

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РЕШЕНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ СРЕДСТВАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО АНАЛИЗА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ЛОГИСТИКЕ

© 2026

Добудько Т.В.¹, Макаров С.И.², Пугач О.И.¹

¹Самарский государственный социально-педагогический университет (г. Самара, Россия)

²Самарский государственный экономический университет (г. Самара, Россия)

Аннотация. Актуальность данного исследования обусловлена активным внедрением в образовательное пространство учебных заведений информационно-коммуникационных технологий, а также практикоориентированных подходов к формированию профессиональных компетенций у будущих специалистов в области маркетинга и логистики. Изучение экономических дисциплин в вузах требует проведения количественного анализа бизнес-процессов, который поможет выявить закономерности этих процессов, управлять ими и делать прогнозы, используя математическое моделирование. Все это определяет необходимость совершенствования деятельности преподавателя университета, связанной с их реализацией – использованием в образовательном процессе электронных образовательных ресурсов, формирующих необходимые компетенции у студентов экономических университетов. В статье рассмотрен один из аспектов математической подготовки будущих экономистов: формирования навыка решения и экономического анализа базовой задачи линейного программирования – транспортной задачи. Предложена технология изучения решения транспортной задачи с использованием электронного образовательного ресурса, содержащего весь необходимый для этого инструментарий: теоретическую базу, разборы решения задач в базовых ситуациях, задачи для самостоятельного решения с интерактивной поддержкой, а также материалы для проведения тестирования по данной теме. Результаты проведенного исследования могут быть использованы в образовательной деятельности педагогов, формирующих математические компетенции специалистов в области маркетинга, бизнес-аналитики, логистики бизнеса, бизнес-информатики и многих других.

Ключевые слова: электронный образовательный ресурс; компетентность; математическое образование экономистов; транспортная задача.

MODELING AND SOLVING THE TRANSPORTATION PROBLEM USING COMPUTER ANALYSIS IN THE FORMATION OF PROFESSIONAL COMPETENCIES OF LOGISTICS SPECIALISTS

© 2026

Dobudko T.V.¹, Makarov S.I.², Pugach O.I.¹

¹Samara State University of Social Sciences and Education (Samara, Russia)

²Samara State University of Economics (Samara, Russia)

Abstract. The relevance of this study stems from the active introduction of information and communication technologies into the educational environment of educational institutions, as well as practice-oriented approaches to developing professional competencies in future specialists in the fields of marketing and logistics. The study of economic disciplines at universities requires quantitative analysis of business processes, which will help identify patterns in these processes, manage them, and make forecasts using mathematical modeling. All this necessitates improving the activities of university instructors related to their implementation – the use of electronic educational resources in the educational process that develop the necessary competencies in students at economics universities. This article examines one aspect of the mathematical training of future economists: developing the skill of solving and economically analyzing a basic linear programming problem – the transportation problem. A technology for studying the solution of the transportation problem is proposed using an electronic educational resource containing all the necessary tools: a theoretical framework, case studies of problem solutions in basic situations, independent solutions with interactive support, and testing materials on this topic. The results of this study can be used in the educational activities of educators developing mathematical competencies in specialists in the fields of marketing, business analytics, business logistics, business informatics, and many other fields.

Keywords: electronic educational resource; competence; mathematical education of economists; transport problem.

Цифровизация образования – это один из основных аспектов создания информационного общества. Принятый сегодня курс на широкое внедрение практикоориентированных информационных технологий в сферу образования нашей страны вызвал значительный рост интереса самого широкого круга преподавателей и исследователей к этим проблемам [1]. Это связано с возникновением новых форм обучения (электронное и дистанционное обучение), основанных на применении информационных и телекоммуникационных технологий. Эти формы обучения предполагают новый подход к подаче учебной информации обучающимся [2]. Возникает

насуточная потребность создания электронных образовательных ресурсов по различным дисциплинам, обеспечивающих дидактическую поддержку новых форм обучения. В этом смысле математические дисциплины являются наиболее формализованными и допускают простой перевод и представление учебной информации в электронном виде. Внедрение различных форм электронного обучения приводит к повышению эффективности учебного процесса и качества обучения [3].

Экономическое образование также глубоко продвинулось в направлении цифровизации. Экономическая наука достигла такого этапа развития, при котором изучение только качественной стороны и внешней характеристики явлений становится недостаточным. Экономика является наукой об объективных механизмах функционирования товарных рынков, изучает их количественные характеристики. Ее ядро составляет экономическая теория, а также различные разделы математических дисциплин. При изучении экономических процессов, помимо их качественного анализа необходим количественный анализ, который поможет установить закономерности этих процессов, управлять ими и делать прогнозы, используя сложные вероятностные модели и специальные функции.

