
КӨЛІКТЕГІ ЛОГИСТИКА, ТАСЫМАЛДАУДЫ ҰЙЫМДАСТЫРУ
TRANSPORT LOGISTICS, ORGANIZATION OF TRANSPORTATION
ЛОГИСТИКА НА ТРАНСПОРТЕ, ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК

УДК 669.7:389.18:658.7

DOI 10.52167/1609-1817-2024-133-4-92-103

К.С. Юсупова, Б.Б. Амралинова, С.Е. Бекжанова, Г.С. Муханова
Satbayev University, Алматы, Казахстан
E-mail: s.bekzhanova@satbayev.university

ТРАНСПОРТИРОВКА ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ КОМБИНАТОВ РК

Аннотация. Логистики сбора, переработки и транспортировки вторичного сырья горнодобывающей и перерабатывающей промышленности с последующим использованием в качестве строительных материалов актуальна потребностью в защите окружающей среды, возможностью получения экономической выгоды от коммерческой реализации и их использования. В статье рассмотрены исследования по транспортировке отходов, места расположения горно-металлургических комплексов, методы комбинаторной оптимизации, составлен оптимальный маршрут перевозки автотранспортом.

Ключевые слова. Транспортировка, вторичное сырье, маршруты, горно-металлургическая промышленность, метод коммивояжера, оптимальный путь доставки, опытные исследования.

Введение.

Добывающая и металлургическая отрасли – локомотивы промышленности Центральной Азии, но их деятельность ведет к образованию большого количества отходов [1]. Казахстан обладает самой обширной территорией и разнообразной промышленностью: предприятия нефтяной и нефтехимической промышленности расположены в основном на западе страны, а горнодобывающие, металлургические, химические и энергетические – на севере и востоке.



Рисунок 1 – Вторичное сырье карьера ERG г. Рудный

По словам работников ERG г. Рудный, только в одном порту около 50-60 млн. т строительного камня.

Сегодня уже остро встает вопрос рециклинга горнодобывающих, металлургических, нефтедобывающих отходов. Для эффективного повторного использования необходимо исследовать возможность их применения, после переработки, в различных отраслях экономики. В Казахстане практически полностью отсутствует испытательная база минерального вторичного сырья в отличие от многих стран. В то же время вторичное сырье (хвосты) горно-металлургических комплексов в РК имеют запасы в сотни миллионов тонн отходов. Учеными Satbayev University проводятся исследования о возможности использования вторичного сырья в строительстве.

При выработке стратегии реверсивной логистики необходимо рассмотреть и вопросы оптимизации доставки вторичного сырья горнодобывающей и перерабатывающей промышленности.

При рассмотрении перевозки вторичного сырья, на первом этапе будем рассматривать автомобильный транспорт из-за небольшого объема перевозок, для проведения опытных испытаний. Но в перспективе необходимо будет рассмотреть перевозки вторичного сырья железнодорожным транспортом, возможно маршрутные перевозки.

В конечной стоимости продукции затраты на перевозки занимают значительную часть и являются главным звеном управления логистических систем переработки вторичного сырья. В работе [2] авторы поддерживают, что благодаря анализу транспортировки, стратегическому и оперативному, ряду компаний удалось сократить транспортные расходы на 10-15 %. В то же время транспортировка вторичного сырья является важной частью системы управления отходами. Таким образом, несмотря на всеобщее понимание необходимости снижения транспортных расходов, актуальной остается проблема поиска оптимальных путей ее решения. Один из таких путей – совершенствование методологии, моделей и методов управления транспортировкой [3].

Исследования по транспортировке отходов, в основном, посвящены перевозке бытовых отходов, планированию сети для транспортировки отходов, но не рассматриваются вопросы доставки вторичного сырья горнодобывающей и перерабатывающей промышленности. В работе [4] рассматривались вопросы снижения затрат на транспортировку отходов, оптимизации внешних экологических и социальных факторов. Правильное планирование транспортной сети может сократить выбросы углерода при транспортировке отходов и повысить эффективность перевозок [5]. Ряд исследователей [6] разработали оптимизационный метод для планирования сети отходов, который объединяет логистику, производство и транспортировку, и модель способна решать как тактические, так и оперативные проблемы принятия решений при планировании транспортировки отходов. В работе [7] представлена модель смешанного целочисленного линейного программирования для транспортировки инфекционных медицинских отходов с учетом общего времени транспортировки и минимизации рисков. В статье [8] предложена интегрированная подземная логистическая система для сбора и транспортировки отходов, которая характеризуется как оптимальное решение по маршрутизации с распределением мест и минимизацией затрат. По итогам исследований авторами построена модель транспортного планирования с временным окном для сбора электронных отходов на основе интегрированного сценария для заявок «по вызову» и «от двери до двери» [9]. В работе [10] рассмотрена целесообразность использования электромобилей для транспортировки отходов с целью снижения загрязнения окружающей среды и транспортных расходов.

