crucial for improving accuracy of the solutions generated by PROSTOR as it combines optimal ways of transporting goods and actual geographic and product features of hubs. This improvement in the program is necessary because it takes into account the complexity of building relationships in a real transportation system.

The implementation of these features into the PROSTOR system has enhanced its effectiveness for researchers studying the development of transport systems. Now the obtained results provide a more accurate description of the transport sector leading to higher-quality forecasts. These program modifications not only improve the precision of experimental outcomes but also simplify user interaction with the system.

Keywords

development of transport, PROSTOR, transport, transport task, modeling, GIS

Funding

This work was carried out under Research Project IEIE SB RAS No121040100262-7 (0260-2021-0007).

For citation

Anischenko A.G., Bulyonkov M. A. System PROSTOR: existing features and new aspects of development. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2026, vol. 24, no. 1, pp. 5–17 (in Russ.) DOI 10.25205/1818-7900-2026-24-1-5-17

Введение

Развитие транспорта – тема, которая, пожалуй, никогда не потеряет своей актуальности. Для России, как для страны с колоссальными территориями, этот вопрос крайне важен, особенно в контексте развития ее азиатской части. Создание развитой опорной транспортной сети, включающей в себя различные виды транспорта, сможет превратить особенности географического положения России в ее конкурентное преимущество [1, с. 68]. Это позволит более эффективно распределять ресурсы на всей территории страны, что значительно сократит транспортную дискриминацию Азиатского региона, позволит осваивать слаборазвитые части страны, делая их более привлекательными для человека [2]. Актуальность данного вопроса подтверждается значительным увеличением числа публикаций на данную тему [3; 4].

Возникает вопрос о необходимости моделирования транспортной системы России, учитывая все ее многообразие. Это позволит исследовать развитие транспортных систем. Для решения этого вопроса была разработана и продолжает развиваться система ПРОСТОР. В данной статье будут описаны возможности для исследователей, предоставляемые программой, а также будут освещены аспекты нововведений, созданные в последние годы для эффективной работы с программой.

Пользователи системы ПРОСТОР, изучающие развитие транспортной отрасли России, нуждаются в комплексном подходе к проведению своих работ. Именно поэтому возникает

потребность в усовершенствовании системы, которое будет позволять учитывать различные аспекты, связанные с транспортом. Уже сейчас программа представляет собой удобный интерфейс для проведения таких исследований.

Моделирование опорной транспортной сети в системе ПРОСТОР

В данной части необходимо дать описательную характеристику работы системы ПРОСТОР: какие возможности она предлагает исследователям, какие есть нюансы работы с программой, какие преимущества и недостатки. МИКС ПРОСТОР (Модельно-информационная картографическая система, Прогнозирование развития опорной сети транспортной отрасли России) является программной системой для создания решений по формированию и развитию опорной транспортной сети России. Она позволяет определять различные варианты решения задачи оптимальной транспортировки грузов между различными географическими точками. Задача может относиться к разным уровням, начиная с перевозок внутри субъекта Российской Федерации, заканчивая перевозками в стране целиком с включением крупных транспортных узлов других стран [1, с. 70].

Транспортный комплекс модели состоит из двух видов элементов: точечные (узлы) и линейные (плечи). В первую очередь задаются узлы – точки на карте, между которыми происходят перевозки. Транспортные узлы представляются в виде крупных промышленно-транспортных городов, к которым тяготеют смежные районы, не имеющие своих крупных транспортных узлов [1, с. 71], поэтому можно считать, что узел – это не просто точка на карте, а целая географическая местность, объединенная в эту точку. Далее эти точки соединяются транспортными коридорами – плечами. Поскольку перевозку между узлами могут осуществлять различные виды транспорта, то каждый из них представлен своим плечом.

Модель также содержит отраслевую структуру рассматриваемой территории. В каждом узле производится и потребляется несколько видов продукта, задаваемых пользователем или уже определенных в программе. Если в узле разница между потреблением и производством какого-либо продукта положительна, то узел предъявляет спрос на этот продукт извне, иначе продукт из этого узла вывозится.

Таким образом, на основе балансов производства и потребления строится задача по оптимальному распределению продуктов между узлами, при условии расположения этих узлов в географическом пространстве, т. е. с учетом их транспортировки различными видами транспорта.

Также следует отметить, какие выделяются виды работ для каждого транспорта в каждом узле. В первую очередь на некоторый вид транспорт происходит *погрузка* произведенного продукта, которая зарождает грузопоток. Понятно, что грузопоток завершается полностью или частично *выгрузкой* продукта для потребления. Также внутри узла могут происходить промежуточные процессы грузоперевозки: *перегрузка* – смена вида транспорта (либо же перегрузка в рамках одного вида транспорта, связанная с инфраструктурными условиями перевозки¹) и *переработка транзита* – перевоз продукта без смены вида транспорта. На плече же производится только один вид работ – *провоз продукта по плечу*.