Работа с современной экономической литературой также предполагает хорошую математическую и экономическую подготовку. Не обладая достаточной базой знаний в области экономико-математических методов, невозможно использовать современные компьютерные программы, строить эмпирические зависимости, пополнять базу знаний из литературных источников.

Многоуровневая подготовка экономиста подразумевает последовательно развивающуюся математическую подготовку. Накопление математических знаний идет от классических разделов математики до современных экономико-математических методов. Математическое моделирование с использованием информационных технологий является неотъемлемой частью этого процесса. При формировании математической культуры экономистов следует учитывать принципы профессиональной направленности в обучении. Содержание этого курса математических дисциплин в экономическом университете является весьма широким, потому что для эффективного решения реальных задач надо глубоко владеть многими разделами математики. Такое требование обязывает глубоко продумать отбор материала и характер его изложения. Необходимо проведение серьезной работы по составлению тестов по соответствию уровня подготовки обучаемых международным стандартам. В связи с этим необходимо всесторонне критически изучать и полнее использовать положительный опыт зарубежных экономических университетов. К числу основных тенденций в трансформации высшего образования США следует отнести увеличение объема фундаментальной и теоретической подготовки и углубление специализации, сближение университетских и неуниверситетских программ подготовки, а также гуманитаризацию университетского образования.

Параллельно происходит гуманитаризация среднего образования. Как следствие этого в экономические вузы приходят школьники с невысокой подготовкой в области математики. Эта тенденция усилилась с введением повсеместного платного обучения. При этом даже слабые студенты, с трудом овладевающие аналитическими методами математики, легко усваивают понятие математических структур, так как гуманитарный склад ума не отрицает абстрактно-логического мышления. Поэтому с первых дней изучения математики в вузе студенту должно быть дано понятие математической структуры и в процессе обучения показано применение различных математических структур в экономике. Перспективой развития преподавания математики в экономическом вузе должно стать не углубление и наращивание аналитических методов, а операторный и структурный подход в изложении материала. Такой подход к преподаванию математических дисциплин вырабатывается у обучающихся умения ориентироваться в различных приемах и методах этой науки.

Целью исследования является создание технологии изучения решения транспортной задачи и проведения анализа на чувствительность оптимального решения с использованием электронного образовательного ресурса, содержащего весь необходимый для этого инструментарий.

Результаты и обсуждение

На кафедре статистики и эконометрики Самарского государственного экономического университета этот подход был реализован. Создан электронный образовательный ресурс (ЭОР) [4], охватывающий все разделы курсов «Высшая математика» и «Экономико-математические методы и модели». Каждый курс структурирован и разделен на небольшие фрагменты, что позволяет ускорить загрузку материала по каналам связи. Построен граф взаимосвязи основных понятий курса и выделена древовидная структура предметной области. Материал представлен в формате HTML, воспринимаемом стандартными браузерами. Навигация по учебному пособию осуществляется по гиперссылкам в соответствии с современными интерфейсами диалогового общения телекоммуникационных сетей.

Основу данных дисциплин и большинства математических дисциплин, изучаемых в экономических университетах, составляют задачи линейного, нелинейного и динамического программирования [5]. Транспортная задача является одной из наиболее часто применяемых задач линейного программирования в маркетинге и логистике. Она позволяет сформировать план перевозок однородного груза от заданных поставщиков к заданным потребителям, имеющий минимальную стоимость. В вариациях этой задачи минимизируют время доставки. Проводится анализ перевозок и исключаются встречные, повторные перевозки, сокращаются транспортные издержки. Кроме того, некоторые транспортные модели могут быть использованы при решении экономических задач, не относящихся непосредственно к перевозке грузов. В их числе задачи о назначении, о сокращении производства, о минимизации порожнего пробега, о запрещении поставок и др. Изучение этого класса задач необходимо студентам, обучающимся на специальностях «бизнес-аналитика», «логистика бизнеса», «бизнес-информатика» и многих других [6].

В классической постановке эта задача имеет следующую формулировку: имеется m пунктов поставщиков некоторого продукта с запасами в количествах соответственно b_1, b_2, \dots, b_m . Этот продукт нужно перевезти в n пунктов потребления, имеющие объемы потребления данной продукции a_1, a_2, \dots, a_n . Заданы цены на транспортировку единицы товара (тарифы) c_{ij} от каждого поставщика к каждому потребителю. Требуется так составить план перевозок, так, чтобы:

- полностью вывезти продукцию от поставщиков,
- удовлетворить спрос всех потребителей,
- суммарная стоимость всех перевозок была минимальной.

