

## МЕТОДИКА ВЫБОРА СИСТЕМЫ ДОСТАВКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА ОСНОВЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТОВ

А.М. Егошин<sup>1</sup>, А.С. Афанасьев<sup>2</sup>, С.В. Алексеев<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
Санкт-Петербург, Россия, e-mail: A.S.Afanasev@mail.ru

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

**Аннотация:** На данный момент 80% всего объема транспортируемых горных пород на открытых горных работах перевозят автотранспортом, а затраты на автотранспорт составляют 60–65% от общих расходов, и при дальнейшем углублении карьеров могут превысить уровень затрат на добычу в 3–4 раза. Высокие эксплуатационные расходы включают наиболее емкие составляющие, такие как топливо и масла, шины, сменные агрегаты, поддержание дорог и т.д. Предлагаемая методика предоставляет возможность оценки альтернативных вариантов систем доставки полезных ископаемых от горнодобывающего предприятия к потребителям на основе экономического анализа. Это производится на основе расчета показателей годового расхода, соотношения расходов и доходов по варианту доставки, размера прибыли и чистого дисконтированного дохода каждого из вариантов системы доставки. Использование данных показателей обусловлено тем, что они демонстрируют основные экономические параметры доходов и расходов при планировании строительства и функционирования систем доставки полезных ископаемых. Приведен пример сравнения нескольких систем доставки полезных ископаемых, показавший достаточную достоверность предлагаемых зависимостей, которая подтверждается результатами расчетов. В контексте Арктической зоны, где инфраструктура и условия для транспортировки сложные из-за сурового климата и отдаленности региона, такая методика становится особенно важной. Рассмотрение альтернативных вариантов доставки в условиях Арктики обеспечит оптимизацию затрат и улучшит эффективность транспортировки горных пород, что скажется на доходах проектируемого горнодобывающего предприятия.

**Ключевые слова:** система доставки, полезные ископаемые, экономический анализ, альтернативные варианты, транспортная инфраструктура, эффективность доставки, оптимизация затрат, Арктическая зона.

**Для цитирования:** Егошин А. М., Афанасьев А. С., Алексеев С. В. Методика выбора системы доставки полезных ископаемых на основе экономического анализа альтернативных вариантов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 6. – С. 135–148. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_6\_0\_135.

---

## Procedure of mineral delivery system selection based on economic analysis of alternatives

A.M. Egoshin<sup>1</sup>, A.S. Afanasyev<sup>2</sup>, S.V. Alekseev<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Saint-Petersburg University of the Ministry of Emergency Situations of Russia,  
Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Empress Catherine II Saint-Petersburg Mining University,  
Saint-Petersburg, Russia, e-mail: A.S.Afanasev@mail.ru

<sup>3</sup> Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia

---

**Abstract:** At the moment, 80% of volume of rock haulage in open pit mining is transported by vehicles, and the motor transport cost reaches 60–65% of overall mining cost and can exceed the mining expenses 3–4 times when open pit depth grows. High operating costs include such cost-intensive components as fuel and oils, tyres, changeable units, road maintenance, etc. The proposed procedure makes it possible to assess alternative systems of mineral haulage from a mine to a consumer based on the economic analysis. The analysis involves calculation of annual expenditures, expense ratio per every haulage alternative, profit margin and net present value per each alternative. The use of these indicators is governed by the fact that they demonstrate the main economic parameters of income and expenditure in planning, construction and functioning of mineral haulage systems. The case-study of the comparison of some mineral haulage systems shows sufficient reliability of the proposed relations, which is confirmed by the calculation results. In the Arctic Zone, with the complex infrastructure and difficult conditions of transportation because of the harsh climate and remoteness of the region, such procedure becomes of a critical nature. The analysis of haulage alternatives in the Arctic conditions can allow the cost optimization and efficiency improvement of transportation, which can exert beneficial effect on performance of a mine being planned and designed.

**Key words:** haulage system, minerals, economic analysis, alternatives, transportation infrastructure, haulage efficiency, cost optimization, Arctic Zone.

**For citation:** Egoshin A. M., Afanasyev A. S., Alekseev S. V. Procedure of mineral delivery system selection based on economic analysis of alternatives. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024;(6):135-148. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_6\_0\_135.

---

### Введение

Арктическая зона Российской Федерации является одним из приоритетных направлений экономического развития. Промышленная активность в этом регионе привела к росту предприятий, охватывающих различные отрасли, включая горно-обогатительную. Вместе с тем разработка природных ресурсов Арктической зоны сталкивается с рядом сложностей, так как добыча полезных ископаемых происходит в отдаленных и

труднодоступных участках Арктической зоны, а именно в районах вечной мерзлоты [1–3]. Для обеспечения устойчивости и оптимизации использования природных ресурсов при выборе маршрута транспортировки полезных ископаемых в Арктике необходимо учитывать следующие критерии: труднодоступность месторождений, разработка логистической структуры, безопасность и экологические аспекты, альтернативные варианты доставки и экономический анализ.

В связи с этим планирование разработки новых месторождений полезных ископаемых [4] непосредственно связано с созданием логистической структуры транспортных систем доставки добытого сырья от мест добычи к местам их переработки и использования [5]. Кроме того, весь процесс разработки должен быть осуществлен с соблюдением строгих норм и правил, которые обеспечивают безопасность работников [6], окружающей среды [7] и населения [8]. Помимо этого, планирование логистических цепочек поставок добываемого сырья необходимо осуществлять с учетом обеспечения горнодобывающих предприятий оборудованием и материалами, также важным элементом в транспортной системе является вывоз техногенных отходов. Однако в последнее время техногенные отходы классифицируются не как отход, а как продукт, получающийся в процессе производства основного (руда, концентрат, металл и др.), который впоследствии используется в горной промышленности или смежных областях [9], что усложняет разработку логистических цепочек и затрудняет принятие конечного решения по структуре транспортных систем. Этот фактор необходимо учитывать при проектировании транспортной логистики на случай использования транспортных систем при изменении концепции и возможном вовлечении техногенных отходов в переработку [10].

