



Обоснование транспортных издержек при перевозке насыпных грузов в контейнерах интегральным методом



Елена КУРЗИНА



Нина КОРНИЕНКО



Ангелина КУРЗИНА

Елена Геннадьевна Курзина¹, Нина Амосовна Корниенко², Ангелина Михайловна Курзина³

^{1, 2, 3} Российский университет транспорта, Москва, Россия.

¹ORCID 0000-0003-1056-3344; РИНЦ SPIN-код: 9587-6660; РИНЦ Author ID: 16562.

²ORCID 0000-0001-89686-0694; РИНЦ SPIN-код: 1068-8596; РИНЦ Author ID: 351358.

³ORCID 0000-0002-1081-3086; РИНЦ SPIN-код: 4248-4152; РИНЦ Author ID: 1078181.

✉ ¹ kurzina_elena@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

В настоящее время большой объем экспортных поставок угля и других насыпных и навалочных грузов в Китай осуществляется контейнерным способом, главным преимуществом которого является возможность осуществления мультимодальных перевозок. Этот вопрос также приобретает актуальность и в отношении других стран, транспортные коридоры с которыми предусматривают морские перевозки. Однако, одной из главных проблем контейнерных перевозок угля является меньшая масса нетто груза, перевозимого в двух контейнерах, по сравнению с одним стандартным полувагоном, применяемым при традиционном способе перевозки.

В работе проведен интегральный расчет пяти возможных вариантов загрузки угля в контейнер с образова-

нием «шапки» в виде сферических или эллиптических сегментов. В результате проведенных расчетов выявлены объемный и массовый недогруз контейнеров, который значительно влияет на транспортные расходы. Полиномиальная аппроксимация рассмотренных вариантов размещения груза в контейнерах на железнодорожных платформах в составе поезда показала увеличение эксплуатационных расходов вследствие недогруза, связанных с простоем вагона-платформы и контейнера под грузовыми операциями (погрузка/разгрузка) и тарифами на транспортировку. Сделаны предложения по уменьшению транспортных издержек при контейнерных перевозках угля и других насыпных и навалочных грузов железнодорожным транспортом.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, контейнерные перевозки насыпных и навалочных грузов, интегральный расчет размещения груза в контейнере, издержки вследствие неравномерного размещения.

Благодарность. Авторы выражают признательность И. С. Заикину, студенту Российского университета транспорта, за помощь в сборе информационных материалов при проведении исследования.

Для цитирования: Курзина Е. Г., Корниенко Н. А., Курзина А. М. Обоснование транспортных издержек при перевозке насыпных грузов в контейнерах интегральным методом // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 6 (109). С. 131–136. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-6-15>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.

The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

В конце 2020 года экспортные поставки угля, а также других насыпных и навалочных грузов стали осуществляться в контейнерах типа Ореп Тор [1]. В настоящее время регулярная перевозка каменного угля осуществляется из Забайкалья в КНР через погранпереход Забайкальск – Маньчжурия (рис. 1), причем доля таких контейнерных перевозок в Китай занимает в целом 95 %. По мнению РЖД, этот способ позволяет упростить и ускорить процесс отправки угля на экспорт. Контейнер просто переставляется с российской платформы на китайскую¹.

Аналогично можно переставлять контейнер на автомобильный транспорт и морские суда, что особенно актуально в условиях развития международных транспортных коридоров, в том числе «Север–Юг» [2; 3].

Общий объем отечественных контейнерных перевозок из года в год неуклонно растет [4–6]. Данный способ перевозок также активно развивается в последнее время в странах, с которыми нас связывают общие транспортные коридоры [7–9].

К преимуществам контейнерных перевозок насыпных и навалочных грузов следует отнести:

- сокращение времени погранично-таможенных операций с 4 ч до 1,5 ч;
- ускорение оборота грузовых вагонов, задействованных в перевозке;

– сокращение времени перегрузки на другой вид транспорта (морской, автомобильный), т. е. возможность интермультимодальных перевозок;

– решение проблемы смерзшегося угля на пограничных станциях при перегрузке из российского подвижного состава в китайский и др.;

– снижение нагрузки на железнодорожную инфраструктуру;

– увеличение скорости грузопотока;

– минимизация экологического ущерба.

