

Кац Вадим Маркович,
канд. экон. наук, доцент ка-
федры экономики Института
социально-гуманитарных
технологий ТПУ.
E-mail: cat78@rambler.ru
Область научных интересов:
математическое моделиро-
вание сложных экономиче-
ских систем.

**Козлова Анастасия Стани-
славовна**, студентка кафед-
ры экономики Института
социально-гуманитарных
технологий ТПУ.
E-mail:
Anastasia.Kozlova.Tomsk@
gmail.com
Область научных интересов:
транспортная инфраструкту-
ра нефтегазового комплекса
России.

УДК 622.692.4.07:658.18

СОСТАВЛЕНИЕ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОГО ПЛАНА ТРАНСПОРТИРОВКИ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ С УЧЕТОМ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУБОПРОВОДНОЙ СЕТИ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ

В.М. Кац, А.С. Козлова

Томский политехнический университет
E-mail: Anastasia.Kozlova.Tomsk@gmail.com

Эксплуатация все большего количества нефтегазовых месторождений, строительство новых нефте- и газоперерабатывающих предприятий, необходимость диверсификации маршрутов поставок углеводородного сырья накладывают новые требования к составлению ресурсоэффективных планов транспортировки сырья по трубопроводным системам. При составлении планов поставок возможно использование стандартного алгоритма решения транспортной задачи, однако при этом нельзя учесть важное для трубопроводных систем ограничение на максимальную производительность участка, вызванное постоянством диаметра магистральных трубопроводов. В работе предложен усовершенствованный алгоритм решения транспортной задачи, дополненный учетом максимальной производительности трубопроводной сети. Способ учета указанного ограничения состоит в прямой и обратной декомпозиции трубопроводной системы и задании верхних пределов по производительности для участков (отрезков) сети в

качестве дополнительных ограничений при решении задачи симплекс-методом. Использование усовершенствованного алгоритма позволит эффективнее планировать распределение потоков углеводородного сырья и исключить возможность перегрузки какого-либо из участков трубопроводной системы.

Ключевые слова:

Транспортировка углеводородного сырья, магистральные трубопроводы, транспортная задача.

В настоящее время в нашей стране получила значительное развитие отрасль добычи и переработки углеводородного сырья. Ежегодно вводятся в эксплуатацию новые нефтяные и газовые месторождения, строятся промысловые и магистральные нефтепроводы, закладывается фундамент будущих нефте- и газоперерабатывающих заводов. Ввиду ввода новых мощностей, а также возросшей важности диверсификации поставок сырья на первый план выходят задачи организации бесперебойных поставок необходимого количества углеводородов. Особенностью трубопроводных сетей является их частая работа на максимально возможной производительности и принципиально слабая способность к её увеличению ввиду постоянства диаметра трубопроводов. Это обстоятельство накладывает дополнительные ограничения на решение транспортной задачи и создает определенные вычислительные трудности. В работе предложен алгоритм решения транспортной задачи при составлении плана транспортировки углеводородного сырья, учитывающий ограничения по производительности трубопроводной системы.

Цель транспортной задачи – разработка наиболее рациональных путей и способов транспортировки товаров, устранение чрезмерно дальних, встречных и повторных перевозок.

Условимся считать, что транспортируемым продуктом является нефть; поставщиками (складами) – нефтяные месторождения; потребителями – нефтеперерабатывающие заводы (далее НПЗ). Расположение поставщиков и потребителей, а также схема трубопроводной сети (возможных маршрутов) представлены на рис. 1.