Если суммарный объем поставок равен суммарному объему потребления, то транспортная задача является задачей закрытого типа.

Для составления математической модели транспортной задачи вводится обозначение: x_{ij} – объем перевозки (количество продукции) из i -го пункта отправления в j -й пункт назначения. Для наглядности данные транспортной задачи представляют в виде таблицы (табл. 1).

Таблица 1 – Распределительная таблица

Поставщики	Потребители			
	a_1	a_2	...	a_n
b_1	c_{11} x_{11}	c_{12} x_{12}	...	c_{1n} x_{1n}
b_2	c_{21} x_{21}	c_{22} x_{22}	...	c_{2n} x_{2n}
...
b_m	c_{m1} x_{m1}	c_{m2} x_{m2}	...	c_{mn} x_{mn}

Рассмотрим транспортную задачу закрытого типа. Цель решения задачи – минимизация стоимости перевозок. Соответственно, целевая функция задачи выражает суммарные затраты и представляет собой сумму произведений объемов перевозок на стоимость перевозки единицы продукции. Ограничения задачи обусловлены фиксированными объемами продукции, подлежащей отправке и необходимой потребителям. Итак, математическая модель закрытой транспортной задачи имеет вид:

$$L(\bar{x}) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min,$$

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij} = b_i, & i = \overline{1, m}, \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} = a_j, & j = \overline{1, n}, \\ x_{ij} \geq 0, & i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}. \end{cases}$$

Оптимальным решением задачи является матрица, содержащая числовые значения оптимальных объемов продукции, отправляемых из каждого пункта производства в каждый пункт потребления. Из вида модели следует, что транспортная задача закрытого типа является частным случаем задачи линейного программирования канонического вида. Ее можно решить симплексным методом или его модификациями. Однако даже небольшая по размерности задача имеет большое количество неизвестных и ограничений. Применение классических методов сопряжено с громоздкими вычислениями. Ввиду того, что матрица системы ограничений является «слабо заполненной» существует более простой метод решения транспортной задачи, алгоритм которого совпадает с алгоритмом симплексного метода. Это алгоритм последовательного улучшения плана перевозок, состоящий из трех этапов:

- построение любого опорного решения системы ограничений методом северо-западного угла или методом минимального тарифа;
- проверка полученного плана на оптимальность;
- если полученное решение не оптимально, то переход к другому, лучшему опорному решению.

В результате реализации данного алгоритма будет получено оптимальное решение – самый выгодный план перевозок, имеющий наименьшую стоимость, который представляет собой матрицу перевозок размера $n \times n$.

Большой дидактический потенциал имеет экономический анализ решения транспортной задачи. Он позволяет студентам глубже понять принцип решения задачи, произвести имитационное моделирование полученных результатов [7].

Вводится понятие теневых цен перевозок, численно равных оценкам оптимального решения транспортной задачи. Эти величины дают представление о том, как изменится суммарная стоимость перевозок при отклонении от оптимального плана перевозок. Это отклонение равно стоимости перевозки единичной поставки в соответствующей клетке распределительной таблицы. Кроме того, студенты могут использовать теневые цены свободных клеток в качестве инструментов анализа тарифов. Они могут убедиться в том, что если разность между фактическим тарифом пустой клетки и ее теневой ценой положительна, то использование этой клетки в качестве занятой (не нулевая поставка) даст снижение суммарных транспортных расходов на величину этой разности.

Еще одним инструментом, который понадобится будущим специалистам по логистике, является анализ на чувствительность оптимального решения на изменение тарифов в занятых клетках. Эта процедура реализуется проверкой устойчивости решения по отношению к изменению тарифов. Если при проверке устойчивости оптимального решения тариф занятой клетки возрастает, то существует числовой порог, выше которого данная ячейка должна быть исключена из оптимального решения, требуется произвести перераспределение поставок и перейти к другому оптимальному решению.

Все необходимые теоретические сведения, алгоритмы и процедура проведения экономического анализа транспортной задачи изложена в теоретической части электронного образовательного ресурса (рис. 1).

В ЭОР имеется обширный глоссарий, содержащий основные понятия и соотношения, которые используются в постановке и решении транспортной задачи. Кроме того, в нем имеется практикум с разбором решения модельных задачи интерактивное окно по самостоятельному решению транспортной задачи (рис. 2).