На каждый из этих видов работ, транспорта и продукта существует свой определенный тариф. Поэтому, если скомбинировать все условия перевозки из одной точки в другую с учетом использования необходимых видов работ в стоимостном выражении (с использованием тарифов), то можно получить суммарную стоимость этой перевозки.

¹ Так, например, при перевозке груза за границу на железной дороге происходит вынужденная перегрузка продукта, связанная с тем, что в России и в некоторых приграничных странах используется разная ширина колеи железной дороги.

С математической точки зрения решаемую системой ПРОСТОР задачу можно свести к задаче линейного программирования. Минимизируемой целевой функцией в этой задаче является функция издержек транспортировки, отражающая суммарную стоимость перевозки продуктов между узлами [5].

При этой целевой функции имеются ограничения, наложенные на переменные погрузки, разгрузки, перегрузки, транзита и перевоза по плечу с учетом спроса и предложения продукции в узле, пропускной способности транспорта на конкретном плече и в узле.

Стоит отметить, что тарифы в данной задаче определяются экзогенно: пользователь самостоятельно может варьировать цены на каждый из видов работ. Так, оптимальные решения по перевозке грузов определяются для каждого из наборов заданных тарифных планов и возможностей сети – пропускной способности дорог.

Также ПРОСТОР дает пользователю возможности варьировать условия моделирования для рассмотрения различных условий и параметров задачи, т. е. задавать не конкретные значения параметров, а диапазон их изменения. В задании эксперимента исследователь, работая с ПРОСТОРом, получает множество свобод.

В первую очередь, конечно, пользователь самостоятельно может задавать эксперимент: он не ограничен определенным набором узлов и плеч, поэтому может сам создавать новые и убирать старые элементы сети. Создание новых узлов позволит детализировать (или при удалении, наоборот, укрупнить) эксперимент. Например, ставя цель изучения развития транспортной системы Азиатской России, можно сконцентрировать узлы в Азиатской России, а не в Европейской, представив последнюю 2–3 узлами [6]. Такое расположение узлов можно увидеть на карте, представленной на рис. 1. Как видно, именно определение узлов формирует глубину и точность эксперимента.



Рис. 1. Карта экспериментальной сети программы
Fig. 1. Map of the experimental network of the program

Также пользователь свободен в создании новых плеч. Например, он может «проложить» железную дорогу Кызыл – Курагино и провести исследование о необходимости создания этой дороги в реальности и последствиях введения ее в эксплуатацию. На рис. 1 также можно увидеть плечи, формирующие Северо-Сибирскую железнодорожную магистраль и Баренцкомур.

В данном эксперименте можно рассматривать, как повлияет на экономику страны введение в эксплуатацию этих двух магистралей.

Выбор транспорта в эксперименте определяется исследователем. Так, пользователь может как включать в модель, так и исключать из нее различные виды транспорта. Конечно, наиболее интересным экспериментом является тот, который учитывает взаимодействие всех видов транспорта между собой. Однако существуют ограничения в информационном наполнении: объемы перевозки, тарифы, что затрудняет использование всех видов транспорта. Это относится и к выбору транспортируемых грузов. Пользователь самостоятельно определяет отраслевую структуру модели. Он может ограничиться небольшим, наиболее значимым с его точки зрения набором перевозимых грузов в модели.

Все эти возможности дают основу для проведения эксперимента, на которой будет строиться исследование, состоящее в варьировании параметров транспортной сети и сравнительном анализе получаемых решений.

Одним из ключевых видов исследований, связанных с изучением транспортной отрасли, является определение тарифов. Как отмечалось ранее, тарифы задаются в модель экзогенно. Это связано с необходимостью уменьшения размерности задачи математического программирования [7]. Тарифы задаются как коэффициенты удорожания для всех видов работ для каждого транспорта и продукта. Таким образом, пользователь самостоятельно задает в программе тарифы на разные виды деятельности для различных видов транспорта и продукта.

Поскольку тариф – это цена на услуги разных видов деятельности в транспортной отрасли, то варьирование тарифа – ключевой вопрос изменения оптимальных решений транспортировки. Например, через тарифы удобнее всего вводить в модель такого участника рынка, как государство и оценивать необходимость его вмешательства в функционирование системы. Также изменения тарифов могут отражать неопределенность на рынке транспортировки грузов, которая присутствует в рыночной экономике. Именно для этих целей в системе программы ПРОСТОР было введено понятие *вариатора*. Сначала пользователь определяет базовые тарифы – цены, которые установились в текущий момент времени на рынке. Далее задается эксперимент, заключающийся в варьировании тарифов относительно базового значения (рис. 2).