Однако, несмотря на увеличение объемов отправок по сети угля в контейнерах, целый ряд вопросов до сих пор остается актуальным [1; 10; 11]. Одним из главных вопросов является уменьшение массы нетто перевозимого груза в двух контейнерах по сравнению с одним стандартным полувагоном.

Целью исследования является интегральный расчет возможных вариантов загрузки угля в контейнер и разработка предложений по уменьшению транспортных издержек при контейнерных перевозках угля и других насыпных и навалочных грузов железнодорожным транспортом.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Ранее уголь и другие насыпные и навалочные грузы перевозились преимущественно в полувагонах насыпным методом (рис. 2 а). Внутренний объем кузова полувагона составляет 88 м³.

В настоящее время уголь перевозят в двух 20-футовых контейнерах с внутренним объе-



Рис. 1. Контейнерная перевозка каменного угля в Китай.
Фото агентства Синьхуа. [Электронный ресурс]: https://russian.news.cn/2021-04/13/c_139878444.htm. Доступ 30.08.2023.



а)



б)

Рис. 2. Перевозка каменного угля: а) в полувагонах; б) в контейнерах.
Фото Интернет-портала ОАО «РЖД». [Электронный ресурс]: <https://company.rzd.ru/ru/9407/page/68650?id=2148>;
<https://company.rzd.ru/ru/9407/page/68650?id=21273>.

мом каждого 32 м^3 , устанавливаемых на железнодорожную платформу (рис. 2 б).

Следовательно, номинальный объем перевозимого насыпного груза в полувагоне в 1,375 раза больше, чем на платформе с двумя контейнерами.

Статистические данные показывают, что в среднем в одном 20-футовом контейнере перевозится около 34 т угля при максимальной вместимости 39,4 т. Таким образом, недоразвес составляет 5,4 т. Потери в объеме перевозимого груза могут быть связаны с неравномерной загрузкой и даже с недогрузкой вагонов.

Актуальным в этой связи является анализ причин недогрузки контейнеров углем и связанных с этими издержками при транспортировке.

Погрузка угля на подъездных путях шахт и карьеров в полувагоны и контейнеры осуществляется роторным экскаватором. В большинстве случаев загрузка происходит с образованием «шапки» без последующего разравнивания и уплотнения. Форма «шапки» зависит от сыпучести угля. В связи с чем рассмотрено пять вариантов загрузки угля в контейнер, представленных на рис. 3:

1. 2/3 высоты контейнера полностью заполнены углем, а сверху шаровой сегмент радиусом $R = 1,161 \text{ м}$ и высотой $c = 0,762 \text{ м}$.

2. 2/3 высоты контейнера полностью заполнены углем, а сверху эллиптический сегмент с полуосями $a = 1,161 \text{ м}$ и $b = 1,6235 \text{ м}$, высотой $c = 0,762 \text{ м}$.

3. 2/3 высоты контейнера полностью заполнены углем, а сверху эллиптический сег-

мент с полуосями $a = 1,161 \text{ м}$ и $b = 2,086 \text{ м}$, высотой $c = 0,762 \text{ м}$.

4. 2/3 высоты контейнера полностью заполнены углем, а сверху эллиптический сегмент с полуосями $a = 1,161 \text{ м}$ и $b = 2,3485 \text{ м}$, высотой $c = 0,762 \text{ м}$.

5. Контейнер полностью заполнен углем.

Объем контейнера составляет $V = A \cdot B \cdot C = 5,902 \cdot 2,330 \cdot 2,352 = 32,34 \text{ м}^3$.