Вопросы транспорта и логистики исследованы в различных источниках в зависимости от критерия оптимальности, информационной обеспеченности системы, методов моделирования, реализации проектов [11-15].

Материалы и методы.

На первом этапе планируется доставка отходов из 9 регионов страны в испытательную лабораторию, расположенную на территории Satbayev University (рис.2 - 10).

1. *Риддер (Долинный рудник)*. Предприятия горнодобывающей и металлургической промышленности входят в градообразующее предприятие — ТОО «Казцинк». Риддерский ГОК, включает в себя 3 рудника, свинцовый и цинковый заводы, обогатительную фабрику и ремонтно-механический завод.

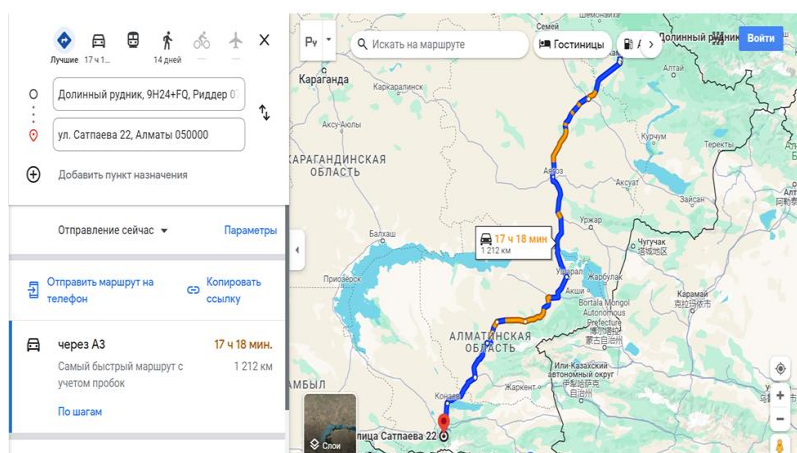


Рисунок 2 - Маршрут Риддер – Алматы, Сатпаева, 22

2. *Жайрем*. Месторождение «Жайрем» относится к одному из самых больших залежей полиметаллических руд в Казахстане, имеющее богатые запасы цинково-свинцовых, баритовых, полиметаллических, а также железомарганцевых руд.

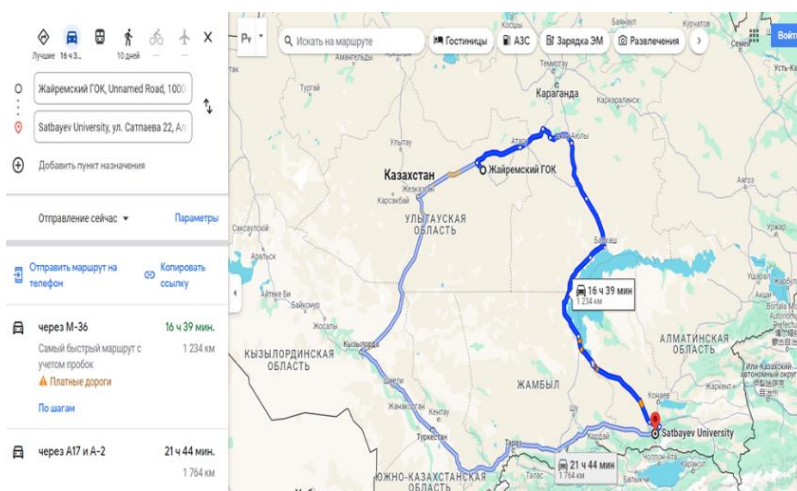


Рисунок 3 - Маршрут Жайрем – Алматы, Сатпаева, 22

3. *Малеевск*. Малеевское месторождение обеспечивает деятельность Зыряновского горно-обогатительного комплекса ТОО «Казцинк».