Вариатор	Диапазон
Железнодорожный - удорожание для плечей	1.0000 - 2.0000
Автомобильный - удорожание для узлов	1.0000 - 1.5000

Рис. 2. Вариаторы в системе ПРОСТОР

Fig. 2. Variators in the PROSTOR system

Аналогично вариаторы могут быть применены не только к тарифам, но и другим параметрам транспортной сети, например, пропускной способности узлов и плеч. Например, это позволяет поставить эксперимент, при котором изменяются свойства дорог: появились электрифицированные участки, увеличилось количество колеи и т. д.

Далее система ПРОСТОР рассчитывает издержки оптимальных способов перевозки для каждого значения параметра в заданном диапазоне. Если вариаторов несколько, то рассчитываются все комбинации варьируемых значений. Таким образом, формируется (возможно, весьма большое) количество решений. Любое решение система ПРОСТОР может визуализировать (рис. 3). При этом пользователь может управлять визуализацией, как выбирая интересующий его в данный момент перечень продуктов, так и указывая характеристики решения, такие как загруженность плеч, объем перевозимых продуктов и т. п.

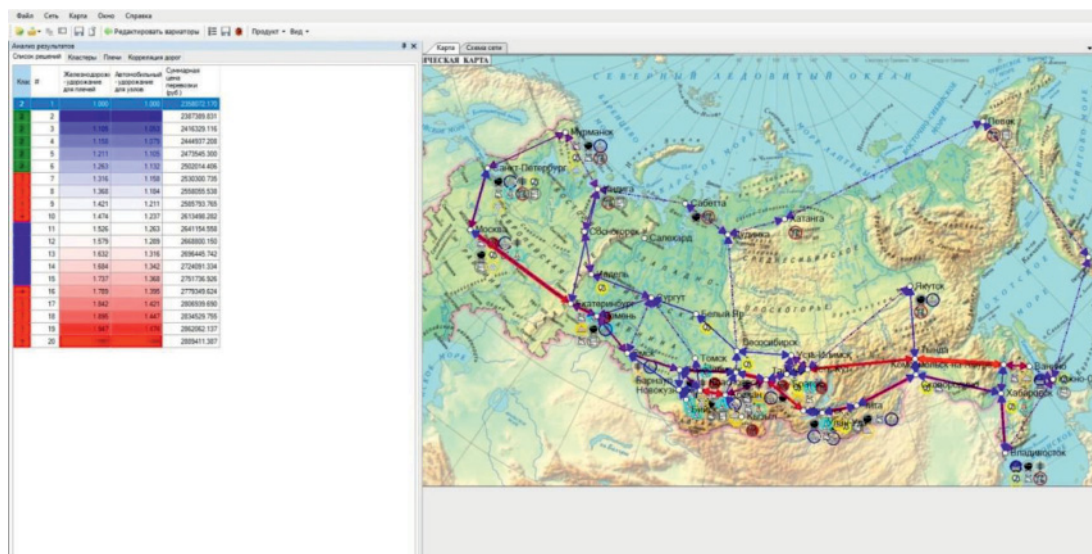


Рис. 3. Визуализация решения в системе ПРОСТОР
Fig. 3. Visualization of the solution in the PROSTOR system

Следующий шаг в проведении эксперимента – сравнительный анализ множества решений. Система ПРОСТОР предлагает пользователю широкий набор инструментов визуализации, основанный на методах математической статистики. Так, например, множество всех решений может быть разбито на кластеры похожих друг на друга решений. Из каждого кластера может быть выбран наиболее представительный, содержательно отражающий типичный способ перевозки. Таким образом, пользователь может сузить рассмотрение от сотен полученных решений до нескольких основных.

Получение входных данных

Ключевой проблемой использования подобной системы является получение реальных данных. Это касается как параметров транспортной сети, так и объемов производства/потребления в конкретном узле. Сбор этих данных – весьма непростая задача. Данные зачастую разрознены или засекречены, могут иметь разный формат и т. п. Эти данные не всегда точно соответствуют определенным выше параметрам, и поэтому извлечение нужной информации может потребовать предварительной обработки. Более того, поскольку мы решаем задачу прогнозирования развития транспортной сети, то надо иметь и обоснованный прогноз производства и потребления отдельных продуктов.

Транспорт является долго развивающейся отраслью [8], поэтому для того, чтобы прогнозировать развитие транспортной системы, необходимо уже сегодня понимать, какие условия перевозки грузов сложатся к прогнозируемому периоду. На базе прогнозных перевозок будут строиться соответствующие модели.