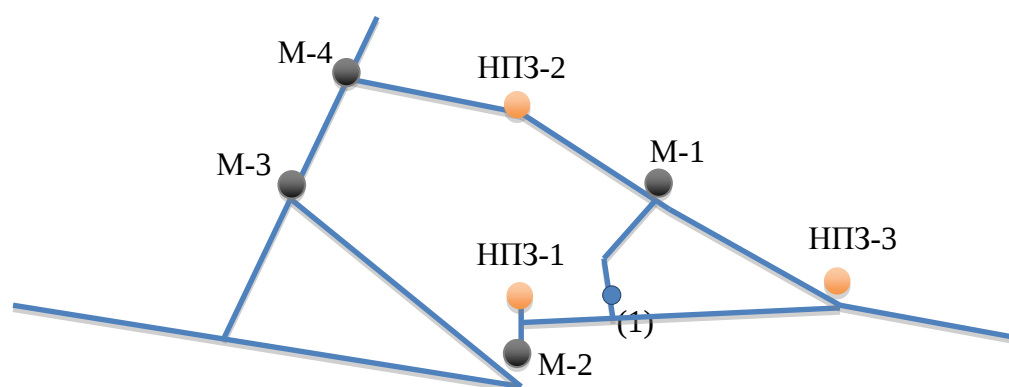


Рис. 1. Схема поставщиков, потребителей и возможных маршрутов поставки (1 – узловая точка)

Вследствие отсутствия привязки транспортной задачи к реальным объектам нефтяной отрасли условимся рассматривать вышеприведенную схему без строгого масштаба расстояний между объектами. Запишем условную матрицу расстояний от каждого месторождения к каждому НПЗ (табл. 1).

Таблица 1. Расстояния между объектами условной трубопроводной сети, км

	Н-1	Н-2	Н-3
М-1	350	300	200
М-2	50	700	400
М-3	550	450	1000
М-4	850	150	650

В реальных нефтяных трубопроводных системах существует тариф за транспортировку нефти. Условимся в нашей задаче, что тариф зависит только от протяженности маршрута транспортировки и составляет условные 50 руб/км [1]. Тогда матрица стоимости транспортировки запишется как табл. 2.

Таблица 2. Стоимость транспортировки нефти, тыс. руб.

	Н-1	Н-2	Н-3
М-1	17,5	15,0	10,0
М-2	2,5	35,0	20,0
М-3	27,5	22,5	50,0
М-4	42,5	7,5,0	32,5

Далее запишем наперед заданную производительность месторождений и потребность НПЗ в массовом выражении, в сутки (табл. 3).

Таблица 3. Физические объемы добычи и переработки нефти.

Производительность месторождений, т/сут.:		Потребность НПЗ, т/сут.:	
М-1	1750	Н-1	2500
М-2	650	Н-2	2000
М-3	2000	Н-3	1100
М-4	1200		
Сумма:	5600	Сумма:	5600

Равенство суммарной производительности месторождений и потребности НПЗ означает, что рассматриваемая транспортная задача является сбалансированной (закрытой).

Дополнительным условием к стандартной формулировке транспортной задачи в рассматриваемом случае будет ограничение по производительности отдельных участков трубопроводной системы. Рассмотрим подробнее указанное ограничение.

Для этого определим точнее понятия «маршрут» и «участок». Маршрутом будем называть кратчайший путь из месторождения до нефтеперерабатывающего завода. Участком – отрезок трубопроводной сети, расположенный между двумя любыми узловыми точками (т. е. либо

между двумя объектами системы, либо между объектом и развилкой). Таким образом, любой маршрут может состоять из одного и более участков (рис. 2).

