

Научная статья
УДК 338.45:622.32

А.Ф. Шуплецов

*Байкальский государственный университет,
г. Иркутск, Российская Федерация*

К.О. Буров

*Байкальский государственный университет,
г. Иркутск, Российская Федерация*

Многокритериальная оптимизация организации снабжения сырьем нефтеперерабатывающего завода

Аннотация. Волатильность мировой экономики, масштабы производства деятельности являются основными факторами, которые увеличивают сложность планирования деятельности компаний нефтеперерабатывающей отрасли промышленности. Для эффективного функционирования нефтеперерабатывающих производств необходимо учитывать множество условий и ограничений для различных сегментов производственного процесса. Рассматривается организация снабжения сырой нефтью нефтеперерабатывающих заводов, которая является основным производственным сырьем. Цель работы состоит в формировании модели организации снабжения нефтеперерабатывающих заводов, применения методов многокритериальной оптимизации. Этот подход доказывает работоспособность модели и эффективность методов оптимизации с учетом множества влияющих факторов. Сформулирована экономико-математическая модель организации снабжения нефтеперерабатывающих заводов, учитывающая такие условия, как стоимость и время доставки, качество нефти и объем потерь при транспортировке. Применен метод многокритериальной оптимизации с целью нахождения компромиссного решения в пространстве нескольких целей.

Ключевые слова. Организация снабжения сырьем организации, нефтепереработка, многокритериальная оптимизация, транспортная задача.

Информация о статье. Дата поступления: 22 ноября 2022 г.

Original article

A.F. Shupletsov

*Baikal State University,
Irkutsk, Russian Federation*

K.O. Burov

*Baikal State University,
Irkutsk, Russian Federation*

Multicriteria Optimization of the Organization of the Supply of Raw Materials for an Oil Refinery

Abstract. The volatility of the world economy, the scale of production activities are the main factors that increase the complexity of planning the activities of companies in the oil refining industry. For the efficient functioning of oil refineries, it is necessary to take into account many conditions and restrictions for various segments of the production process.

The organization of the supply of crude oil to refineries, which is the main production raw material, is considered. The purpose of the work is to form a model for organizing the supply of oil refineries, the application of methods of multicriteria

optimization. This approach proves the performance of the model and the effectiveness of optimization methods, taking into account many influencing factors.

An economic and mathematical model for organizing the supply of oil refineries is formulated, taking into account such conditions as the cost and time of delivery, oil quality and the volume of losses during transportation. The method of multicriteria optimization was applied to find a compromise solution in the space of several goals.

Keywords. Organization of the organization's supply, oil refining, multicriteria optimization, transport task.

Article info. Received 22 November, 2022.

Изменчивость мировой экономики вынуждает вносить определенные поправки в текущую операционную деятельность бизнеса, корректировать движение финансов внутри организации в связи с непредсказуемостью поведения ее внешних агентов. Следует быть готовыми к изменению горизонта стратегического планирования в ту или иную сторону с последующей корректировкой целевых показателей. При этом размер бизнеса и его влияние напрямую опосредуют объем и степень сложности вносимых изменений. Чем больше компания, тем шире характер корректировок, увеличивается сложность процессов внесения изменений [1] и перестройки производственного аспекта деятельности.

Многогранность производственной деятельности, обилие выпускаемых товаров приводят к увеличению сложности планирования, когда необходимо выбрать оптимальное соотношение продуктов, их качества, распределить функционал между собственными сотрудниками и передачей части работ на аутсорсинг, учесть другие аспекты производственно-коммерческой деятельности.

Специфика нефтеперерабатывающей индустрии России заключается в преобладании вертикально-интегрированных компаний в данном сегменте промышленности [2], что одновременно определяет стандартный нефтеперерабатывающий завод (НПЗ), как подсистему более обширной системы и, как следствие, усложняет процесс планирования его деятельности.