В проведенных нами экспериментах исходными данными о темпах роста являются результаты работы ОМММ (Оптимизационная межрегиональная межотраслевая модель) [9]. Целью работы этой системы является прогнозирование объемов перевозки грузов между субъектами Российской Федерации. Описание способов получения входных данных и применяемых ОМММ методов прогнозирования выходит за рамки данной статьи.

Имея данные о текущих перевозках и темпах их прироста, нетрудно получить прогнозные объемы перевозок в будущем. Поэтому результатом работы ОМММ можно считать опреде-

ление для каждого продукта p матриц T^p , где $T_{r,r'}^p$ – прогнозные объем поставок продукта p из региона r в регион r' . Наша задача состоит в том, чтобы каждый из этих наборов преобразовать во входные данные системы ПРОСТОР и потом сравнить полученные решения.

Проблема состоит в том, чтобы на основании этих объемов определить производство/потребление продукта p в конкретном узле транспортной сети. Для этого необходима информация о том, через какие узлы конкретный регион осуществляет поставки. Естественно, что здесь опять требуется дополнительная статистическая или экспертная информация.

Казалось бы, что можно просто опираться на территориальную принадлежность того или иного транспортного узла, но на практике это не так. Во-первых, как говорилось ранее, несколько регионов могут с точки зрения транспортной сети представляться одним узлом, например, вся европейская часть при анализе перевозок в Сибири и на Дальнем Востоке. Во-вторых, в одном регионе может быть несколько транспортных узлов, по-разному используемых для разных продуктов, как, например, Норильск, Лесосибирск и Красноярск в Красноярском крае. Наконец, возможны и более «хитрые» ситуации, когда некоторый регион использует для поставок как «собственные» узлы, так и те, которые территориально находятся в смежных регионах. Общий метод, учитывающий все эти аспекты, состоит в задании так называемых *матриц участия* $In_{r,j}^p$ и $Out_{j,r}^p$, определяющих долю использования регионом r транспортного узла j для ввоза и вывоза продукта p . Эти матрицы должны удовлетворять следующим свойствам для любого продукта p :

$$\sum_j In_{r,j}^p = \sum_j Out_{j,r}^p = 1.$$

Содержательно они означают, что всё, что регион поставляет/потребляет, так или иначе вывозится/ввозится через некоторый транспортный узел.

Далее, домножив матрицу T^p слева на матрицу In^p , а справа на матрицу Out^p , мы получим матрицу перевозок продукта между узлами:

$$S^p = In^p T^p Out^p.$$

Используя свойства матриц участия, несложно показать, что суммарный объем перевозок остается неизменным.

Заметим, что сумма элементов любой строки в этой матрице означает суммарный ввозимый объем продукта p , а для столбца – вывозимый. Таким образом, мы можем получить объем продукта p , произведенного в узле j :

$$A_j^p = \sum_{j'} S_{j,j'}^p - \sum_j S_{j,j}^p.$$

Если это значение отрицательное, то его следует рассматривать, как потребляемый объем. Отметим, что значение $S_{j,j}^p$ при таком суммировании появляется дважды и в результате теряется. Содержательно это означает, что перевозки внутри одного региона игнорируются.

Таким образом, были получены значения, необходимые для системы ПРОСТОР, но они оказываются не вполне корректными по следующей причине. Просуммировав все объемы данного продукта, ввозимые/вывозимые в данный узел, была потеряна привязка к тому, в каком регионе этот продукт был произведен. Поскольку система ПРОСТОР не учитывает место производства продукта, а только издержки на перевозку, то она может «посчитать», что гораздо выгоднее везти контейнеры в Томск из Красноярска, нежели из Москвы, поскольку не учитывается то, что находится в контейнерах. Другим примером могут служить автомобили, произведен-

ные в Москве и в Нижнем Новгороде – это совершенно разные продукты, и разные регионы предлагают свой спрос на эти продукты.

С другой стороны, вполне возможна и ситуация, когда разные регионы производят один и тот же продукт, и то, что результаты ОМММ распределили его поставки именно так, а не иначе, определяется другими факторами.

Таким образом, перед нами возникает выбор: либо смириться с этой некорректностью, либо дифференцировать продукты по их месту производства и решать существенно более сложную задачу. Забегая вперед, скажем, что были проведены эксперименты как для первого, так и для второго случая. Как можно было ожидать, при дифференциации продуктов загруженность транспортной сети возрастает, хотя и результаты для первого случая могут служить для предварительных оценок.

Для первого случая, когда мы смиряемся с некорректностью дифференциации продукта (рис. 4), представлено решение из программы ПРОСТОР. В этом эксперименте мы не задавали вариаторы показателей, а только посмотрели результат для базовых значений.