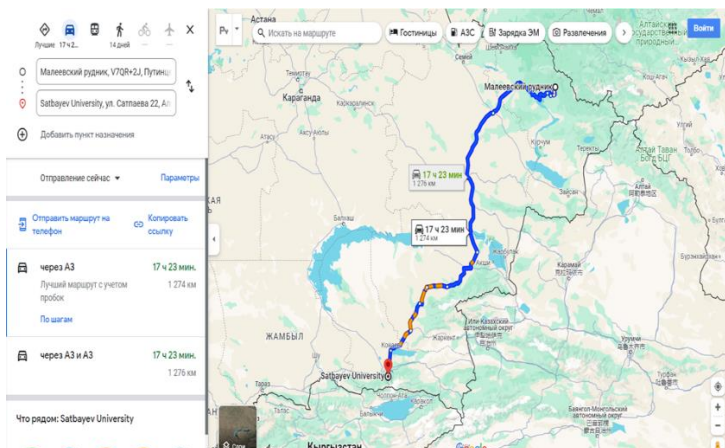


Рисунок 4 - Маршрут Малеевск – Алматы, Сатпаева, 22

4. *Кокшетау*. «Altyntau Kokshetau» является одним из крупных месторождений золота в Казахстане, переработка который производится на горно-обогатительной фабрике.

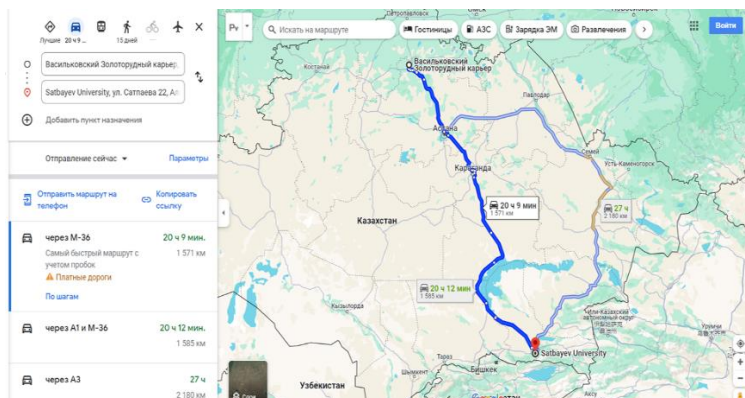


Рисунок 5 - Маршрут Кокшетау – Алматы, Сатпаева, 22

5. В Усть-Каменогорске расположены три подземных рудника с высоким содержанием полиметаллов.

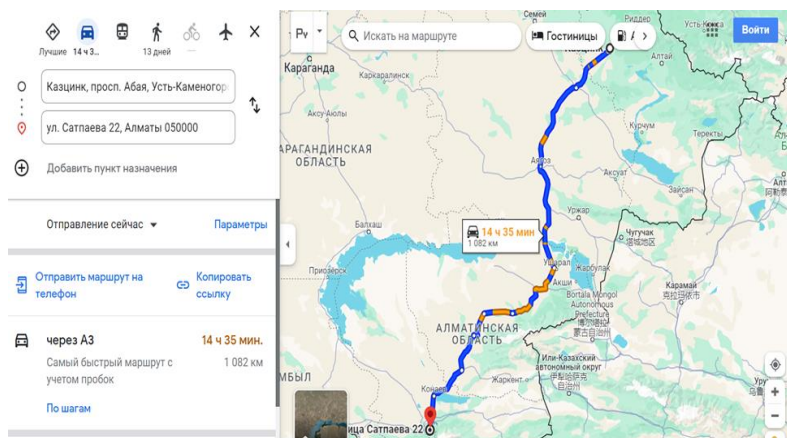


Рисунок 6 - Маршрут Усть-Каменогорск – Алматы, Сатпаева, 22

6. *Темиртау* является крупным промышленным и индустриальным центром Республики Казахстан.