Большой ассортимент конечных продуктов производства (от бензина до пластмасс), который в свою очередь должен удовлетворять определенным требованиям качества, экологическим стандартам, высокая нестабильность мирового рынка, контроль над чем практически не имеет возможности организовать ни одна компания, приводят к существенному увеличению масштабов и сложности процессов планирования и принятия управленческих решений [3].

Помимо прочего, перед началом производственной деятельности, необходимо организовать доставку сырья для переработки. Для НПЗ — это сырая нефть, прошедшая первичную обработку (удалены из нефти газы, вода, лишние соли, ненужные фракции).

В этих условиях встает вопрос о выборе оптимального поставщика, объемов и распределения поставок сырья по НПЗ на основе не только одного критерия эффективности, а их совокупности, учитывающих стоимость доставки, время, объем потерь и т.д.

Согласно исследованиям, организация логистических процессов¹ и, соответственно, понесенные транспортные расходы могут достигать до 50 % всех расходов предприятия [4], что делает актуальным рассмотрение данного процесса на предмет повышения его эффективности.

Значимость исследования заключается в том, что эффективность ресурсного снабжения НПЗ, которое является неотъемлемой частью общих логистических процессов деятельности и при этом необходимым элементом запуска всей «цепочки» процессов на этом производстве, зависит от множества критериев и требует современных подходов к оптимизации.

Отечественными исследователями достигнуты ряд значительных результатов в области оптимизации процессов работы НПЗ. В работе Р.М. Горинова, В.А. Швечкова, Ю.П. Степина [5], показана зависимость движения потоков нефти для разветвлённой системы магистральных нефтепроводов от множества критериев и предложена соответствующая многокритериальная модель формирования графиков движения нефти.

В работе Ю.П. Степина [6] предложено использование нечеткой многокритериальной оптимизации для решения ряда задач нефтегазовой отрасли.

В ряду зарубежных исследований стоит выделить работу А.М. Ghaithan, А. Attia, S.O. Duffuaa [7], которые разработали многокритериальную модель оптимизации поставок нефти и газа до потребителей, максимизирующую доход, качество обслуживания и минимизирующую затраты.

Тем не менее, процесс организации снабжения НПЗ сырьем остается в целом открытой темой, требующей дополнительных исследований для улучшения эффективности деятельности нефтеперерабатывающих компаний.

В рамках данной работы нами будут использоваться методы многокритериальной оптимизации. Формально, задача многокритериальной оптимизации выглядит так: пусть x — вектор множества X , X — множество допустимых значений, R^n — n -мерное евклидово пространство. В таком случае, формальное определение множества допустимых значений выглядит следующим образом:

¹ Куда помимо организации снабжения входит и организация сбыта, с такими критериями эффективности, как выбор оптимального соотношения между поставкой на внутренний и внешний рынки, нахождение минимальной стоимости поставки продукта до конечного потребителя.

$$X = \{x | g_i(x) \leq 0, i = \overline{1, m}\}, X \in R^n.$$

Пусть далее, $f_1 \dots f_m$ числовые функции (критерии), заданные на множестве X , m — число критериев. Для каждого частного критерия f_i , $i = \overline{1, m}$ указывается подмножество Y_i , ограничивающее область значений критерия.

В свою очередь, критерии f_i образуют векторный критерий $f = (f_1 \dots f_m)$, что позволяет сформулировать множество достижимых оценок следующим образом:

$$Y = f(X) = \{y \in E^m | y = f(x), x \in X\},$$

где E^m — m -мерное критериальное пространство.

Компактно систему оптимизируемых функций можно представить следующим образом, где *minORmax* означает минимизацию или максимизацию функции f_i , $i = \overline{1, m}$:

$$f_1(x) \rightarrow \text{minORmax},$$

$$f_m(x) \rightarrow \text{minORmax}.$$

Организацию снабжения, можно рассмотреть, как оказание транспортных услуг с минимальными издержками и максимальным экономическим эффектом [8].