В левой части окна показан список решений с указанием суммарной стоимости всех перевозок в эксперименте. В нашем случае только одно решение, поскольку мы не варьировали ни один показатель. В правой же части окна располагается схема транспортных узлов и плеч. Такая схема – аналог физической карты, только при большом количестве узлов и плеч она более наглядная.

Плечи на этой схеме отражают оптимальные способы перевозки грузов. С одной стороны, тип линии соответствует виду транспорта. В данном эксперименте сплошная линия – это железнодорожный транспорт, пунктирная – автомобильный, пунктирная с точкой – водный (речной, морской и ледоходный транспорт). С другой стороны, цвет и толщина линии отражает объем перевозимых грузов по плечу. Так, красные – самые толстые линии указывают на больший объем, тогда как синие и тонкие – на меньший.

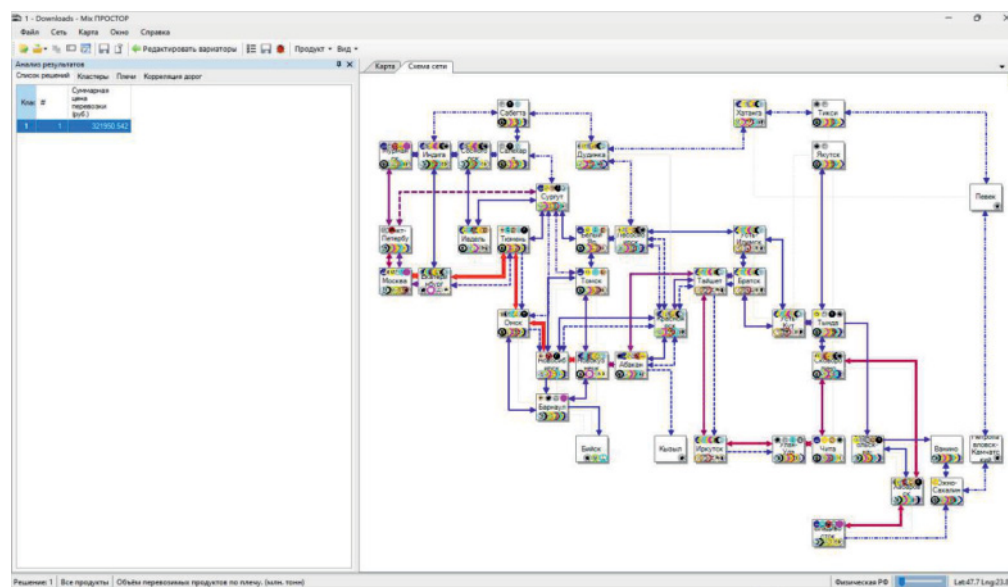


Рис. 4. Решение для первого случая

Fig. 4. The solution of the first case

Видно, что если мы не разделяем продукты одной группы по территориальному расположению производства (считаем, что продукты однородные), то при заданных условиях суммарная стоимость всех перевозок в эксперименте составляет примерно 321 950 у. е.

Теперь, если мы дифференцируем продукты, то получим другое решение (рис. 5). Как видно, стоимость перевозки возрастет до 475 175 у. е., т. е. примерно в полтора раза. Также, не разбирая подробно структуру перевозок, можно увидеть отличие в этой самой структуре для двух типов экспериментов. Некоторые линии поменяли толщину и цвет, т. е. объем перевозки грузов по этому плечу изменился, причем значительно.

Можно сделать вывод, что с экономической точки зрения переход от случая однородных продуктов к случаю дифференцированных территориально продуктов важен. Эта важность особенно остро проявляется для экспериментов, связанных с большим числом узлов и продуктов.