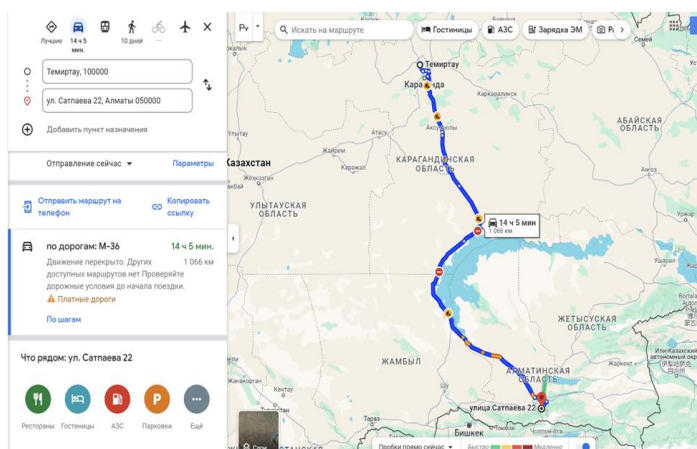


Рисунок 7 - Маршрут Темиртау – Алматы, Сатпаева, 22

7. *Актогай*. В Актогайском районе расположены две обогатительные фабрики по переработке сульфидной руды составляет.

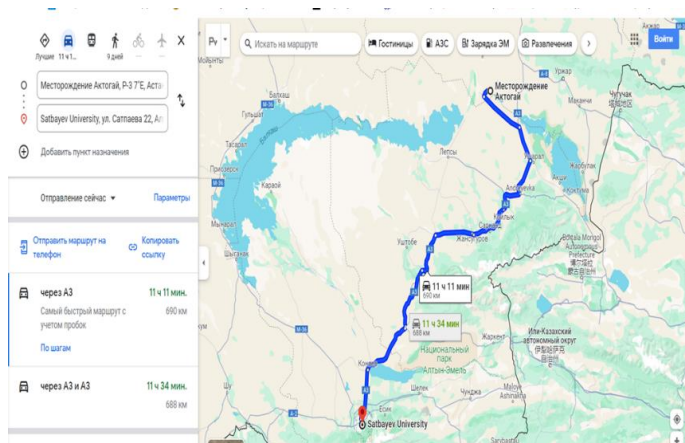


Рисунок 8 - Маршрут Актогай – Алматы, Сатпаева, 22

8. В Бозымчаке производится медь со средним содержанием 0.66% и имеются запасы золота.

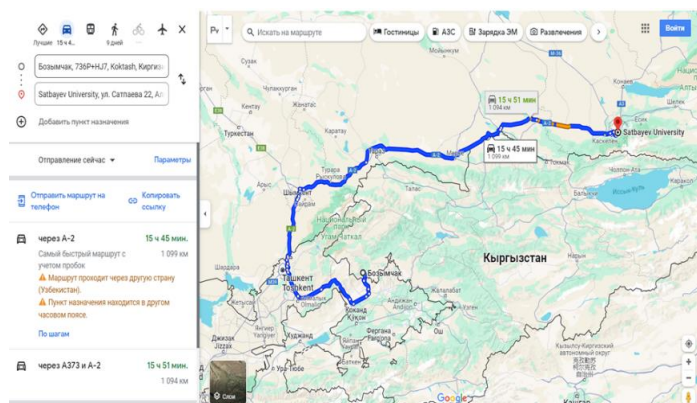


Рисунок 9 - Маршрут Бозымчак – Алматы, Сатпаева, 22

9. Бозшаколь является одним из известных месторождений руды.

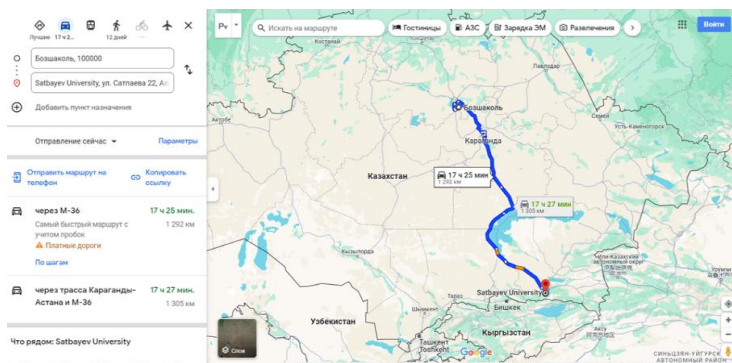


Рисунок 10 - Маршрут Бозшаколь – Алматы, Сатпаева, 22

С целью определения оптимального маршрута доставки вторичного сырья для экспериментальных исследований были рассмотрены методы комбинаторной оптимизации.