В условиях множества критериев эффективности оптимизация организации снабжения НПЗ сырьем представляет собой решение многокритериальной задачи. Это могут быть: объем поставляемого сырья; объемы потерь при перевозке или перевалке груза; время доставки; затраты на единицу транспортировки сырья (нефти).

Транспортная задача может быть открытого типа, если соблюдается равенство объемов запасов у поставщика и объемов потребности у заказчика, в противном случае транспортная задача является задачей закрытого типа. Методы решения задачи: введение главного критерия; аддитивная свертка критериев, целевое программирование, метод приоритетов. В данной работе будем использовать метод компромиссного решения, последовательно рассматривая каждую оптимизируемую функцию на множестве ограничений.

Основными шагами при составлении модели являются ввод целевых функций, для которых необходимо определение их максимума или минимума, ввод ограничений на допустимые значения неизвестных параметров x и ввод дополнительных условий, которым должна удовлетворять итоговая модель.

Модель выглядит следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} f_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij}^1 x_{ij} \rightarrow \min OR \max, \\ f_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij}^2 x_{ij} \rightarrow \min OR \max, \\ \dots \\ f_n = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij}^n x_{ij} \rightarrow \min OR \max, \\ \sum_{j=1}^m x_{ij} \leq s_i, \\ \sum_{i=1}^n x_{ji} \leq d_j, \\ x_{ij} \geq 0. \end{array} \right.$$

Как указывалось выше, метод компромиссного решения заключается в последовательном нахождении оптимума каждой из функций. Далее, исходные функции переформулируются таким образом, что в них входят оптимальные значения, вычисленные ранее. Оптимизируемой функцией становится теперь фиктивная функция, зависящая от единственного параметра. Для этой новой функции находится ее минимальное значение, которое и будет являться компромиссным решением.

$$\begin{aligned} f_{new} &= x_{n+1} \rightarrow \min, \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij}^1 x_{ij} + (-)f_{opt}^1 x_{n+1} &\geq (\leq) f_{opt}^1, \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij}^2 x_{ij} + (-)f_{opt}^2 x_{n+1} &\geq (\leq) f_{opt}^2, \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij}^n x_{ij} + (-)f_{opt}^n x_{n+1} &\geq (\leq) f_{opt}^n, \\ \sum_{j=1}^m x_{ij} &\leq s_i, \end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ji} \leq d_j,$$

$$x_{ij} \geq 0.$$

Моделируя систему снабжения НПЗ, в качестве критериев ее эффективности выберем следующие: себестоимость перевозки; время нахождения в пути из начального в конечный пункт доставки; качество поставляемой нефти для переработки; объем потерь груза при его транспортировке. Критерии обладают рядом преимуществ.

Они довольно полно отражают эффективность транспортно-экспедиционных услуг [9], во вторых «легко» формализуются. Критерии обладают таким качеством как интуитивная ясность, что упрощает интерпретируемость модели.

Пусть объем запасов у поставщиков нефти будут равным объемам спроса у НПЗ, что делает нашу модель моделью закрытого типа. В аналитическом виде она примет вид :

$$\left\{ \begin{array}{l} f_c = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \\ f_t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m t_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \\ f_q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m q_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \\ f_l = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m l_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \\ \sum_{i=1}^n s_i = \sum_{j=1}^m d_j, \\ \sum_{i=1}^n x_{ji} \leq d_j, \\ \sum_{j=1}^m x_{ij} \leq s_i, \\ x_{ij} \geq 0. \end{array} \right. \quad (1)$$

где, c_{ij} — стоимость перевозки 1 т груза; t_{ij} — время транспортировки 1 т груза; q_{ij} — сернистость транспортируемой (перевози-

мой) нефти, в %; l_{ij} — объем потерь груза при перевозке; s_i объем запасов у поставщиков сырой нефти; d_j объем спроса на сырую нефть у НПЗ.