Система доставки полезных ископаемых может включать пункты погрузки и выгрузки, маршруты автомобильных, железных дорог, морских и речных путей и пункты перегрузки с одного вида транспорта на другие. При этом учитываются существующие сети транспортных коммуникаций и перегрузочных узлов, а также рассматривается возможность строительства новых коммуникаций и узлов [11].

В качестве альтернативных вариантов доставки рассматриваются строительство новых участков автомобильных дорог, станций, портов, использование существующих участков автомобильных дорог, станций, портов, в том числе после их реконструкции с возможностью дальнейшего повышения грузопотока [12, 13]. Одним из возможных вариантов может быть полный отказ от строительства новых участков автомобильных дорог для доставки полезных ископаемых, принимая во внимание, какие сложности или неудобства возникнут вследствие этого [14, 15]. Такой недействительный или не значащий вариант всегда должен включаться в группу анализируемых альтернативных вариантов [16, 17].

Выбор системы доставки сырьевых ресурсов в значительной степени зависит от результатов экономического анализа различных вариантов. В ходе экономического анализа важно выбрать показательный сравнительный критерий и учесть факторы, влияющие на него при различных вариантах доставки [18–20]. Определение в качестве основного одного из взаимно исключающих вариантов доставки полезных ископаемых происходит на основании расчета критериев, взятых для оценки тех или иных параметров в течение определенного срока. Как правило, в ходе экономического анализа оцениваются расходы и доходы за планируемый период времени.

На основании изложенного следует, что разработка методики выбора системы доставки полезных ископаемых на основе многокритериальных факторов, обязательно включающих экономическую составляющую, является весьма актуальной задачей.

Таким образом, предложенная методика предоставляет возможность оценки альтернативных вариантов систем доставки полезных ископаемых в Арктической зоне от горнодобывающего

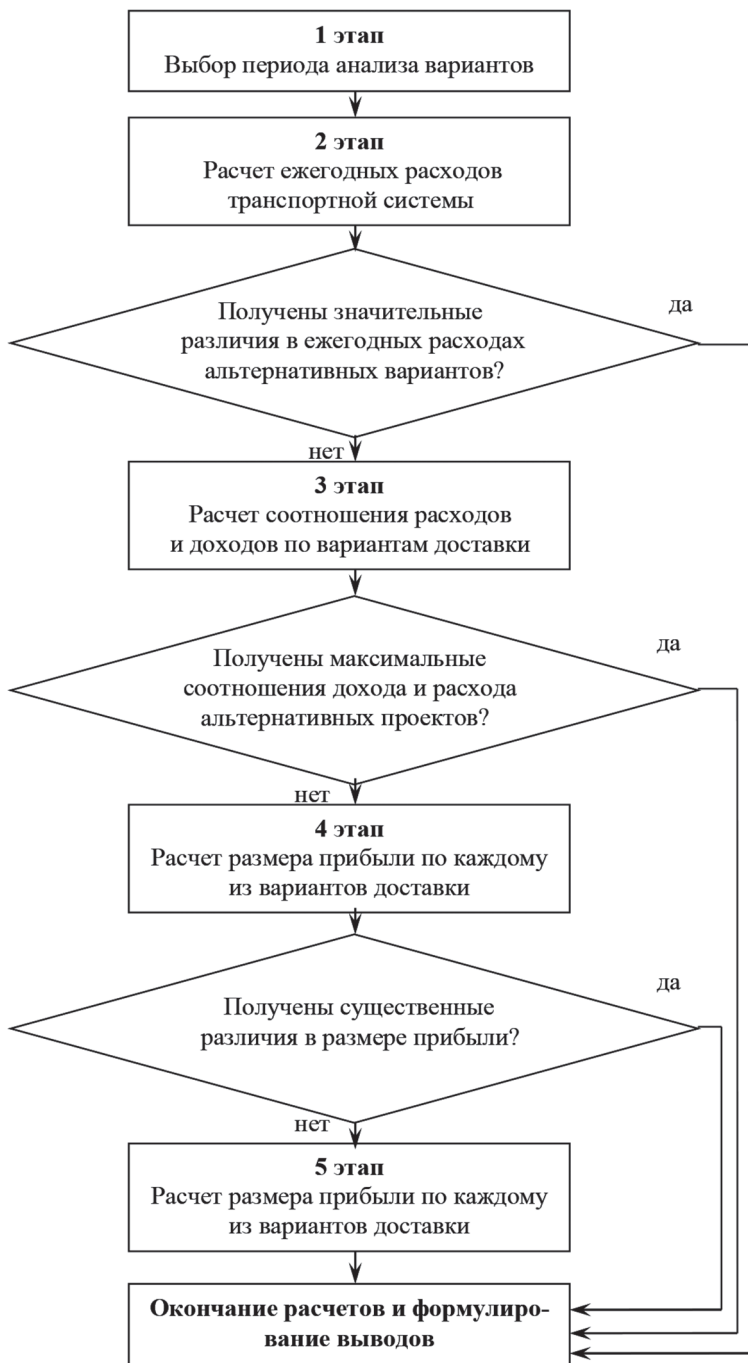


Рис. 1. Алгоритм реализации методики выбора системы доставки полезных ископаемых на основе экономического анализа

Fig. 1. Algorithm for implementation of the methodology for selecting a mineral delivery system based on economic analysis

предприятия к потребителям на основе экономического анализа.

### Методы

В некоторых исследованиях обсуждалось оптимальное расположение транспортных систем с различных точек зрения, таких как затрачиваемое время на продолжительность цикла погрузки или разгрузки путем моделирования данных циклов с учетом длины транспортировки, и решалась проблема расположения погрузочно-разгрузочных узлов за счет минимизации затрат на перевозку и с учетом экологических соображений. Эвристические методы и методы исследования эксплуатации являются хорошими инструментами для поиска оптимального плана транспортной системы [21]. В них решаются задачи динамического определения местоположения объекта и проблема транспортировки [22]. Ввиду того, что эвристические методы при решении поставленной задачи используют неполные исходные данные и предполагают достижение цели в условиях отсутствия четкой программы управления процессом решения задачи, от этой методики решили отказаться.