Одна из самых известных и важных задач транспортной логистики (и комбинаторной оптимизации) – задача коммивояжера (англ. «Travelling Salesman Problem», TSP). Также встречается название «задача китайского почтальона» (англ. «Chinese Postman Problem», CPP). Суть задачи сводится к поиску оптимального (кратчайшего, быстреешего или самого дешевого) пути, проходящего через промежуточные пункты по одному разу и возвращающегося в исходную точку [16].

Для нахождения оптимального варианта задача коммивояжера представлена как математическая модель. В табл. 1 представлены реальные значения расстояний. Исходные данные записаны в формате матрицы — таблицы (табл.2), где строкам соответствуют города отправления, столбцам — города сбора вторичного сырья, в ячейках, расположенных на пересечениях строк и столбцов, указано округленное расстояние между соответствующими городами. Города, для удобства расчета, обозначены латинскими буквами.

Методы решения задачи коммивояжера разнообразны и зависят от применяемых инструментов, точности определения и сложности вычислений:

- *полный перебор* (метод «грубой силы», англ. «Brute Force») необходимо последовательно рассмотреть все возможные маршруты и выбрать оптимальный;
- при *случайном переборе* определяются лишь некоторые выбранные в случайном порядке, например, на усмотрение исследователя, или генерации случайных данных, возможные варианты маршрута;
- при *динамическом программировании* вычисляются и записываются пройденные расстояния от исходной точки до всех остальных, затем суммируются к нему расстояния от текущих пунктов до оставшихся, и так далее;
- *жадные алгоритмы* (англ. «Greedy») построены таким образом, что на каждой итерации выбирается лучший участок пути, который включается в итоговый маршрут;

Для нахождения оптимального пути применяются различные инструменты: алгоритм Прима, алгоритм Краскала, алгоритм Борувки; метод Монте-Карло;

метод эластичной сети; муравьиный алгоритм; генетический алгоритм; метод ветвей и границ.

Определение оптимальных маршрутов перевозки состоит из нескольких этапов. На первом этапе определены 2 кольцевых маршрутов. Для каждого кольцевого маршрута определен порядок объезда пунктов возрождения вторичного сырья. Задача относится к типу дискретного программирования. Для определения оптимальных маршрутов транспортировки вторичного сырья применен метод коммивояжера. Задача была решена в среде Microsoft Excel.

Таблица 1 – Реальные расстояния между пунктами отправления и сбора вторичного сырья

	Риддер	Жайрем	Малеевск	Кокшетау	Усть-Каменогорск	Темиртау	Балхаш	Актогай	Бозшаколь	Алматы
Риддер	0	1380	317.7	1320.3	127.8	970	1334	582.5	811.1	1205.5
Жайрем	1380	0	1488	783	1228.5	380.1	522.1	1172.1	448	1149.7
Малеевск	317.7	1488	0	1426.4	188.8	1079	1511.2	640.9	918.3	1263.9
Кокшетау	1320.3	783	1426.4	0	1241.6	493.2	913.8	1300.4	536	1541.2
Усть-Каменогорск	127.8	1228.5	188.8	1241.6	0	892	1324.3	458.1	732.4	1081.7
Темиртау	970	380.1	1079	493.2	892	0	426	834.2	307	1053.5
Балхаш	1334	522.1	1511.2	913.5	1324.3	426	0	1213.1	651	637.7
Актогай	582.5	1172.1	640.9	1300.4	458.1	834.2	1213.1	0	990.8	688.4
Бозшаколь	811.1	448	918.3	536	732.4	307	651	990.8	0	1292.1
Алматы	1205.5	1149.7	1263.9	1541.2	1081.7	1053.5	637.7	688.4	1292.1	0