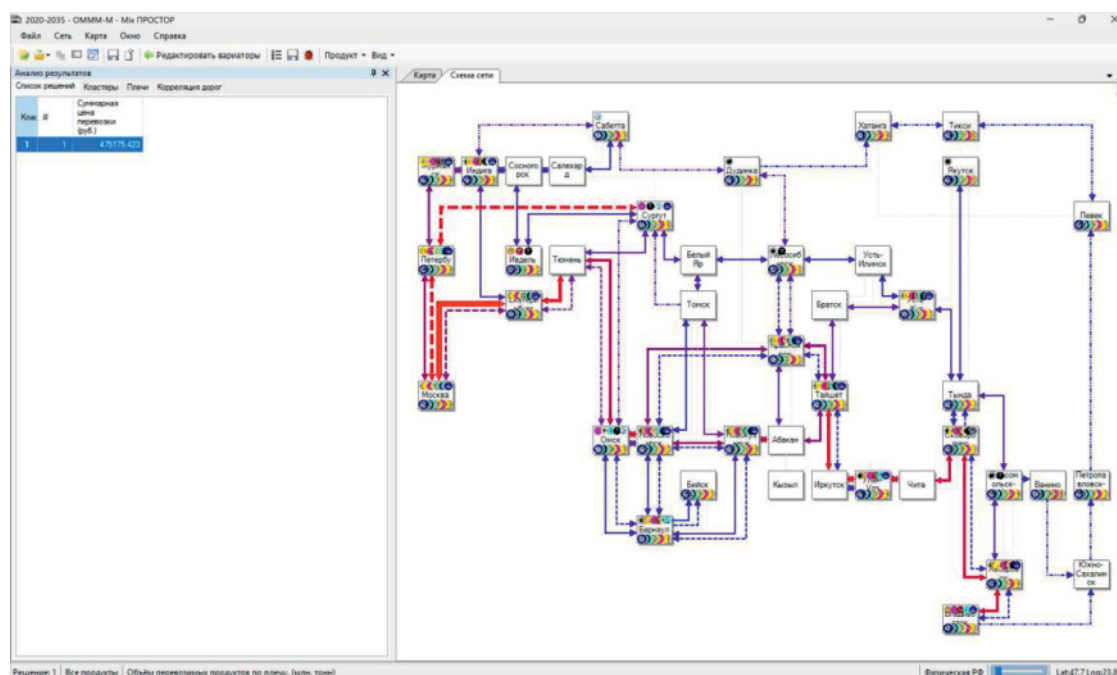


Рис. 5. Решение для второго случая

Fig. 5. The solution of the second case

Подводя итог, технологически процесс исследования состоит в выполнении следующих шагов:

1. *Пользователь* задает узлы, плечи, тарифы и пропускные способности используя систему ПРОСТОР.
2. *Пользователь* добавляет к таблицам MS Excel, хранящим результаты работы системы ОМММ, информацию о матрицах участия, используя коды узлов, заданные в системе ПРОСТОР. Поскольку эти матрицы обычно сильно разрежены, то для их представления разработан компактный формат.
3. Система ПРОСТОР импортирует из заполненных таблиц MS Excel данные как о поставках продуктов между регионами, так и матрицы участия и на их основе заполняет параметры производства/потребления для всех узлов.
4. Система ПРОСТОР просчитывает два варианта – для текущего момента и для прогноза.
5. *Пользователь* анализирует полученные решения либо средствами системы ПРОСТОР, либо сторонними инструментами, предварительно экспортировав данные.

Более подробно метод связи систем ОМММ и ПРОСТОР рассмотрен в работе [10].

Эффективность

Дифференциация продуктов по месту производства приводит к существенному увеличению размерности решаемой задачи. Как уже говорилось, мы сводим транспортную задачу к задаче линейного программирования, а затем используем один из многих доступных решателей для получения объемов перевозки. Каждое равенство или ограничение в решаемой системе неравенств описывает локальные требования для конкретного узла или плеча. Например, «сумма объемов ввозимых/вывозимых в данном узле продуктов должна соответствовать производству/потреблению этого продукта». Понятно, при увеличении количества продуктов количество неравенств в системе увеличивается кратно, что демонстрируется в таблице на примере сети, с которой мы проводили эксперименты.

Размеры решаемых задач

The size of the tasks to be solved

Элементы задачи	Без дифференциации	С дифференциацией
Продукты	19	514 ²
Виды транспорта	5	5
Узлы	42	42
Плечи	99	99
Переменные	9108	223716
Ограничения	4453	105318

Поскольку для решения задачи линейного программирования система ПРОСТОР использует сторонние решатели, то мы можем только предполагать, как вычислительная сложность зависит от количества переменных и ограничений. Кроме того, сложность вычислений в конкретном решателе может зависеть не только от этих значений, но и от вида матрицы, например, от ее разреженности, блочности и т. п.