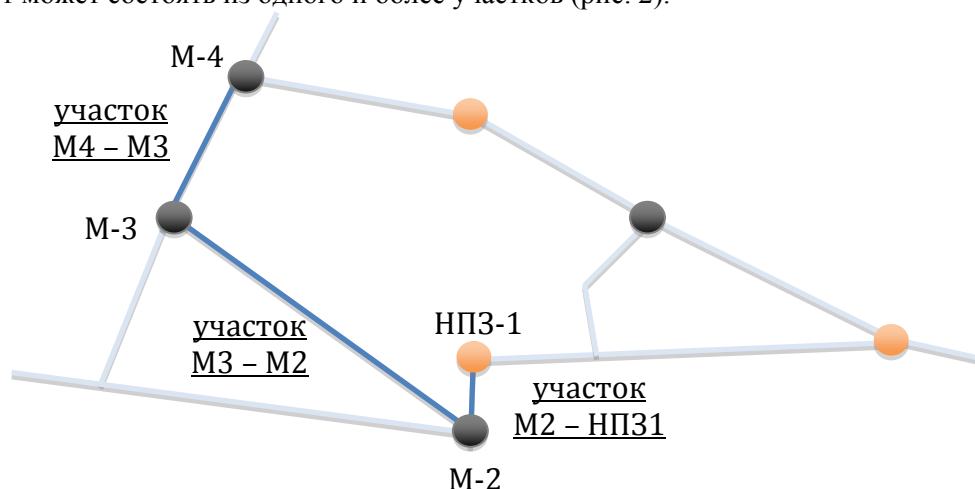


Рис. 2. Иллюстрация маршрута М4 – НПЗ1 и участков, его составляющих

Важной особенностью декомпозиции маршрутов на участки является то обстоятельство, что один и тот же участок является задействованным в нескольких маршрутах. Таким образом, задание ограничений на производительность конкретных участков в явном виде, исходя только из стандартных условий формулировки транспортной задачи, представляет определенные трудности.

Для учета ограничения производительности конкретного участка нефтепроводной системы предлагается вычислять его фактическую загрузку путем суммирования загрузок по всем маршрутам, в которые он входит, как составляющую, и затем ограничивать данную сумму верхним пределом, равным максимальной производительности рассматриваемого участка. Для этого выполним декомпозицию маршрутов системы на участки.

Таблица 4. Декомпозиция трубопроводной сети

Маршрут	Участки, из которых состоит маршрут	Маршрут	Участки, из которых состоит маршрут
М1-Н1	М1-(1) + (1)-Н1	М3-Н1	М3-М2 + М2-Н1
М1-Н2	М1-Н2	М3-Н2	М3-М4 + М4-Н2
М1-Н3	М1-Н3	М3-Н3	М3-М2 + М2-Н1 + Н1-(1) + (1)-Н3
М2-Н1	М2-Н1	М4-Н1	М4-М3 + М3-М2 + М2-Н1
М2-Н2	М2-Н1 + Н1-(1) + (1)-М1 + М1-Н2	М4-Н2	М4-Н2
М2-Н3	М2-Н1 + Н1-(1) + (1)-Н3	М4-Н3	М4-Н2 + Н2-М1 + М1-Н3

Затем произведем обратную композицию (скомпонуем систему обратно), просуммировав загрузку всех маршрутов, в которых повторяются различные участки.

Таблица 5. Загрузка участков трубопроводной сети

Участок	Маршруты, в которых задействован участок	Участок	Маршруты, в которых задействован участок
М1-(1)	М1-Н1 + М2-Н2	1-Н3	М2-Н3 + М3-Н3
(1)-Н1	М1-Н1 + М2-Н2 + М2-Н3 + М3-Н3	М3-М2	М3-Н1 + М3-Н3 + М4-Н1
М1-Н2	М1-Н2 + М2-Н2 + Н2-М1	М3-М4	М3-Н2 + М4-Н1
М1-Н3	М1-Н3 + М4-Н3	М4-М2	М3-Н2 + М4-Н2 + М4-Н3
М2-Н1	М2-Н1 + М2-Н2 + М2-Н3 + М3-Н1 + М3-Н3 + М4-Н1		

Данные табл. 2 используем для задания дополнительных ограничений на максимальную производительность участков и, как следствие, на количество нефти, которое может быть перевезено по маршрутам.

Вследствие нелинейности итоговых вычислений для решения данной задачи целесообразно воспользоваться симплекс-методом.

Для решения транспортной задачи и нахождения объемов и направлений поставок нефти без учета ограничений по производительности участков был найден и оптимизирован опорный план перевозок с помощью методов экономического анализа. Стоимость перевозки составила 84 000 тыс. руб. [4].