Таблица 2 – Матрица для определения оптимального маршрута

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Риддер	Жайрем	Малеевка	Кокшетау	Усть-Каменогорск	Темиртау	Балхаш	Актогай	Бозшаколь	Алматы
A	Риддер	М	1380	317	1320	127	1334	582	811	1205
B	Жайрем	1380	М	1488	783	1228	522	1172	448	1149
C	Малеевка	317	1488	М	1426	188	1511	640	918	1263
D	Кокшетау	1320	783	1426	М	1241	913	1300	536	1541
E	Усть-Каменогорск	127	1228	1241	М	892	1324	458	732	1081
F	Темиртау	970	380	1079	892	М	426	834	307	1053
G	Балхаш	1334	522	1511	1324	426	М	1213	651	637
H	Актогай	582	1172	640	458	834	1213	М	990	688
I	Бозшаколь	811	448	918	732	307	651	990	М	1291
J	Алматы	1205	1149	1263	1081	1053	637	688	1292	М

Результаты и обсуждение.

Определение оптимальных маршрутов перевозки состоял из нескольких этапов. На первом этапе были определены 2 кольцевых маршрутов. Для каждого кольцевого маршрута необходимо было определить порядок объезда пунктов возрождения отходов. Задача относится к типу дискретного программирования. Для определения оптимальных маршрутов транспортировки отходов был применен метод коммивояжера, являющийся одним из разновидностей метода «ветвей и границ». Задача была решена в среде Microsoft Excel. В результате были получены оптимальные маршруты транспортировки грузов.

1. Если мы начнем с А, то путь будет

$A \rightarrow E=127, E \rightarrow C=188, C \rightarrow H=640, H \rightarrow J=688, J \rightarrow G=637, G \rightarrow F=426, F \rightarrow I=307, I \rightarrow B=448, B \rightarrow D=783, D \rightarrow A=1320$ км общее расстояние = 5564 км

2. Если мы начнем с В, то путь будет,

$B \rightarrow F=380, F \rightarrow I=307, I \rightarrow D=536, D \rightarrow G=913, G \rightarrow J=637, J \rightarrow H=688, H \rightarrow E=458, E \rightarrow A=127, A \rightarrow C=317, C \rightarrow B=1488$ км общее расстояние = 5851 км

3. Если мы начнем с С, то путь будет,

$C \rightarrow E=188, E \rightarrow A=127, A \rightarrow H=582, H \rightarrow J=688, J \rightarrow G=637, G \rightarrow F=426, F \rightarrow I=307, I \rightarrow B=448, B \rightarrow D=783, D \rightarrow C=1426$ км общее расстояние = 5612 км

4. Если мы начнем с D, то путь будет,

$D \rightarrow F=493, F \rightarrow I=307, I \rightarrow B=448, B \rightarrow G=522, G \rightarrow J=637, J \rightarrow H=688, H \rightarrow E=458, E \rightarrow A=127, A \rightarrow C=317, C \rightarrow D=1426$ км общее расстояние = 5423 км

5. Если мы начнем с E, то путь будет,

$E \rightarrow A=127, A \rightarrow C=317, C \rightarrow H=640, H \rightarrow J=688, J \rightarrow G=637, G \rightarrow F=426, F \rightarrow I=307, I \rightarrow B=448, B \rightarrow D=783, D \rightarrow E=1241$ км общее расстояние = 5614 км

6. Если мы начнем с F, то путь будет,

$F \rightarrow I=307, I \rightarrow B=448, B \rightarrow G=522, G \rightarrow J=637, J \rightarrow H=688, H \rightarrow E=458, E \rightarrow A=127, A \rightarrow C=317, C \rightarrow D=1426, D \rightarrow F=493$ км общее расстояние = 5423 км

7. Если мы начнем с G, то путь будет,

$G \rightarrow F=426, F \rightarrow I=307, I \rightarrow B=448, B \rightarrow D=783, D \rightarrow E=1241, E \rightarrow A=127, A \rightarrow C=317, C \rightarrow H=640, H \rightarrow J=688, J \rightarrow G=637$ км общее расстояние = 5614 км

8. Если мы начнем с H, то путь будет,

$H \rightarrow E=458, E \rightarrow A=127, A \rightarrow C=317, C \rightarrow I=918, I \rightarrow F=307, F \rightarrow B=380, B \rightarrow G=522, G \rightarrow J=637, J \rightarrow D=1541, D \rightarrow H=1300$ км общее расстояние = 6507 км