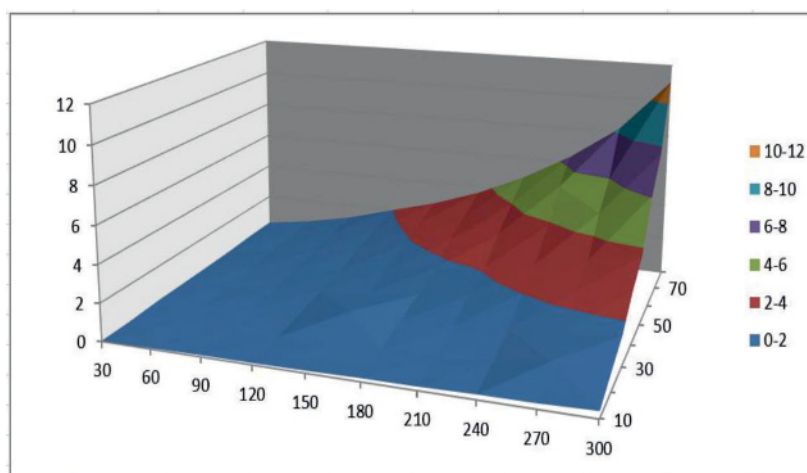


Рис. 6. Зависимость времени работы решателя от параметров задачи

Fig. 6. Dependence of the solver's runtime on the problem parameters

² Заметим, что указанное значение меньше, чем произведение количества продуктов на количество узлов ($19 \cdot 42 = 798$), поскольку на этапе переноса данных из ОМММ мы игнорировали нулевые или пренебрежимо малые поставки продуктов из одного региона в другой.

Помимо чисто теоретической оценки порядка сложности, для нас важны и конкретные значения. Представим, что один решатель справляется с задачей за 10 сек., а другой за 100. С точки зрения пользователя, это может стать критичным, если задачу с вариациями необходимо просчитать 100 раз, т. е. ждать решения либо 16 минут, либо почти 3 часа.

В работе [10] был проведен сравнительный анализ двух доступных решателей – GPLK и GoogleOR Tools. Был создан стенд, который позволял генерировать случайные транспортные сети с заданными параметрами – количеством узлов, плеч и продуктов. Во-первых, выяснилось, что GoogleOR в несколько раз быстрее, чем GPLK. Во-вторых, как и ожидалось, основное влияние на сложность оказывает количество продуктов, как показано на рис. 6, где количество продуктов меняется от 30 до 300, а количество вершин от 10 до 70, а время исчисляется в секундах. Построенные графики позволяют предположить, что зависимость от количества продуктов нелинейна.

Таким образом, используемый в системе ПРОСТОР решатель пока справляется с поставленной задачей, но масштабируемость его в данном применении ограничена.

Заключение

Введение в ПРОСТОР возможности различать продукт по расположению его производства – важный этап модернизации программы. В данной статье было показано, что ситуация с грузопотоками в стране сильно меняется при введении такого различия. Такое изменение приводит нашу работу к более точным результатам, которые правильнее описывают реальную картину мира.

Таким образом, исследователи, пользующиеся системой ПРОСТОР, смогут строить более реалистичные эксперименты и, соответственно, получать более точные результаты своей работы, что, безусловно, является преимуществом системы. Однако важно понимать, что за точность приходится платить увеличением времени работы решателя программы.

Так или иначе, точностью исследования пренебрегать не стоит. ПРОСТОР способен ставить задачи прогнозирования развития транспортной системы России и отвечать на вопрос, какие условия необходимы для достижения оптимального развития. Как уже упоминалось раньше, транспортную отрасль крайне необходимо исследовать в аспекте будущего состояния. Таким образом, исследователю необходимо строить прогноз, предположение о том, какая экономическая ситуация сложится в будущем. Так мы сможем определить, какие транспортные коридоры требуют модернизации, какие проекты требуется запускать уже сейчас, а какие отложить или вообще забыть. Все эти вопросы можно решить с помощью системы ПРОСТОР, именно поэтому так необходима точность работы программы для создания состоятельных оценок прогноза.

Описанная в статье модификация – одна из ключевых, но не единственная для системы ПРОСТОР. Программа имеет большой потенциал к дальнейшему развитию и поэтому пользуется интересом со стороны исследователей.

Список литературы

1. **Воробьева В. В., Малов В. Ю., Радченко В. В. и др.** Модель прогнозирования развития опорной транспортной сети России // Моделирование производственных и региональных систем на основе ГИС и информационных технологий: сб. науч. тр.; Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН. Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2011. С. 68–96.