В зависимости от вариантов загрузки объем контейнера составит:

$$1. V_1 = V_{2/3} + V_{\text{шс}}$$

$$2. V_2 = V_{2/3} + V_{\text{эс1}}$$

$$3. V_3 = V_{2/3} + V_{\text{эс2}}$$

$$4. V_4 = V_{2/3} + V_{\text{эс3}}$$

$$5. V_5 = V,$$

где $V_{2/3}$ – 2/3 объема контейнера, равные $V_{2/3} = 32,34 \cdot 2/3 = 21,56 \text{ м}^3$;

$V_{\text{шс}}$ – объем шарового сегмента сферы, который находится интегрированием тела вращения, заданного каноническим уравнением шара радиусом $1,161 \text{ м}$, в пределах интегрирования от 0 до $0,762 \text{ м}$;

$V_{\text{эс1}}$ – объем эллиптического сегмента сферы, который находится интегрированием тела вращения, заданного каноническим уравнением эллипса с полуосями $a = 1,161 \text{ м}$ и $b = 1,6235 \text{ м}$, в пределах интегрирования от 0 до $0,762 \text{ м}$;

$V_{\text{эс2}}$ – объем эллиптического сегмента сферы, который находится интегрированием тела вращения, заданного каноническим уравнением эллипса с полуосями $a = 1,161 \text{ м}$ и $b = 2,086 \text{ м}$, в пределах интегрирования от 0 до $0,762 \text{ м}$;

$V_{\text{эс3}}$ – объем эллиптического сегмента сферы, который находится интегрированием



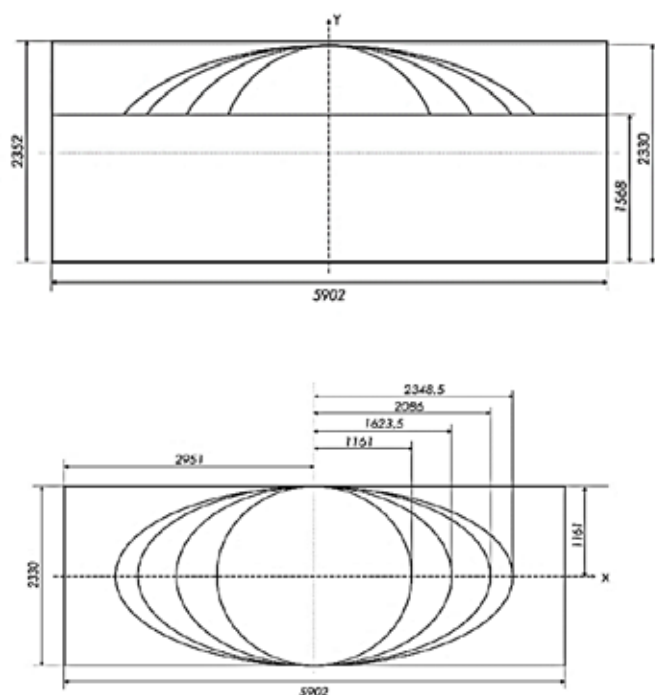


Рис. 3. Графическое представление рассмотренных вариантов загрузки угля в контейнер [выполнено авторами].

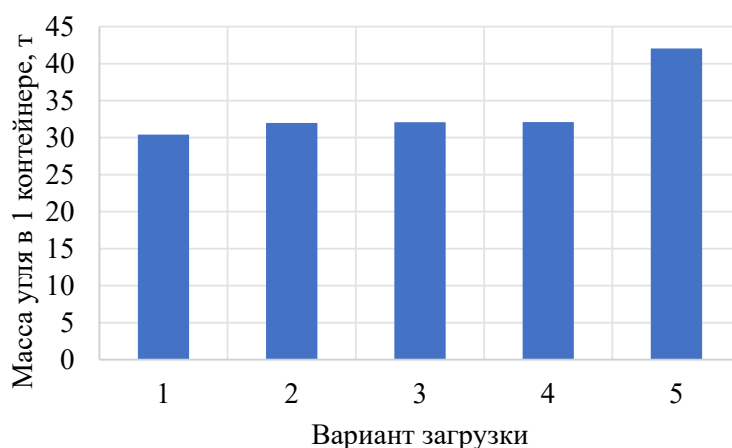


Рис. 4. Диаграмма распределения загрузки контейнера в тоннах по пяти возможным вариантам [выполнено авторами].