Реализация методики выбора системы доставки полезных ископаемых на основе экономического анализа показана на рис. 1 и включает несколько последовательных этапов [23, 24].

На этапе 1 осуществляется выбор периода анализа вариантов.

Сравнивать можно только альтернативные варианты с одинаковым сроком капиталовложений. Если выполнять сравнение проектов с краткосрочными и долгосрочными капиталовложениями, экономический анализ не будет достоверным. Анализ также может быть дополнен сравнением расходов и доходов сверх нормативного срока планирования, но опять же для всех альтернативных вари-

антов на один и тот же срок. Период может быть выбран как период планирования (реализации) проекта с наибольшим сроком службы. При этом необходим подсчет вознаграждения отдельных статей капиталовложений и при осуществлении расчета возможностей повторных капиталовложений из проектов с более коротким сроком реализации [25].

На этапе 2 выполняется расчет ежегодных расходов транспортной системы.

При этом капитальные затраты обычно распределяются на эквивалентной ежегодной основе (включая основной капитал и процент накопления) [26] и затем дополняются к постоянным дорожным и эксплуатационным расходам и расходам на поездку, исходя из объема поездок.

Ежегодный расход рассчитывается по формуле

$$GP_{zn} = \phi d_{in} (KЗдс_{z0} + KЗnc_{zn}) + PRЭу_{zn} + PRвн_{zn} + PRЭnc_{zn}, \quad (1)$$

где  $GP_{zn}$  — эквивалентные ежегодные расходы для проекта  $z$  в течение  $n$ -го года при размере процентной ставки  $i$ ;  $KЗдс_{z0}$  — капитальные затраты на новое строительство транспортных коммуникаций, отведение земли, перемещения объектов недвижимости;  $KЗnc_{zn}$  — капитальные затраты на подвижной состав транспорта и погрузочно-выгрузочные устройства станций и портов;  $PRЭу_{zn}$  — постоянные расходы по эксплуатации и управлению новыми транспортными коммуникациями;  $PRвн_{zn}$  — постоянные расходы по временным затратам на перевозки и неудобствам для перевозчиков. Данный вид затрат связан с качеством транспортных коммуникаций, увеличением времени доставки вследствие дорожных заторов и пробок;  $PRЭnc_{zn}$  — постоянные расходы на управление и эксплуатацию подвижного состава видов транспорта и погрузочно-выгрузочных устройств станций и пор-

тов;  $\phi\delta_{in}$  — фактор дисконтирования при размере процентной ставки  $i$  и сроке  $n$ .

Фактор дисконтирования может быть рассчитан по формуле

$$\phi\delta_{in} = \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^{n-1}} \right]. \quad (2)$$

Данный расчет предполагает, что расходы, связанные с владением дорогой, автомобилями, объектами дороги и погрузочно-выгрузочными устройствами, должны рассматриваться как любой другой расход капиталовложений, в отличие от переменных расходов или расходов на транспортную работу. Если какой-либо из вариантов дает явное преимущество, исходя из полученного значительно меньшего количества расходов, то он принимается [27, 28].

Однако зачастую расчет итогового ежегодного расхода может давать практически равные значения расходов или неточные результаты, что приводит к неправильным решениям. Поэтому требуется проведение следующего этапа — расчета соотношения расходов и доходов.

На этапе 3 осуществляется расчет соотношения расходов и доходов по варианту доставки. Расчет выполняется по формуле

$$СДР_{zk} = \frac{\mathcal{EГД}_{zn} - \mathcal{EГД}_{kn}}{ГР_{zn} - ГР_{kn}}, \quad (3)$$

где  $СДР_{zk}$  — соотношение дохода и расхода проекта  $z$  в сравнении с проектом  $k$ , использующим ежегодные расходы и доходы для  $n$ -го года и размера процента накопления  $i$ ;  $\mathcal{EГД}_{zn}$ ,  $\mathcal{EГД}_{kn}$  — эквивалентные ежегодные доходы для проекта  $z$  в сравнении с проектом  $k$  для  $n$ -го года и размера процента накопления  $i$ ;  $ГР_{zn}$ ,  $ГР_{kn}$  — эквивалентные ежегодные расходы для проекта  $z$  в сравнении с проектом  $k$  в течение  $n$ -го года при размере скидки  $i$ .

Эквивалентные ежегодные доходы складываются из оценки прибыли от сокращения времени перевозки, потерь при транспортировке полезных ископаемых, экономии горючего и денежных средств при пользовании собственными путями сообщения и погрузочно-разгрузочными устройствами.

Для определения экономической целесообразности проектов соотношение доходов и расходов сначала рассчитывается для более дешевого проекта, а затем — для альтернативного проекта с большей стоимостью.

Соотношение доходов и расходов не проводится в случае, когда приоритетную роль играет решение по проектированию, а не экономический анализ. Часто соотношение дохода и расхода имеет небольшую относительную величину и ее тяжело оценить, например, различие между вариантами с соотношением дохода и расхода 1,05 и 1,10 невелико и явно не показывает преимуществ варианта в отличие от абсолютных значений прибыли или чистого дисконтированного дохода.

На этапе 4 выполняется расчет размера прибыли [29 — 31].