Предположим, что зависимость функций от переменной x линейна, а с увеличением количества перевозимого груза растет время его доставки и объем потерь. Функция качества в модели — это общее содержание серы в количестве перевозимой нефти.

Поставляемая на НПЗ нефть делится на 4 группы по содержанию в ней серы [10] (табл. 1). Существующие и вводимые экологические стандарты на продукты нефтепереработки, например, на бензин ограничивают содержание серы в используемом топливе [11]. В этой связи ее содержание нужно контролировать уже на этапе выбора исходного сырья (нефти) для последующей переработки. Содержание серы будет выступать показателем качества и востребованности конечного продукта на рынке.

Предстоит выбрать такое размещение месторождений нефти от поставщиков до потребителей, чтобы количество серы в ней было бы минимальным.

Таблица 1

Типы нефти по содержанию серы

Тип нефти	Содержание серы, %
Малосернистая	До 0.6
Сернистая	от 0.61 до 1.8
Высокосернистая	от 1.81 до 3.5
Особо высокосернистая	от 3.51

Функция издержек доставки (f_c), зависит от утвержденных Федеральной антимонопольной службы Российской Федерации тарифов на перевозку грузов трубопроводным транспортом и объемов перевозки. Содержание серы в нефти (f_q) различно в зависимости от месторождения и способа ее добычи. Учет этих условий позволяет минимизировать общее содержание серы в совокупном объеме нефти.

Заранее установленных нормативов перемещения 1 тонны нефти, которые могут быть использованы в функции времени (f_t), нет. Выведем усредненное время, за которое тонна груза (нефти) переместится из начального в конечный пункт. Определим площадь поперечного сечения трубопровода, как:

$$S = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (2)$$

где, s — площадь поперечного сечения трубопровода; d диаметр трубопровода.

Далее оценим путь, который необходимо пройти потоку нефти:

$$L = vt, \quad (3)$$

где, L — длина нефтепровода; v — скорость нефтяного потока; t — время, которое займет перемещение нефти.

Поскольку скорость нефтяного потока различается на некоторых участках, то за v возьмем среднюю скорость движения нефти (\bar{v}):

$$\bar{v} = \frac{4Q_c}{\pi d^2}, \quad (4)$$

где Q_c — пропускная способность нефтепровода.

Определяем массу (m) транспортируемой нефти:

$$m = pV, \quad (5)$$

где, p — плотность нефти; V — объем нефтяного потока.

Объем транспортируемой нефти вычислим по следующей формуле:

$$V = LS. \quad (6)$$

После преобразования и переноса переменных, время, потраченное на транспортировку нефти:

$$t = \frac{4m}{\rho Q_c}. \quad (7)$$

Так, для 1 т нефти с плотностью 835 кг/м³ и пропускной способностью 0,378 м³/с, по расчетам время на транспортировку составит 12,7 с.

Потери нефти при транспортировке (f_l), ее естественная убыль, может быть определена по утвержденным Министерством энергетики РФ нормам или иным способом. Учитывая, что не всегда может быть известна группа нефтепродуктов или учтены все ее факторы, то корректней использовать зависимость естественной убыли от менее волатильных параметров.

Для этого, например, можем использовать статистическую зависимость, выведенную А.Ш. Гараловым и З.Дж. Гулиевым [12], в которой объем потери нефти при транспортировке зависит от длины нефтепроводов:

$$q_l = 0,0008L^{0,8099}, \quad (8)$$

где q_l — норма естественной убыли нефти при транспортировке, %; L — длина нефтепроводов.

При оптимизации функции потерь на транспортировку определяем такой объем перевозок, для которого потери в этом случае окажутся минимальными. Учитывая выше перечисленное, модель снабжения НПЗ сырьем можно представить в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} f_c = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \\ f_t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{4\,000}{\rho_{ij} Q_{lj}} x_{ij} \rightarrow \min, \\ f_q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m q_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \\ f_l = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m 0,0008 L_{ij}^{0,8099} x_{ij} \rightarrow \min, \\ \sum_{i=1}^n s_i = \sum_{j=1}^m d_j, \\ \sum_{i=1}^n x_{ji} \leq d_j, \\ \sum_{j=1}^m x_{ij} \leq s_i, \\ x_{ij} \geq 0. \end{array} \right. \quad (9)$$

Численный пример демонстрирует работоспособность сформулированной модели и подтверждает возможность ее многокритериальной оптимизации².