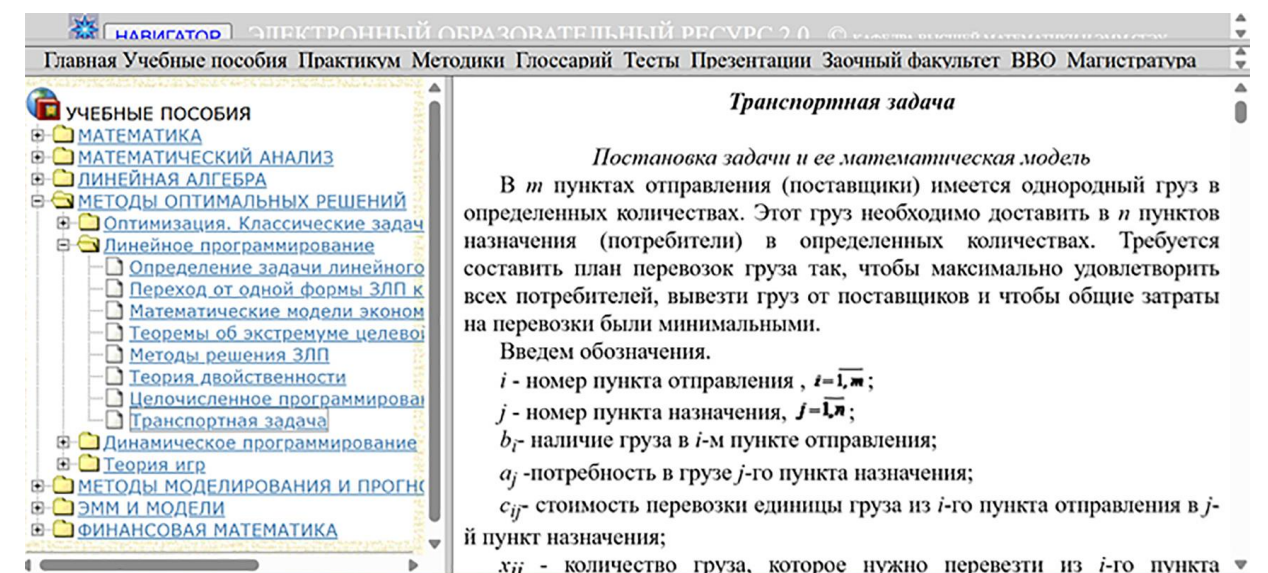


Рисунок 1 – Окно теоретических основ решения транспортной задачи

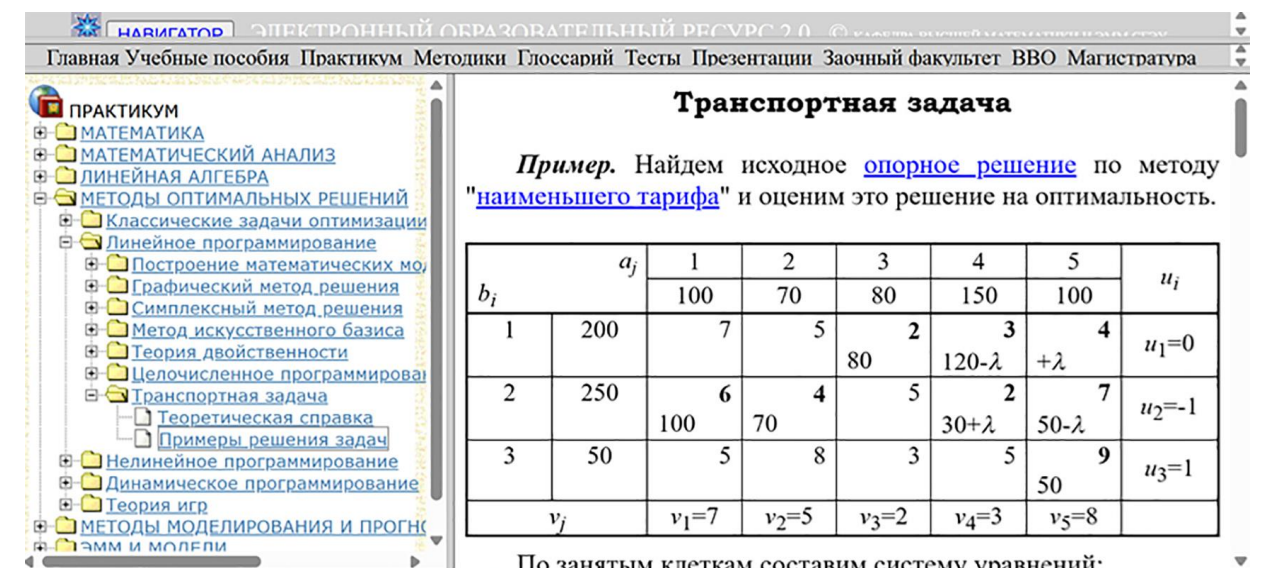


Рисунок 2 – Окно практикума по решению транспортной задачи

Выводы и перспективы дальнейших исследований данного направления

Транспортная задача имеет большое практическое значение в реальной экономике, ее изучение является неотъемлемой частью математической подготовки современного экономиста. Необходимо обучить студентов экономического профиля ее решению с использованием современных компьютерных средств и инструментов (компьютер, смартфон, планшет, ноутбук). Применение цифровых технологий обеспечивает контроль и обратную связь в учебном процессе, предоставляет возможность организации образовательного процесса в онлайн- и смешанном режиме. Описанный ЭОР находится в свободном доступе на сайте Самарского государственного экономического университета и может быть использован в образовательной деятельности педагогов, формирующих математические компетенции специалистов в области маркетинга, бизнес-аналитики, логистики бизнеса, бизнес-информатики и многих других при изучении транспортной задачи.

Список источников:

1. Национальный проект «Экономика данных и цифровая трансформация государства» [Электронный ресурс] // Минцифры. <https://digital.gov.ru/target/nacziionalnyj-proekt-ekonomika-dannyh-i-czifrovaya-transformacziya-gosudarstva>.
2. Цифровизация как приоритетное направление модернизации российского образования / под ред. Н.В. Горбуновой. Саратов: Саратовский социально-экономический институт (филиал) РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2019. 152 с.
3. Григорьев С.Г., Гриншкун В.В., Демкин В.П., Краснова Г.А., Макаров С.И., Роберт И.В. Концепция образовательных электронных изданий и ресурсов – шаг на пути к качественному образованию // Информационные технологии в образовании: сб. тр. междунар. конф.-выставки «ИТО–2002». Ч. 6. Пленарные доклады. М.: МИФИ, 2002. С. 11–14.
4. Макаров С.И. Электронный образовательный ресурс 2.0 [Электронный ресурс] // Система управления обучением ФГАОУ ВО «СГЭУ». <https://lms2.sseu.ru/courses/eresmat/menedg/start1.htm>.
5. Makarov S.I., Sevastyanova S.A. Information modeling of the students' residual knowledge level // Digital Transformation of the Economy: Challenges, Trends and New Opportunities. Vol. 908. Cham: Springer, 2020. P. 502–509. DOI: 10.1007/978-3-030-11367-4_50.