При эквивалентных доходах и расходах по вариантам проектов расчет прибыли  $r$  для варианта доставки  $z$  проводится исходя из размера скидки, которая будет удовлетворять равенству

$$[ГР_{zn}]_r = [\mathcal{EГД}_{zn}]_r, \quad (4)$$

$$\begin{aligned} ГР_{zn} &= \phi\delta_{in}(KЗ\delta_{c_{z0}} + KЗnc_{zn}) + \\ &+ ПРЭу_{zn} + ПРВн_{zn} + ПРЭnc_{zn} = \\ &= \mathcal{EГД}_{zn}. \end{aligned} \quad (5)$$

При уменьшении доходов и расходов определение размера прибыли  $r$  для варианта доставки  $z$  проводится исходя из размера скидки, при которой существующая величина всех ожидаемых расходов как раз равна существующей величине всех ожидаемых доходов и является

размером процента накоплений, который удовлетворяет следующему уравнению:

$$\sum_{t=0}^n \alpha_{rt} (KЗдс_{zt} + KЗnc_{zt} + ПРэу_{zt} + ПРвн_{zt} + ПРэnc_{zt}) = \sum_{t=0}^n \alpha_{rt} (ЭГД_{zt}), \quad (6)$$

где  $\alpha_{rt}$  — коэффициент дисконтирования;  $n$  — период анализа или срок планирования.

Коэффициент дисконтирования рассчитывается по формуле [32, 33]

$$\alpha_{rt} = \frac{1}{(1+i)^n}. \quad (7)$$

На этапе 5 производится расчет чистого дисконтированного дохода.

Расчет чистого дисконтированного дохода производится путем приведения будущих расходов и доходов к существующим и их суммирования [34]:

$$NPV_i = \sum_{t=0}^n \alpha_{rt} (ЭГД_{zt}) - \sum_{t=0}^n \alpha_{rt} (KЗдс_{zt} + KЗnc_{zt} + ПРэу_{zt} + ПРвн_{zt} + ПРэnc_{zt}). \quad (8)$$

Использование данного показателя позволяет отдать предпочтение проекту с наиболее высоким чистым дисконтированным доходом.

Как видно из рис. 1, расчет можно остановить на любом из этапов 2–5. Это вызвано тем, что при наличии альтернативного варианта, имеющего значительное преимущество перед другими по показателям годового расхода, соотношения расходов и доходов по варианту доставки, размера прибыли или чистого дисконтированного дохода, можно принимать его в качестве основного.

## Результаты

Обоснование вариантов транспортировки с использованием данной методики подтверждается проведенными расчетами. Некоторые выкладки из них приводятся далее.

Задача состоит в обосновании использования одного из трех альтернативных вариантов системы доставки полезных ископаемых долгосрочного инвестиционного проекта со сроком окупаемости 20 лет с применением анализа экономи-

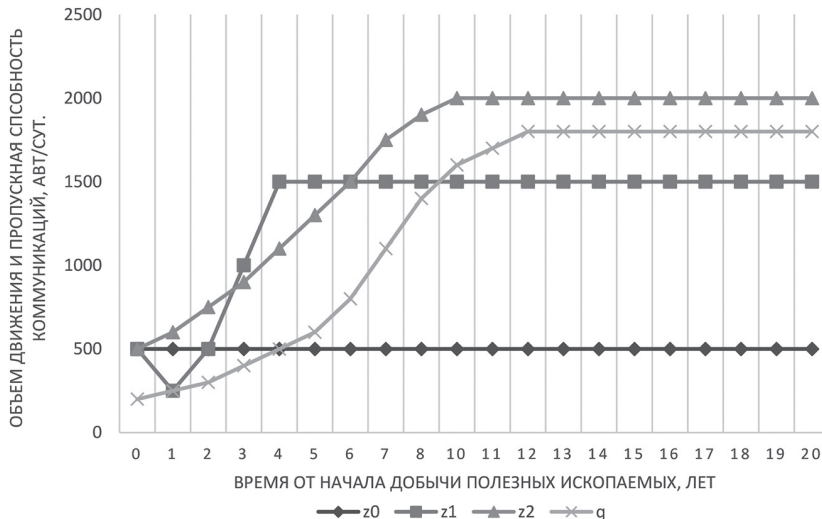


Рис. 2. Объемы движения и пропускная способность коммуникаций по вариантам системы доставки полезных ископаемых

Fig. 2. Traffic volumes and communication capacity of utilities by mineral delivery system option

Расчеты по этапам в 20-летний период, млн руб. (выбранный вариант выделен серым цветом)  
 Calculations by stages in the 20-year period, million rubles (the selected option is highlighted in grey)

Показатели	Низкостоимостные системы						Высокостоимостные системы					
	4%			8%			4%			8%		
	$z_0$	$z_1$	$z_2$	$z_0$	$z_1$	$z_2$	$z_0$	$z_1$	$z_2$	$z_0$	$z_1$	$z_2$
<b>Расчет ежегодных расходов</b>												
Годовые расходы на систему, млн руб.	391,7	282,9	418,4	371,9	277,6	397,5	371,7	286,9	429,4	371,9	284,6	416,4
<b>Расчет соотношения расходов и доходов</b>												
Соотношения	1,03	1,05	1,04	1,03	1,04	1,03	1,03	1,04	1,01	1,03	1,02	0,981
Отношения приростов	0,951	1	1,012	0,971	1	0,987	0,987	1	0,962	1,049	1	0,961
Выбранный вариант			$z_2$		$z_1$			$z_1$		$z_0$		
<b>Расчет нормы прибыли</b>												
Общая норма прибыли, %	$r_0 > 50$	$r_1 = 25$	$r_2 = 15$	$r_0 > 50$	$r_1 = 25$	$r_2 = 15$	$r_0 > 50$	$r_1 = 11,5$	$r_2 = 5,8$	$r_0 > 50$	$r_1 = 11,5$	$r_2 = 5,8$
Прирост нормы прибыли	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-
<b>Расчет чистого дисконтированного дохода</b>												
Всего расходов, млн руб.	7754	5600	8281	4434	3310	4740	7754	5678	8500	4434	3394	4965
Всего суммарные доходы, млн руб.	7957	5908	8622	4549	3457	4869	7957	5908	8622	4549	3457	4869
Чистый дисконтированный доход варианта, млн руб.	203	308	341	114	147	129	203	230	122	115	63	-96



ческой эффективности со следующими пропускными способностями:  $z_0$  — использование существующих путей сообщения и погрузочно-разгрузочных устройств и приспособление к ним;  $z_1$  — усовершенствование (реконструкция) существующих путей сообщения и погрузочно-разгрузочных устройств для частичного удовлетворения требований перевозки;  $z_2$  — строительство дополнительных путей сообщения и погрузочно-разгрузочных устройств для полного удовлетворения требований перевозки.