Представление организации снабжения нефтеперерабатывающих заводов исходным сырьем с помощью линейных функций и линейных связей обосновывается тем, что стоимость доставки, сохранность груза и иные значимые факторы эффективности транспортировки линейно зависят от объема поставляемого груза [14]. Таким образом, выбор линейного представления организации снабжения является оправданным и соответствует экономическим реалиям.

² Методами для решения подобного типа задач является метод северо-западного угла и симплекс-метод [13].

Пусть имеется три НПЗ и три поставщика сырой нефти для переработки. Представим матрицы параметров оптимизируемых функций в следующем виде:

$$Cost = \begin{pmatrix} 770 & 750 & 890 \\ 880 & 900 & 830 \\ 840 & 920 & 880 \end{pmatrix}; \quad (10)$$

$$Time = \begin{pmatrix} 12,67 & 12,67 & 12,67 \\ 11,38 & 11,38 & 11,38 \\ 13,3 & 13,3 & 13,3 \end{pmatrix}; \quad (11)$$

$$Quality = \begin{pmatrix} 0,0085 & 0,0085 & 0,0085 \\ 0,0062 & 0,0062 & 0,0062 \\ 0,0075 & 0,0075 & 0,0075 \end{pmatrix}; \quad (12)$$

$$Loss = \begin{pmatrix} 0,06 & 0,07 & 0,06 \\ 0,05 & 0,09 & 0,05 \\ 0,08 & 0,08 & 0,07 \end{pmatrix}, \quad (13)$$

где $Cost$ — матрица, в которой указана стоимость транспортировки нефти по нефтепроводу, измеренная в рублях на 1 т груза; $Time$ — матрица, в которой указаны удельные временные затраты на транспортировку нефти в секундах на 1 т груза; $Quality$ — матрица, в которой указаны процентные содержания серы в перевозимой нефти; $Loss$ — матрица, в которой отображены объемы естественной убыли нефти в процентах.

Введем значения предложения поставщиков сырой нефти и спроса НПЗ, как необходимое ограничение в модель:

$$S_1 = 850; S_2 = 1\,000; S_3 = 920; D_1 = 840; D_2 = 1\,010; D_3 = 920,$$

где, $S_i, i = \overline{1,3}$ — предложение i -го поставщика нефти; $D_j, j = \overline{1,3}$ — спрос j -го НПЗ.

Оптимизируем каждую функцию, находя их минимум с учетом введенного нами ограничения. Полученные значения функций представим в виде: $F_{cost}^{min} = 2\,252\,300 \text{ р.}; F_{time}^{min} = 34\,385,5 \text{ сек.}; F_{quality}^{min} = 20,33 \text{ м.}; F_{loss}^{min} = 175,5 \text{ м.}$

Перепишем систему уравнений (9) с учетом полученных ограничений (см. формулу (14)).

Так как, требуется минимизировать функцию F_{new} , то в соответствии с условием достижения оптимальности при решении задачи, таковым будет тот результат, у которого все значения базисных коэффициентов будут меньше 0. Решая систему линейных уравнений, получим оптимальный план распределения ресурсов.