2. **Крюков В. А., Коломак Е. А., Сулов Н. И., Костин А. В.** Азиатская Россия: от проблем к росту // Науч. тр. Вольного эконо. общества России. 2023. Т. 241, № 3. С. 110–128. DOI 10.38197/2072-2060-2023-241-3-110-128.
3. Анализ и оценка процессов создания и развития в Азиатской России транспортной магистральной сети различного назначения. Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2024. 484 с. DOI 10.36264/978-5-89665-385-1-2024-021-484
4. **Щербанин Ю. А.** Транспорт Азиатской России: вызовы и возможности // ЭКО. 2024. № 3 (597). С. 134–156. DOI 10.30680/ECO0131-7652-2024-3-134-156
5. **Бульонков М. А., Воронов Ю. П., Ершов Ю. С.** и др. Ситуационная комната как элемент организации экспертного сообщества: задачи планирования и прогнозирования / Ин-т экономики и организации промышленного производства СО РАН. Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2018. 259 с.
6. **Анищенко А. Г.** Сопряжение результатов расчетов по народнохозяйственной модели (ОМММ) и модели опорной транспортной сети: специфика Азиатской России // Молодые ученые – экономике региона: Материалы XXIV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Вологда, 6 дек. 2024 г. Вологда: Вологод. науч. центр РАН, 2025. С. 35–40.
7. **Бульонков М. А., Нестеренко Т. В.** Автоматизация исследований развития опорной транспортной сети // Вестник СибГУТИ. 2019. № 3. С. 45–54.
8. **Гасанов М. А., Бабаева Д. Р.** Формирование долгосрочной стратегии развития производственно-отраслевой инфраструктуры региона // Региональные проблемы преобразования экономики. 2017. № 5 (79). С. 76–85.
9. **Гранберг А. Г., Селиверстов В. Е., Сулов В. И.** и др. Оптимизационные межрегиональные межотраслевые модели. Новосибирск: Наука, 1989. 257 с.
10. **Бекчанов Х. М.** Сравнительный анализ производительности решателей задачи линейного программирования в применении к транспортным сетям: выпускная квалификационная работа магистра. Новосибирск: НГУ, ММФ, 2024. 30 с.

References

1. **Vorobyeva V. V., Malov V. Y., Radchenko V. V. et al.** Model prognozirovaniya razvitiya opornoy transportnoy seti Rossii [A model for forecasting the development of Russia's core transport network]. In *Modelirovaniye proizvodstvennykh i regional'nykh sistem na osnove GIS i informatsionnykh tekhnologiy: sbornik nauchnykh trudov*. Novosibirsk: IEIE SB RAS, 2011, pp. 68–96. (in Russ.)
2. **Kryukov V. A., Kolomak E. A., Suslov N. I., Kostin, A. V.** Asian Russia: from Problems to Growth. *The Free Economy Journal*, 2023, vol. 241, no. 3, pp. 110–128. DOI 10.38197/2072-2060-2023-241-3-110-128 (in Russ.)
3. Analysis and evaluation of the processes of creation and development of a transport backbone network for various purpose in Asian Russia. Novosibirsk: IEIE SB RAS publ., 2024. 484 p. DOI 10.36264/978-5-89665-385-1-2024-021-484. (in Russ.)
4. **Shcherbanin Y. A.** Transportation in Asian Russia: challenges and opportunities. *ECO*, 2024, no. 3(597), pp. 134–156. DOI 10.30680/ECO0131-7652-2024-3-134-156 (in Russ.)
5. **Bulyonkov M. A., Voronov Y. P., Yershov Y. S. et al.** Situation room as an element of expert community organization: planning and forecasting tasks. Novosibirsk: IEOPP SO RAN publ., 2018. 259 p. (in Russ.)
6. **Anishchenko A. G.** Interfacing the Results of the Economic Model (Ommm) and the Model of the Backbone Transportation Network: Specifics of Azian Russia. In *Young Scientists for the Regional Economy*. Vologda, 2025, pp. 35–40. (in Russ.)

7. **Bulyonkov M. A., Nesterenko T. V.** Research Automation of the Transport Network Development. *Vestnik SibGUTI*, 2019, no. 3, pp. 45–54. (in Russ.)
8. **Gasanov M. A., Babayeva D. R.** Forming a Long-Term Strategy Of Development of the Production-Branch Infrastructure of the Region. *Regional Problems of Economic Transformation*, 2017, no. 5(79), pp. 76–85. (in Russ.)
9. **Granberg A. G., Seliverstov V. Ye., Suslov V. I. et al.** Optimizatsionnyye mezhregional'nyye mezhotraslevyye modeli [Optimization interregional interindustry models]. Novosibirsk: Nauka publ., 1989. 257 p. (in Russ.)
10. **Bekchanov Kh. M.** Sravnitel'nyy analiz proizvoditel'nosti reshatelay zadachi lineynogo programmirovaniya v primenenii k transportnym setyam [Comparative analysis of the performance of linear programming solvers applied to transport networks]. Novosibirsk: NSU publ., 2024. 30 p. (in Russ.)

Информация об авторах

Анищенко Александр Георгиевич, лаборант

Бульонков Михаил Алексеевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией ИСИ СО РАН

Information about the Authors

Alexander G. Anischenko, Laboratorian

Mikhail A. Bulyonkov, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Head of the Laboratory IIS SB RAS

Статья поступила в редакцию 25.11.2025;

одобрена после рецензирования 10.02.2026; принята к публикации 10.02.2026

The article was submitted 25.11.2025;

approved after reviewing 10.02.2026; accepted for publication 10.02.2026