При наложении ограничения на производительность участков магистрального трубопровода, равного 1925 тонн, стоимость перевозки изменилась и составила 84 187,50 тыс. руб. При этом потоки между месторождениями и заводами перераспределились с учетом дополнительных ограничений. Конечный план перевозок представлен в табл. 6.

Таблица 6. Распределительная таблица, учитывающая ограничения на производительность участков

	H1	H2	H3	Сумма:	Ограничение:
M1	575	75	1100	1750	1750
M2	650	0	0	650	650
M3	1275	725	0	2000	2000
M4	0	1200	0	1200	1200
Сумма:	2500	2000	1100		
Ограничение:	2500	2000	1100		

Транспортная инфраструктура – одна из важнейших инфраструктур, обеспечивающих надежное функционирование объектов топливно-энергетического комплекса. Поэтому особую важность приобретает оптимальное планирование сетей, улучшение организации движения, оптимизация системы маршрутов поставок углеводородного сырья. Решение таких задач невозможно без математического моделирования систем магистрального транспорта.

Вследствие высокой стоимости и энергоемкости транспорта углеводородов даже незначительное увеличение пропускной способности магистральных нефте- и газопроводов приводит к значительной экономии ресурсов компании. При этом точное планирование и составление оптимального плана перевозок невозможно без учета ограничений по максимальной производительности трубопроводной системы.

Предложенный алгоритм позволяет учесть максимальную производительность конкретных участков трубопроводной сети; составить план транспортировки сырья по наименее затратному маршруту; оценить степень загрузки конкретных участков трубопроводной системы при работе по оптимальному плану перевозок.

Данные вычислительные алгоритмы имеют большую степень автоматизации в стандартных пакетах прикладных программ, например MS Office, что позволяет достаточно быстро осуществлять расчеты и на основании их принимать управленческие решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральная служба по тарифам // Сфера транспортировки нефти и нефтепродуктов – Тарифы для организаций. 2012. – URL: http://www.fstrf.ru/tariffs/info_tarif/oil/organizations/319 (дата обращения: 01.10.2013 г.).
2. Самаров К.Л. Учебное пособие для студентов. Транспортная задача. – М.: Город, 2008. – 121 с.
3. Лурье М.В. Трубопроводный транспорт нефти, нефтепродуктов и газа: учеб. пособие для слушателей проф. образования в нефтегазовой отрасли. – М.: Ин-т нефтегазового бизнеса. Сер. «Нефтегазовый бизнес», 2002. – 465 с.
4. Кац В.М., Козлова А.С. Возможность применения транспортной задачи при составлении плана поставок углеводородного сырья // Экономика России в XXI веке: сборник научных трудов X Всероссийской научно-практической конференции «Фундаментальные проблемы модернизации экономики России» / под ред. Г.А. Барышевой, Л.М. Борисовой. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – С. 311–314.
5. Глисин Ф.Ф., Ильин А.С., Прохоров В.В. Точки роста энергоэффективности и

- энергосбережения в России // Информационно-аналитический бюллетень ЦИСН. – 2012. – № 3. – С. 3–48.
6. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства РФ от 13.11.2009 № 1715-р.
 7. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
 8. Кудинов А.В., Марков Н.Г. Информационные технологии для повышения ресурсоэффективности энергокомплексов нефтегазодобывающих компаний // Вестник науки Сибири. – 2012. – № 2 (3). – С. 64–73.
 9. Ушаков В.Я. Возобновляемая и альтернативная энергетика: ресурсосбережение и защита окружающей среды. – Томск: СибГрафикс, 2011. – 137 с.
 10. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. – М.: Мир, 1978. – 432 с.
 11. Углеводородное сырье и энергетическая стратегия России / В.В. Сажин, Б.В. Ермоленко, Л.И. Кошкин и др. // Успехи в химии и химической технологии. – 2007. – № 11 (79). – С. 47–58.
 12. Гольштейн Е.Г., Юдин Д.Б. Задачи линейного программирования транспортного типа. – М.: Наука, 1969.

Поступила 16.05.2014 г.