6. Севастьянова С.А. Формирование профессиональных математических компетенций у студентов экономических вузов: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.08. Самара, 2006. 237 с.
7. Мордкович А.Г. Профессионально-педагогическая направленность специальной подготовки учителя математики в педагогическом институте: автореф. дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.02. М., 1986. 32 с.

Информация об авторе(-ах):	Information about the author(-s):
<p>Добудько Татьяна Валерьяновна, доктор педагогических наук, профессор, заведующий кафедрой информатики, прикладной математики и методики их преподавания; Самарский государственный социально-педагогический университет (г. Самара, Россия). E-mail: tdobudko@mail.ru.</p> <p>Макаров Сергей Иванович, доктор педагогических наук, профессор кафедры статистики и эконометрики; Самарский государственный экономический университет (г. Самара, Россия). E-mail: matmaks@yandex.ru.</p> <p>Пугач Ольга Исааковна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры информатики, прикладной математики и методики их преподавания; Самарский государственный социально-педагогический университет (г. Самара, Россия). E-mail: olpugach@yandex.ru.</p>	<p>Dobudko Tatiana Valeryanovna, doctor of pedagogical sciences, professor, head of Computer Science, Applied Mathematics and Teaching Methods Department; Samara State University of Social Sciences and Education (Samara, Russia). E-mail: tdobudko@mail.ru.</p> <p>Makarov Sergey Ivanovich, doctor of pedagogical sciences, professor of Statistics and Econometrics Department; Samara State University of Economics (Samara, Russia). E-mail: matmaks@yandex.ru.</p> <p>Pugach Olga Isaakovna, candidate of pedagogical sciences, associate professor of Computer Science, Applied Mathematics and Teaching Methods Department; Samara State University of Social Sciences and Education (Samara, Russia). E-mail: olpugach@yandex.ru.</p>

Для цитирования:

Добудько Т.В., Макаров С.И., Пугач О.И. Моделирование и решение транспортной задачи средствами компьютерного анализа при формировании профессиональных компетенций специалистов по логистике // Самарский научный вестник. 2026. Т. 15, № 1. С. 177–181. DOI: 10.55355/snv2026151305.