Представляется, что для данного проекта объема материального (транспортного) потока  $q$  по транспортным коммуникациям будут возрастать в течение всего срока окупаемости по предложенной зависимости. При этом для каждого из альтернативных вариантов значение пропускной способности транспортных коммуникаций будет большим по отношению к предыдущему [35], как показано на рис. 2.

Расчеты по этапам методики в зависимости от размера процентной ставки и вариантов системы доставки полезных ископаемых в течение двадцатилетнего периода приведены в таблице.

### **Обсуждение результатов**

На основании полученных научных и практических результатов предложенной методики авторами сделаны следующие выводы.

1. Анализ результатов расчетов по этапам методики, приведенный в таблице, показывает, что расчет чистого дисконтированного дохода предлагает четкий ответ на вопрос о доходности варианта системы доставки полезных ископаемых из нескольких альтернатив, однако расчет ежегодных расходов уже на втором этапе практически сразу предлагает достаточно верный вариант.

2. При низкой ставке в низкостоимостных системах доставки и при высокой

ставке в высокостоимостных системах методика показывает недостаточную точность.

3. Расчет соотношения расходов и доходов, проводимый на третьем этапе, показывает достаточную сходимост с расчетами чистого дисконтированного дохода варианта. Это же можно сказать и о расчетах нормы прибыли для различных вариантов системы доставки полезных ископаемых.

4. Приведенная методика показывает достаточно хорошие результаты. Для получения более точных результатов целесообразно проводить расчеты по всем этапам данной методики, хотя уже на втором этапе можно получить приемлемый результат.

5. Расчеты, проведенные по методике выбора системы доставки полезных ископаемых на основе экономического анализа, позволят однозначно выбрать альтернативный вариант, наименее затратный за плановый период.

### **Заключение**

В результате проведенных авторами исследований разработана методика выбора системы доставки полезных ископаемых в арктических условиях от горнодобывающего предприятия к потребителям на основе экономического анализа. Кроме того, результаты включают:

- апробацию методики на примере горнодобывающего предприятия с выбором наиболее эффективной схемы с периодом окупаемости 20 лет;
- обоснование эффективности предлагаемой методики, позволяющей выбрать альтернативный вариант, наименее затратный за плановый период;
- дальнейшим направлением исследования является увеличение количества статей расходов и доходов в ходе расчетов в соответствии с методикой и включение в нее расходов на сохранение окружающей среды и здоровья населения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколова А. С., Бирюков О. Р., Ермошин Н. А., Вуколов С. А. Анализ особенностей строительства автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты // Неделя науки ИСИ: Материалы всероссийской конференции. — СПб., 2022. — С. 132–135.
2. Lebedev A., Cherepovitsyn A. Waste management during the production drilling stage in the oil and gas sector: a feasibility study // Resources. 2024, vol. 13, no. 2, article 26. DOI: 10.3390/resources13020026.
3. Dmitrieva D., Chanysheva A., Solovyova V. A conceptual model for the sustainable development of the arctic's mineral resources considering current global trends: future scenarios, key actors, and recommendations // Resources. 2023, vol. 12, no. 6, article 63. DOI: 10.3390/resources12060063.
4. Babyr N. V. Topical Themes and New Trends in Mining Industry: Scientometric Analysis and Research Visualization // International Journal of Engineering. 2024, vol. 37, no. 2, pp. 439–451. DOI: 10.5829/ije.2024.37.02b.18.
5. Куприянов В. В., Бондаренко И. С. Обеспечение безопасности железнодорожных перевозок промышленных грузов на горнодобывающих предприятиях // Безопасность труда в промышленности. — 2021. — № 4. — С. 56–62. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-4-56-62.
6. Gabov V. V., Zadkov D. A., Babyr N. V., Xie F. Nonimpact rock pressure regulation with energy recovery into the hydraulic system of the longwall powered support // Eurasian Mining. 2021, vol. 36, no. 2, pp. 55–59. DOI: 10.17580/em.2021.02.12.
7. Хайрутдинов М. М., Каунг П. А., Чжо З. Я., Тюляева Ю. С. Обеспечение экологической безопасности при внедрении ресурсозобновляемых технологий // Безопасность труда в промышленности. — 2022. — № 5. — С. 57–62. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-57-62.
8. Сидоров Д. В., Пономаренко Т. В. Применение цифровых геомеханических двойников для прогнозирования и оценки рисков потери запасов в проектах разработки рудных месторождений // Горная промышленность. — 2022. — № 3. — С. 112–117. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-3-112-117.
9. Kongar-Syuryun C. B., Aleksakhin A. V., Eliseeva E. N. Modern technologies providing a full cycle of geo-resources development // Resources. 2023, vol. 12, no. 4, article 50. DOI: 10.3390/resources12040050.
10. Каунг П. А., Семиникин А. А., Хайрутдинов А. М., Дехтяренко А. А. Вовлечение техногенных отходов в переработку — парадигма ресурсного обеспечения устойчивого развития // Устойчивое развитие горных территорий. — 2023. — Т. 15. — № 2. — С. 385–397. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-2-385-397.
11. Афанасьев А. С., Егошин А. М., Алексеев С. В. Обоснование применения логистического подхода в моделях управления безопасностью дорожного движения / Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: международная научно-практическая конференция IPDME-2018. — СПб., 2018. — 218 с.
12. Кацубин А. В., Ковшов С. В., Ильяшенко И. С., Маринина В. М. Исследование органических составов для снижения аэротехногенной нагрузки от автомобильных дорог угольных разрезов // Безопасность труда в промышленности. — 2020. — № 1. — С. 63–67. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-1-63-67.
13. Makhova L., Haykin M., Glazkova I., Domnina O. Development of mathematical models for trucks and cargo // Infrastructures. 2023, vol. 8, no. 2, article 17. DOI: 10.3390/infrastructures8020017.
14. Talipova L., Grebenyuk E., Ogurtsov G., Ismailov A., Lazarev Y. Perspectives of interactions CAD and GIS systems // Proceedings of STCCE. 2022, vol. 291, pp. 449–464. DOI: 10.1007/978-3-031-14623-7\_39.
15. Еремин Г. М. Разработка и доставка полезных ископаемых на поверхность. — М.: Изд-во «Горная книга», 2010. — 363 с.
16. Пашкевич М. А., Алексеенко А. В., Нуреев Р. Р. Формирование экологического ущерба при складировании сульфидсодержащих отходов обогащения полезных ископаемых // Записки Горного института. — 2023. — Т. 260. — С. 155–167. DOI: 10.31897/PMI.2023.32.
17. Качурин Н. М., Комиссаров М. С., Дианов Ю. Ю. Экологическая логистика транспортирования полезных ископаемых при открытом способе добычи // Безопасность жизнедеятельности. — 2012. — № 12(144). — С. 38–41.
18. Кравец Ю. Д., Джиоев А. З. Ключевые показатели эффективности при осуществлении перевозок различными видами транспорта // Проблемы материально-технического обеспечения Росгвардии в современных условиях и пути их решения. — 2022. — № 1. — С. 143–147.