тела вращения, заданного каноническим уравнением эллипса с полуосями $a = 1,161$ м и $b = 2,3485$ м, в пределах интегрирования от 0 до 0,762 м.

В общем случае объем тела вращения относительно оси OY определяется по формуле:

$$V_{Oy} = \pi \int_c^d x^2 dy.$$

Для сферического сегмента подынтегральная функция будет $R^2 = x^2 + y^2$, а для эллиптического $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$.

$$V_{ис} = \pi \int_0^{0,762} (R^2 - y^2) dy = \pi \left(R^2 y - \frac{y^3}{3} \right) \Big|_0^{0,762}$$

$$V_{эс1} = \pi \int_0^{0,762} \left(a^2 \left(1 - \frac{y^2}{b^2} \right) \right) dy = \pi \left(a^2 y - \frac{y^3}{3b^2} \right) \Big|_0^{0,762}.$$

Таблица 1

Результаты расчета объема загрузки контейнера по пяти возможным вариантам
[выполнено авторами]

№ варианта загрузки	$V_{2/3}, \text{ м}^3$	$V_{\text{«шапки»}}; V_{\text{шс}} \text{ и } V_{\text{эс}}, \text{ м}^3$	$V, \text{ м}^3$	Объемный недогруз контейнера, м^3
1	21,56	$0,585\pi$	23,40	8,94
2	21,56	$0,971\pi$	24,61	7,73
3	21,56	$0,993\pi$	24,68	7,66
4	21,56	π	24,70	7,64
5	-	-	32,34	-

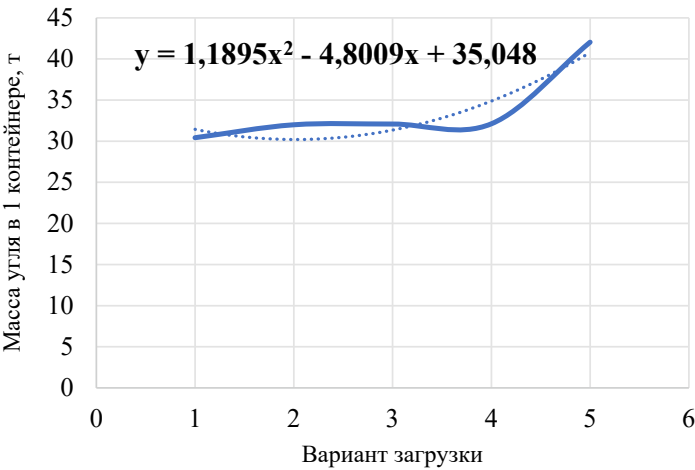


Рис. 5. Графическое представление результатов расчетов возможной загрузки контейнеров углем с аппроксимацией полиномиальной зависимостью [выполнено авторами].

Аналогично рассчитываются $V_{\text{эс}2}$ и $V_{\text{эс}3}$, которые отличаются размерами полуосей b.

Результаты расчетов объема перевозимого груза представлены в табл. 1.

Результаты расчетов показали, что объемный недогруз контейнеров может составлять от 7,64 м^3 до 8,94 м^3 .

Если принять среднюю плотность угля $\rho_y = 1,3 \text{ т/м}^3$, то масса угля в 1 контейнере составит $m_y = \rho_y \cdot V_y$, а недогруз контейнера по массе составит для рассмотренных вариантов $\Delta m_y = m_n - m_{y1}$. Результаты расчета недогруза контейнеров по массе представлены в таблице 2 и на рис. 4.

Следовательно, массовый недогруз угля в одном контейнере по рассмотренным вариантам может составлять от 9,932 т до 11,622 т.