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{new} = x_{10} \rightarrow \min, \\ f_c = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} - F_{cost}^{min} x_{10} \leq F_{cost}^{min}, \\ f_t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m t_{ij} x_{ij} - F_{time}^{min} x_{10} \leq F_{time}^{min}, \\ f_q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m q_{ij} x_{ij} - F_{quality}^{min} x_{10} \leq F_{quality}^{min}, \\ f_l = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m l_{ij} x_{ij} - F_{loss}^{min} x_{10} \leq F_{loss}^{min}, \\ \sum_{i=1}^n s_i = \sum_{j=1}^m d_j, \\ x_{ij} \geq 0. \end{array} \right. \quad (14)$$

Таблица 2

Оптимальное распределение ресурсов

Поставщик / НПЗ	НПЗ 1	НПЗ 2	НПЗ 3
Поставщик 1	0	850	0
Поставщик 2	504.7	0	495.3
Поставщик 3	335.3	160	424.7

Оптимизируемые функции приняли следующие значения: $F_{cost}^{opt} = 2\,295\,326\,p.$; $F_{time}^{min} = 34\,386\,сек.$; $F_{quality}^{min} = 20,3\,m$; $F_{loss}^{min} = 178,9\,m$. Дополнительный член модели x_{10} имеет значение приблизительно равное 0.02.

В заключение отметим, что итоговые значения функций приняли равные, либо примерно равные значения тем результатам, которые мы получили при последовательной оптимизации каждой функции в отдельности, что свидетельствует о компромиссном характере конечного решения. Можно утверждать, что при прочих равных условиях предложенные в работе мероприятия по формированию оптимальных плановых решений положительно повлияют на эффективность хозяйственной деятельности нефтеперерабатывающего завода (НПЗ).

1. Экономико-математическая модель организации снабжения исходным сырьем НПЗ в первую очередь отвечает основным требованиями предъявляемым управляющим менеджментом к эффективности функционирования системы в целом. Она ориентирована на: минимизацию стоимости доставки; минимизацию времени доставки; максимизацию качества; минимизацию уровня по-

терь при транспортировке. Поскольку в реальных системах количество влияющих факторов на систему больше, то модель может быть использована как первое приближенное описание поведения «активного экономического агента».

2. Учитывая, что основным ограничением модели был линейный характер составляющих ее уравнений и опираясь на предпосылку о том, что сырая нефть на НПЗ доставляется только по нефтепроводам, следующим шагом на пути улучшения ее качества может быть отказ, как от линейности уравнений, так и об использованной нами транспортной предпосылке. Помимо этого, в модель, как значимый фактор, может быть включена стоимость перевалки и сдачи нефти.

3. Поскольку, в составе ограничений нами использовались только условия на необходимый объем сырья для каждого НПЗ и уровень запасов поставщиков, то для улучшения качества модели (9) можно включить дополнительные ограничения на другие факторы. Например, можно указать максимальное время доставки груза или предельный объем потерь при транспортировке.

4. Практическая проверка модели подтвердила возможность ее многокритериальной оптимизации с помощью таких методов, которые указывают на возможность ее использования в реальных экономических ситуациях при организации планирования производственной деятельности в нефтепереработке.

Список использованной литературы

1. Зими́на Л.Ю. Методологические основы внутрифирменного планирования / Л.Ю. Зими́на. — Ульяновск : УлГУ, 2007. — 115 с.
2. Ерохин А.В. Особенности анализа конкурентоспособности нефтеперерабатывающих предприятий, входящих в состав ВИНК / А.В. Ерохин // Севергеоэкотех-2021 : материалы XXII Междунар. молодежной науч. конф., Ухта, 17–19 марта 2021 года. — Ухта, 2021. — С. 760–762.
3. Joly M. Refinery production planning and scheduling: The refining core business / M. Joly // Brazilian Journal of Chemical Engineering. — 2012. — Vol. 29, iss. 2. — P. 371–384.
4. Waleed A.K. Transportation optimization model of oil products / A.K. Waleed // Scientific Research and Essays. — 2013. — Vol. 8, iss. 5. — P. 211–219.
5. Горинов Р.М. Математическая модель многокритериальной оптимизации календарного планирования работы разветвленной системы магистральных нефтепроводов / Р.М. Горинов, В.А. Швечков, Ю.П. Степин. — DOI 10.33285/2073-9028-2019-4(297)-87-99. — EDN HNETYL // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина. — 2019. — № 4 (297). — С. 87–99.
6. Степин Ю.П. Модель нечеткой многокритериальной оптимизации и оценки рисков выбора вариантов проектов / Ю.П. Степин. — EDN PFHCFZ // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина. — 2012. — № 3 (268). — С. 197–204.
7. Ghaithan A. Multi-objective Optimization Model for a Downstream Oil and Gas Supply Chain / A. Ghaithan, A. Attia, S. Duffuaa. — DOI 10.1016/j.apm.2017.08.007 // Applied Mathematical Modelling. — 2017. — Vol. 52, iss. 10. — P. 689–708.