19. Быкова Е. Н., Хайкин М. М., Шабаева Ю. И., Белобородова М. Д. Развитие методологии экономической оценки земельных участков для добычи и переработки твердых полезных ископаемых // Записки Горного института. — 2023. — Т. 259. — С. 52–67. DOI: 10.31897/PMI.2023.6.

20. Zhukovskiy Y., Batueva D., Buldysko A., Gil B., Starshaya V. Fossil energy in the framework of sustainable development: Analysis of prospects and development of forecast scenarios // Energies. 2021, vol. 14, no. 17, article 5268. DOI: 10.3390/en14175268.

21. Paricheh M., Osanloo M., Rahmanpour M. A heuristic approach for in-pit crusher and conveyor system's time and location problem in large open-pit mining // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 2018, vol. 32, no. 1, pp. 35–55. DOI: 10.1080/17480930.2016.1247206.

22. Afanasyev A., Egoshin A., Alekseev S. Logistics model for selecting road sections of a mining enterprise for equipping them with automated traffic control tools // E3S Web of Conferences. 2021, vol. 326, article 00006. DOI: 10.1051/e3sconf/202132600006.

23. Afanasyev A. S., Egoshin A. M., Alekseev S. V. The choice substantiation method of road construction equipment for mining enterprises // Journal of Physics: Conference Series. 2019, vol. 1399, no. 3, article 33021. DOI: 10.1088/1742-6596/1399/3/033021.

24. Афанасьев А. С., Егошин А. М., Алексеев С. В. Логистическая модель выбора участков дорог добывающего предприятия для оснащения их автоматизированными средствами управления движением / Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2021: Сборник тезисов VIII Международной научно-практической конференции. — СПб.: СПбГУ, 2021. — С. 399–405.

25. Ермошин Н. А., Змеева А. А., Крутько А. С., Бирюков О. Р. Имитационная модель определения сроков и повышения качества проектов строительства / Неделя науки ИСИ. Сборник материалов Всероссийской конференции. Т. 2. — СПб., 2022. — С. 52–54.

26. Litvinenko V. S. Digital economy as a factor in the technological development of the mineral sector // Natural Resources Research. 2020, vol. 29, no. 3, pp. 1521–1541. DOI: 10.1007/s11053-019-09568-4.

27. Вол М., Мартин Б. Анализ транспортных систем. — М.: Транспорт, 1981. — 516 с.

28. Агарков С. А. Научные подходы пространственной организации транспортных коммуникаций хозяйственного освоения энергоресурсов Арктики // Креативная экономика. — 2023. — Т. 17. — № 12. — С. 4867–4898. DOI: 10.18334/ce.17.12.119777.

29. Цевенкова Е. О. Анализ транспортно-логистической инфраструктуры Арктической зоны Российской Федерации / Молодежь, образование и наука XXI века: Материалы научно-практической конференции студентов и аспирантов, посвященной памяти заслуженного деятеля науки РФ, профессора В.С. Соминского. — СПб., 2023. — С. 186–196.

30. Ковальский Е. Р., Конгар-Сюрюн Ч. Б., Петров Д. Н. Проблемы и перспективы внедрения многостадийной выемки руды при отработке запасов калийных месторождений // Устойчивое развитие горных территорий. — 2023. — Т. 15. — № 2. — С. 349–364. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-2-349-364.

31. Фрейдман О. А. Подходы к обоснованию экономической эффективности интеграции транспортно-логистических компаний / Логистика — евразийский мост: материалы 12-й Международной научно-практической конференции. Ч. 1. — Красноярск, 2017. — С. 248–253.

32. Бабенков А. В., Вологодин Р. О. Экономико-математическая модель процесса доставки материальных средств автомобильным транспортом // Транспорт России: проблемы и перспективы. — 2018. — № 1. — С. 193–197.

33. Воронов Д. С., Раменская Л. А. Оценка стоимости капитала и ставки дисконтирования на базе российской финансовой статистики // Journal of New Economy. — 2023. — Т. 24. — № 1. — С. 50–80. DOI: 10.29141/2658-5081-2023-24-1-3.

34. Бухонова С. М., Кафтан Е. С., Климашевский К. А. Определение коэффициента дисконтирования в российских условиях, параметры ставки дисконтирования // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2013. — № 4. — С. 116–119.