9. Если мы начнем с I, то путь будет,

$I \rightarrow F=307, F \rightarrow B=380, B \rightarrow G=522, G \rightarrow J=637, J \rightarrow H=688, H \rightarrow E=458, E \rightarrow A=127, A \rightarrow C=317, C \rightarrow D=1426, D \rightarrow I=536$ км общее расстояние = 5398 км

10. Если мы начнем с J, то путь будет,

$J \rightarrow G=637, G \rightarrow F=426, F \rightarrow I=307, I \rightarrow B=448, B \rightarrow D=783, D \rightarrow E=1241, E \rightarrow A=127, A \rightarrow C=317, C \rightarrow H=640, H \rightarrow J=688$ км общее расстояние = 5614 км

Решение: отправная точка J:

1st route $J \rightarrow C=1263, C \rightarrow E=188, E \rightarrow A=127, A \rightarrow H=582, H \rightarrow J=688$.

Итого =2848 км

2nd route $J \rightarrow G=637, G \rightarrow F=426, F \rightarrow I=307, I \rightarrow B=448, B \rightarrow J=1149$.

Итого =2967 км

3rd route $J \rightarrow D=1541, D \rightarrow J=1541$. Итого =3082 км

Расчет ведется с учетом порожнего пути от точки J (Алматы)

Заключение.

Объемы вторичного сырья перерабатываются во всех странах. В связи с добывающей направленностью экономики нашего государства, есть возможность использовать не только недра, но и отходы добычи. В статье рассмотрены маршруты

доставки вторичного сырья, определен вид транспорта по транспортировке, как при массовых перевозках, так и при опытных объёмах перевозок, составлен оптимальный маршрут перевозки автотранспортом.

Работа выполнена в рамках программно-целевого финансирования BR21882292-»Интегрированное развитие устойчивой строительной отрасли: инновационные технологии, оптимизация производства, эффективное использование ресурсов и создание технологического парка» при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Региональный обзор и прогноз управления отходами в Центральной Азии/ Программа Организации Объединённых Наций по окружающей среде, 2017, Экологическая сеть «Зой», ISBN: 978-92-807-3667-0, ROE/2128/GE
- [2] Bowersox, D.J., Closs, D.J., 1996. Logistical Management. The Integrated Supply Chain Process. McGraw-Hill Companies, Inc.
- [3] Лукинский В.С., Лукинский В.В. Формирование комплекса методов принятия решений при управлении транспортировкой в цепях поставок (Опубликовано № 6 (65) декабрь 2014 года
- [4] Inghels, D., Dullaert, W., & Vigo, D. (2016). A service network design model for multimodal municipal solid waste transport. *European Journal of Operational Research*, 254, 68e79
- [5] Feng, J. H., Xu, S. X., Xu, G. Y., & Cheng, H. B. (2022). An integrated decision-making method for locating parking centers of recyclable waste transportation vehicles. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 157, Article 102569.
- [6] Mohammadi, M., Jamsa-Jounela, S. L., & Harjunkoski, I. (2019). Optimal planning of municipal solid waste management systems in an integrated supply chain network. *Computers & Chemical Engineering*, 123, 155e169
- [7] Tirkolaee, E. B., Abbasian, P., & Weber, G. W. (2021). Sustainable fuzzy multi-trip location-routing problem for medical waste management during the COVID 19 outbreak. *The Science of the Total Environment*, 756, Article 143607.
- [8] Hu, W. J., Dong, J. J., & Xu, N. (2022). Multi-period planning of integrated underground logistics system network for automated construction-demolition municipal waste collection and parcel delivery: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 330, Article 129760.
- [9] Pourhejazy, P., Zhang, D. L., Zhu, Q. H., Wei, F. F., & Song, S. (2021). Integrated E-waste transportation using capacitated general routing problem with time window. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 145, Article 102169.
- [10] Erdem, M. (2022). Optimisation of sustainable urban recycling waste collection and routing with heterogeneous electric vehicles. *Sustainable Cities and Society*, 80, Article 103785.
- [11] Бекжанова С.Е., Саржанов Т.С., Абзалиева Т.А., Альтаева Ж.Ж. Логистические системы информационного обеспечения как стратегический ресурс транспортного потока. *Промышленный транспорт* №4, 2019. – С.39 – 44.
- [12] С.Е. Бекжанова, Б.М. Исина, Г.В. Муратбекова. Моделирование перевозок с помощью линейного программирования. *Вестник КазАТК* № 4 (115), 2020. С. 109 – 117
- [13] Бекжанова С.Е., Расулов М.Х., Машарипов М.Н., Бозоров Р.Ш. Организация перевозочного процесса и транспортная логистика. »Железнодорожный транспорт: актуальные задачи и инновации» – Ташкентский государственный транспортный университет №2, 2021. С. 5 – 23