8. Нуркаева А.В. Методы многокритериальной оптимизации транспортной задачи / А.В. Нуркаева. — EDN XSMPFJ // Инженерный вестник Дона. — 2018. — № 1 (48). — С. 54.
9. Макашина Е.В. Качество транспортно-экспедиционных услуг как условие повышения конкурентоспособности компании / Е.В. Макашина. — EDN OJGEAV // Новые технологии. — 2011. — № 3. — С. 116–119.
10. Лурье М.А. О классификации нефтей. Сернистость как генетический классификационный показатель / М.А. Лурье, Ф.К. Шмидт. — EDN SJBDAX // Глубинная нефть. — 2013. — Т. 1, № 11. — С. 1790–1797.
11. He B.B. Sulfur Content in Selected Oils and Fats and their Corresponding Methyl Esters / B.D. He, J.H. Gerpen, J.C. Thompson. — DOI 10.13031/2013.26319 // Applied Engineering in Agriculture. — 2010. — Vol. 25, iss. 2. — P. 223–226.
12. Гаралов А.Ш. Методы определения потерь при сборе, хранении и транспортировке нефти / А.Ш. Гаралов, З.Д. Гулиев. — EDN OCOIB // Нефтепромысловое дело. — 2011. — № 7. — С. 55–61.
13. Reeb J. Transportation Problem: A Special Case for Linear Programming Problems / J. Reeb, S. Leavengood // Operations Research. — 2002. — June. — URL: <https://catalog.extension.oregonstate.edu/sites/catalog/files/project/pdf/em8779.pdf>.
14. Ghazali Z. Optimal Solution of Transportation Problem Using Linear Programming: A Case of a Malaysian Trading Company / Z. Ghazali, M. Abd Majid, M. Shazwani. — DOI 10.3923/jas.2012.2430.2435 // Journal of Applied Sciences. — 2012. — Vol. 12, iss. 23. — P. 2430–2435.

References

1. Zimina L.Yu. *Methodological Bases of Corporate Planning*. Ulyanovsk State University Publ., 2007. 115 p.
2. Erokhin A.V. *Features of the analysis of the competitiveness of oil refineries that are part of VIOCs. Materials of the XXII International Youth Scientific Conference, Ukhta, March 17–19, 2021*. Ukhta, 2021, pp. 760–762. (In Russian).
3. Joly M. Refinery Production Planning and Scheduling: The Refining Core Business. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 2012, vol. 29, iss. 2, pp. 371–384.
4. Waleed A.K. Transportation Optimization Model of Oil Products. *Scientific Research and Essays*, 2013, vol. 8, iss. 5, pp. 211–219.
5. Gorinov R.M., Shvechkov V.A., Stepin Yu.P. Mathematical Model of Multi-Criteria Optimization Scheduling of Branched System Pipelines Transportation. *Trudy Rossiiskogo gosudarstvennogo universiteta nefti i gaza imeni I.M. Gubkina = Proceedings of Gubkin Russian State University of Oil and Gas*, 2019, no. 4, pp. 87–99. (In Russian). EDN: HNETYL. DOI: 10.33285/2073-9028-2019-4(297)-87-99.
6. Stepin Yu.P. Model of Fuzzy Multi-Criteria Optimization and Risk Assessment of Project Choices. *Trudy Rossiiskogo gosudarstvennogo universiteta nefti i gaza imeni I.M. Gubkina = Proceedings of Gubkin Russian State University of Oil and Gas*, 2012, no. 3, pp. 197–204. (In Russian). EDN: PFHCFZ.
7. Ghaithan A., Attia A., Duffuaa S. Multi-objective Optimization Model for a Downstream Oil and Gas Supply Chain. *Applied Mathematical Modelling*, 2017, vol. 52, iss. 10, pp. 689–708. DOI: 10.1016/j.apm.2017.08.007.
8. Nurkaeva A.V. Methods of Multicriteria Optimization of Transport Problem. *Inzhenernyj vestnik Dona = Engineering journal of Don*, 2018, no. 1, pp. 54. (In Russian). EDN: XSMPFJ.
9. Makashina E.V. Quality of Forwarding Services as the Condition of Increase of the Company Competitiveness. *Novye tekhnologii = New Technologies*, 2011, no. 3, pp. 116–119. (In Russian). EDN: OJGEAV.