35. Волкова А. А., Никитин Ю. А., Сербя Е. С. Методы и модели, используемые при принятии логистических решений в Арктической зоне Российской Федерации / Инновационный потенциал цифровой экономики: состояние и направления развития: сборник научных статей 2-й Международной научно-практической конференции. — Курск, 2022. — С. 93–98. **PLAB**

## REFERENCES

1. Sokolova A. S., Biryukov O. R., Ermoshin N. A., Vukolov S. A. Analysis of the features of the construction of highways in permafrost areas. *Nedelya nauki ISI: Materialy vsrossiyskoy konferentsii* [ISI Science Week. Materials of the All-Russian conference], Saint-Petersburg, 2022, pp. 132 – 135. [In Russ].
2. Lebedev A., Cherepovitsyn A. Waste management during the production drilling stage in the oil and gas sector: a feasibility study. *Resources*. 2024, vol. 13, no. 2, article 26. DOI: 10.3390/resources13020026.
3. Dmitrieva D., Chanysheva A., Solovyova V. A conceptual model for the sustainable development of the arctic's mineral resources considering current global trends: future scenarios, key actors, and recommendations. *Resources*. 2023, vol. 12, no. 6, article 63. DOI: 10.3390/resources12060063.
4. Babyr N. V. Topical Themes and New Trends in Mining Industry: Scientometric Analysis and Research Visualization. *International Journal of Engineering*. 2024, vol. 37, no. 2, pp. 439 – 451. DOI: 10.5829/ije.2024.37.02b.18.
5. Kupriyanov V. V., Bondarenko I. S. Ensuring the safety of railway transportation of industrial goods at mining enterprises. *Occupational Safety in Industry*. 2021, no. 4, pp. 56 – 62. [In Russ]. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-4-56-62.
6. Gabov V. V., Zadkov D. A., Babyr N. V., Xie F. Nonimpact rock pressure regulation with energy recovery into the hydraulic system of the longwall powered support. *Eurasian Mining*. 2021, vol. 36, no. 2, pp. 55 – 59. DOI: 10.17580/em.2021.02.12.
7. Khayrutdinov M. M., Kung P. A., Zho Z. Y., Tyulyaeva Y. S. Ensuring environmental safety during the introduction of resource-renewable technologies. *Occupational Safety in Industry*. 2022, no. 5, pp. 57 – 62. [In Russ]. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-5-57-62.
8. Sidorov D. V., Ponomarenko T. V. Application of digital geomechanical twins to predict and assess risks of reserve loss in ore mining projects. *Russian Mining Industry*. 2022, no. 3, pp. 112 – 117. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-3-112-117.
9. Kongar-Syuryun C. B., Aleksakhin A. V., Eliseeva E. N. Modern technologies providing a full cycle of geo-resources development. *Resources*. 2023, vol. 12, no. 4, article 50. DOI: 10.3390/resources12040050.
10. Kaung P. A., Seminikin A. A., Khayrutdinov A. M., Dekhtyarenko A. A. Recycling of industrial waste is a paradigm of resource provision for sustainable development. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023, vol. 15, no. 2, pp. 385 – 397. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-2-385-397.
11. Afanasyev A. S., Egoshin A. M., Alekseev S. V. Substantiation of the application of the logistics approach in road safety management models. *Innovatsii i perspektivy razvitiya gornogo mashinostroeniya i elektromekhaniki: mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [Innovations and prospects for the development of mining engineering and electromechanics: International scientific and practical conference IPDME-2018], Saint-Petersburg, 2018, 218 p. [In Russ].
12. Katsubin A. V., Kovshov S. V., Ilyashenko I. S., Marinina V. M. Study of organic compounds for reduction of the aerotechnogenic load from the coal mines highways. *Occupational Safety in Industry*. 2020, no. 1, pp. 63 – 67. [In Russ]. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-1-63-67.
13. Makhova L., Haykin M., Glazkova I., Domnina O. Development of mathematical models for trucks and cargo. *Infrastructures*. 2023, vol. 8, no. 2, article 17. DOI: 10.3390/infrastructures8020017.
14. Talipova L., Grebenyuk E., Ogurtsov G., Ismailov A., Lazarev Y. Perspectives of interactions CAD and GIS systems. *Proceedings of STCCE*. 2022, vol. 291, pp. 449 – 464. DOI: 10.1007/978-3-031-14623-7\_39.
15. Eremin G. M. *Razrabotka i dostavka poleznykh iskopaemykh na poverkhnost'* [Development and delivery of minerals to the surface], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2010, 363 p.
16. Pashkevich M. A., Alekseenko A. V., Nureev R. R. Environmental damage from the storage of sulfide ore tailings. *Journal of Mining Institute*. 2023, vol. 260, pp. 155 – 167. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2023.32.
17. Kachurin N. M., Komissarov M. S., Dianov Y. Y. Ecological logistics of transportation of minerals with an open mining method. *Life safety*. 2012, no. 12(144), pp. 38 – 41. [In Russ].
18. Kravets Yu. D., Dzhiyev A. Z. Key performance indicators in the implementation of transportation by various modes of transport. *Problems of material and technical support of the Russian Guard in modern conditions and ways to solve them*. 2022, no. 1, pp. 143 – 147. [In Russ].