[14] Shaldarbekov, Kairat, MukhanovaGulmira et al. 2018. Regional Projects Selection based on Multi-Criteria Evaluation, Journal of Advanced Research in Law and Economics, Volume IX, Fall, 6(36): 2026 –2034. DOI: 10.14505/jarle.v 9.6(36).16.

[15] Shaldarbekov, Kairat B., Mukhanova Gulmira S. et al. 2018. Problems of Regional Industrial Projects Realization, Journal of Advanced Research in Law and Economics, Volume IX, Fall, 6(36): 2119 – 2128. DOI: 10.14505/jarle.v9.6(36).27

[16] Галютдинов Р.Р. Задача коммивояжера — метод ветвей и границ//Сайт преподавателя экономики. [2023]. URL: <https://galyautdinov.ru/post/zadacha-kommivoyazhera> (дата обращения: 27.05.2024).

Куралай Юсупова, докторант, Satbayev University, Алматы, Қазақстан, k.yussupova@satbayev.university

Бакытжан Амралинова, PhD, қауымдастырылған профессор, Satbayev University, Алматы, Қазақстан, b.amralinova@satbayev.university

Сауле Бекжанова, т.ғ.д, профессор, Satbayev University, Алматы, Қазақстан, s.bekzhanova@satbayev.university

Гүлмира Мұханова, т.ғ.к, қауымдастырылған профессор, Satbayev University, Алматы, Қазақстан, g.mukhanova@satbayev.university

ҚАЙТАЛАМА ШИКІЗАТТЫ ҚР ТАУ-КЕН МЕТАЛЛУРГИЯ КОМБИНАТТАРДАН ТАСЫМАЛДАУ

Андатпа. Тау-кен және қайта өңдеу өнеркәсібінің қайталама шикізатын жинау, қайта өңдеу және тасымалдау логистикасы, содан кейін Құрылыс материалдары ретінде пайдалану қоршаған ортаны қорғау қажеттілігімен, коммерциялық сатудан және оларды пайдаланудан экономикалық пайда алу мүмкіндігімен өзекті болып табылады. Мақалада қалдықтарды тасымалдау бойынша зерттеулер, тау-кен металлургия кешендерінің орналасқан жері, комбинаторлық оңтайландыру әдістері қарастырылып, автокөлікпен тасымалдаудың оңтайлы бағыты жасалды.

Түйінді сөздер. Тасымалдау, қайталама шикізат, маршруттар, тау-кен металлургия өнеркәсібі, сатушы әдісі, жеткізудің оңтайлы жолы, тәжірибелік зерттеулер.

Kuralay Yussupova, doctoral student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, k.yussupova@satbayev.university

Bakytzhan Amralinova, PhD, associate professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, b.amralinova@satbayev.university

Saule Bekzhanova, doctor of technical sciences, professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, s.bekzhanova@satbayev.university

Gulmira Mukhanova, candidate of technical sciences, associate professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, g.mukhanova@satbayev.university

TRANSPORTATION OF SECONDARY RAW MATERIALS OF MINING AND METALLURGICAL PLANTS OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

Abstract. The logistics of collecting, processing and transporting secondary raw materials of the mining and processing industry with subsequent use as building materials is relevant to the need for environmental protection, the possibility of obtaining economic benefits from commercial sale and their use. The article discusses research on waste transportation, the

location of mining and metallurgical complexes, methods of combinatorial optimization, and the optimal route for transportation by motor transport.

Keywords. Transportation, secondary raw materials, routes, mining and metallurgical industry, traveling salesman method, optimal delivery route, experimental research.

Получено: 05 май 2024 г.; принято: 30 июнь 2024 г.