10. Lure M.A., Shmidt F.K. Classification of Oils. Sulfur Content as Genetic Classification Sign. *Glubinnaya neft = Deep oil*, 2013, vol. 1, no. 11, pp. 1790–1797. (In Russian). EDN: SJBDAX.

11. He B.B., Gerpen J.H., Thompson J.C. Sulfur Content in Selected Oils and Fats and their Corresponding Methyl Esters. *Applied Engineering in Agriculture*, 2010, vol. 25, iss. 2, pp. 223–226. DOI: 10.13031/2013.26319.

12. Garalov A.Sh., Guliev Z.J. Methods of Estimation of Oil Losses while its Gathering, Storage and Transportation. *Neftepromyslovoye delo = Oilfield Engineering*, 2011, no. 7, pp. 55–61. (In Russian). EDN: OCFOIB.

13. Reeb J., Leavengood S. Transportation Problem: A Special Case for Linear Programming Problems. *Operations Research*, 2002, June. Available at: <https://catalog.extension.oregonstate.edu/sites/catalog/files/project/pdf/em8779.pdf>.

14. Ghazali Z., Abd Majid M., Shazwani M. Optimal Solution of Transportation Problem Using Linear Programming: A Case of a Malaysian Trading Company. *Journal of Applied Sciences*, 2012, vol. 12, iss. 23, pp. 2430–2435. DOI: 10.3923/jas.2012.2430.2435.

Информация об авторах

Шуплецов Александр Федорович — доктор экономических наук, профессор, кафедра экономики предприятия и предпринимательской деятельности, Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: ShupletsovAF@bgu.ru.

Буров Кирилл Олегович — аспирант, кафедра экономики предприятия и предпринимательской деятельности, Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: burovkirill1995@gmail.com.

Information about the Authors

Alexander F. Shupletsov — Doctor of Economics, Professor, Department of Enterprise Economics and Entrepreneurship, Baikal State University, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: ShupletsovAF@bgu.ru.

Kirill O. Burov — PhD Student, Department of Enterprise Economics and Entrepreneurship, Baikal State University, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: burovkirill1995@gmail.com.

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the Authors

The authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Для цитирования

Шуплецов А.Ф. Многокритериальная оптимизация организации снабжения сырьем нефтеперерабатывающего завода / А.Ф. Шуплецов, К.О. Буров. — DOI 10.17150/2713-1734.2022.4(3).218-231 // System Analysis & Mathematical Modeling. — 2022. — Т. 4, № 3. — С. 218–231.

For Citation

Shupletsov A.F., Burov K.O. Multicriteria Optimization of the Organization of the Supply of Raw Materials for an Oil Refinery. *System Analysis & Mathematical Modeling*, 2022, vol. 4, no. 3, pp. 218–231. (In Russian). DOI: 10.17150/2713-1734.2022.4(3).218-231.