19. Bykova E. N., Khaykin M. Shabaeva Yu. I., Beloborodova M. D. Development of methodology for economic evaluation of land plots for the extraction and processing of solid minerals. *Journal of Mining Institute*. 2023, vol. 259, pp. 52 – 67. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2023.6.
20. Zhukovskiy Y., Batueva D., Buldysko A., Gil B., Starshaya V. Fossil energy in the framework of sustainable development: Analysis of prospects and development of forecast scenarios. *Energies*. 2021, vol. 14, no. 17, article 5268. DOI: 10.3390/en14175268.
21. Paricheh M., Osanloo M., Rahmanpour M. A heuristic approach for in-pit crusher and conveyor system's time and location problem in large open-pit mining. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2018, vol. 32, no. 1, pp. 35 – 55. DOI: 10.1080/17480930.2016.1247206.
22. Afanasyev A., Egoshin A., Alekseev S. Logistics model for selecting road sections of a mining enterprise for equipping them with automated traffic control tools. *E3S Web of Conferences*. 2021, vol. 326, article 00006. DOI: 10.1051/e3sconf/202132600006.
23. Afanasyev A. S., Egoshin A. M., Alekseev S. V. The choice substantiation method of road construction equipment for mining enterprises. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019, vol. 1399, no. 3, article 33021. DOI: 10.1088/1742-6596/1399/3/033021.
24. Afanasiev A. S., Egoshin A. M., Alekseev S. V. Logistic model of selecting road sections of mining enterprise for equipping them with automated traffic control devices. *Innovatsii i perspektivy razvitiya gornogo mashinostroeniya i elektromekhaniki: IPDME-2021: Sbornik tezisev VIII Mezhdu-narodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Innovations and prospects of mining engineering and electromechanics IPDME-2021: Collection of abstracts of VIII International Scientific and Practical Conference], Saint-Petersburg: SPbGU, 2021, pp. 399 – 405. [In Russ].
25. Ermoshin N. A., Zmeeva A. A., Krutko A. S., Biryukov O. R. Simulation model for determining the timing and improving the quality of construction projects. *Nedelya nauki ISI. Sbornik materialov Vserossiyskoy konferentsii*, t. 2 [ISI Science Week. Collection of materials of the All-Russian Conference, vol. 2], Saint-Petersburg, 2022, pp. 52 – 54. [In Russ].
26. Litvinenko V. S. Digital economy as a factor in the technological development of the mineral sector. *Natural Resources Research*. 2020, vol. 29, no. 3, pp. 1521 – 1541. DOI: 10.1007/s11053-019-09568-4.
27. Vol M., Martin B. *Analiz transportnykh sistem* [Analysis of transport systems], Moscow, Transport Анализ транспортных систем. М.: Транспорт, 1981, 516 p.
28. Agarkov S. A. Scientific approaches to the spatial organisation of transport communications of the economic development of energy resources of the Arctic. *Creative Economy*. 2023, vol. 17, no. 12, pp. 4867 – 4898. [In Russ]. DOI: 10.18334/ce.17.12.119777.
29. Tsevenkova E. O. Analysis of transport and logistics infrastructure of the Arctic zone of the Russian Federation. *Molodezh', obrazovanie i nauka XXI veka: Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov i aspirantov, posvyashchennoy pamyati zaslužhennogo deyatelya nauki RF, professora V.S. Sominskogo* [Youth, Education and Science of the XXI century: Proceedings of the scientific and practical conference of students and postgraduates, dedicated to the memory of the Honoured Scientist of the Russian Federation, Professor V. S. Sominsky], Saint-Petersburg, 2023, pp. 186 – 196. [In Russ].
30. Kovalski E. R., Kongar-Syuryun C. B., Petrov D. N. Challenges and prospects for several-stage stoping in potash mining. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2023, vol. 15, no. 2, pp. 349 – 364. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-2-349-364.
31. Freidman O. A. Approaches to substantiate the economic efficiency of integration of transport and logistics companies. *Logistika – evraziyskiy most: materialy 12-y Mezhdu-narodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, ch. 1 [Logistics – Eurasian Bridge: Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference, part 1], Krasnoyarsk, 2017, pp. 248 – 253. [In Russ].
32. Babenkov A. V., Vologodin R. O. Economic and mathematical model of the process of material means delivery by road. *Transport of Russia: Problems and Prospects*. 2018, no. 1, pp. 193 – 197. [In Russ].
33. Voronov D., Ramenskaya L. Evaluation of the cost of capital and the discount rate based on the Russian financial statistics. *Journal of New Economy*. 2023, vol. 24, no. 1, pp. 50 – 80. DOI: 10.29141/2658-5081-2023-24-1-3.
34. Bukhonova S. M., Kaftan E. S., Klimashevsky K. A. Determination of the discount factor in Russian conditions, parameters of the discount rate. *Bulletin of Belgorod State Technological University named after. V. G. Shukhov*. 2013, no. 4, pp. 116 – 119. [In Russ].

35. Volkova A. A., Nikitin Y. S. Methods and models used in making logistics decisions in the Arctic zone of the Russian Federation. *Innovatsionnyy potentsial tsifrovoy ekonomiki: sostoyanie i napravleniya razvitiya: sbornik nauchnykh statey 2-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Innovation potential of digital economy: state and directions of development: collection of scientific articles of the 2nd International Scientific and Practical Conference], Kursk, 2022, pp. 93–98. [In Russ].

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Егошин Алексей Михайлович* — д-р техн. наук, профессор, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, e-mail: al-ego@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-2025-2590,  
*Афанасьев Александр Сергеевич* — канд. воен. наук, профессор, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, e-mail: A.S.Afanasev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0272-2387,  
*Алексеев Сергей Викторович* — канд. техн. наук, доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, e-mail: alekseev.sv1@spbstu.ru, ORCID ID: 0000-0001-8632-3852.

**Для контактов:** Афанасьев А.С., e-mail: A.S.Afanasev@mail.ru.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*A.M. Egoshin*, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Saint-Petersburg University of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 196105, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: al-ego@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-2025-2590,  
*A.S. Afanasyev*, Cand. Sci. (Mil.), Professor, Empress Catherine II Saint-Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: A.S.Afanasev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0272-2387,  
*S.V. Alekseev*, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, 195251, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: alekseev.sv1@spbstu.ru, ORCID ID: 0000-0001-8632-3852.

**Corresponding author:** A.S. Afanasyev, e-mail: A.S.Afanasev@mail.ru.

Получена редакцией 10.01.2024; получена после рецензии 05.02.2024; принята к печати 10.05.2024.  
Received by the editors 10.01.2024; received after the review 05.02.2024; accepted for printing 10.05.2024.