Если массы угля по возможным вариантам загрузки описать полиномиальной зависимостью (рис. 5), то массу угля в пяти контейнерах можно найти как площадь криволинейной трапеции. В этом случае масса угля в пяти контейнерах составит:

$$M_5 = \int_0^5 (1,1895x^2 - 4,8009x + 35,048) dx = \\ = \left(1,1895 \frac{x^3}{3} - 4,8009 \frac{x^2}{2} + 35,048x \right) \Big|_0^5 = 164,79.$$

Таблица 2

Результаты расчета загрузки контейнера в тоннах по пяти возможным вариантам
[выполнено авторами]

Номер варианта загрузки	Масса угля в 1 контейнере $m_y, \text{ т}$	Недогруз контейнера $\Delta m_y, \text{ т}$
1	30,420	11,622
2	31,993	10,049
3	32,084	9,958
4	32,110	9,932
5	42,042	-



Следует отметить, что при полной загрузке пяти контейнеров (5 вариант) перевозимая масса угля составит 210,21 т.

Если, например, необходимо перевезти 1050 т угля, то при максимальной загрузке будет задействовано 25 контейнеров, а при недогрузе – 32 контейнера, что значительно, до 25 %, увеличит расходы, связанные с простым вагона-платформы и контейнера под грузовыми операциями (погрузка/разгрузка), и тарифы на транспортировку.

Таким образом, для уменьшения издержек, связанных с затратами на увеличение количества контейнеров Open Top при транспортировке заданной массы угля при его неравномерном размещении, необходимо ввести операцию выравнивания и уплотнения груза в контейнере. Для полувагонов существуют специальные катки для выравнивания, а для контейнеров необходимо создать такие приспособления.

Следует также отметить, что для увеличения грузоподъемности и скорости движения платформ для перевозки контейнеров в настоящее время проводятся работы по созданию высокоскоростных шестиосных платформ, которые позволят устанавливать большее количество (три единицы) контейнеров Open Top, тем самым доведя сравнимые объемы перевозимого груза до уровня полувагонов, естественно, с учетом их равномерной полной загрузки.

Повышение скоростей движения платформ, а также возможность термоизоляции контейнеров способствуют решению вопросов, связанных со смерзанием угля, в связи с чем внедрение таких разработок является в настоящее время весьма актуальной задачей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Перевозка угля и других насыпных грузов в контейнерах: новая универсальность или новые сложности // Информационное агентство «РЖД-Партнер.РУ». – 19.03.2021. [Электронный ресурс]: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/comments/perevozka-uglya-i-drugikh-nasypanykh-gruzov-v-konteynerakh-novaya-universalnost-ili-novye-slozhnosti/>.

konteynerakh-novaya-universalnost-ili-novye-slozhnosti/. Доступ 10.09.2023.

2. Карлов А. В. Методы принятия решений в транспортной политике: многокритериальный подход. Мир транспорта. – 2023. – Т. 21. – № 1. – С. 32–39. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-4>.

3. Куренков П. В., Белозеров В. Л., Малышева О. В., Элларян А. С., Ахтонов В. И. Мультимодальная доставка грузов из России в Иран и Индию по транспортному коридору «Север-Юг» // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2020. – № 3. – С. 15–23. EDN: WFESMB.

4. Хатыанов А. А. Задача стратегического значения // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 5. – С. 20–25. EDN: DVQLAQ.

5. Аствацатурова К. В., Казакова Н. А. Прогноз влияния рынка железнодорожных контейнерных перевозок на ВВП Российской Федерации // Финансы: теория и практика. – 2022. – Т. 26. – № 6. – С. 6–16. EDN: CBADYJ.

6. Федотов А. Н., Мальцев К. С. Организация коммерческой работы в сфере контейнерных перевозок на железнодорожном транспорте // В сб.: Активизация интеллектуального и ресурсного потенциала регионов. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции: в 2-х частях. Под научной редакцией Н. Н. Даниленко, О. Н. Басовой. – Иркутск: Байкальский государственный университет, 2018. – С. 100–103. EDN: YKUIYN.

7. Куанышбаев Ж. М., Рахметова Р. Уровень контейнеризации в Казахстане и в мире // В сб.: Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения. Материалы X Международной научно-практ. конференции. Сост. Г. Т. Мерзудинова, Т. Б. Сулейменов, Т. Т. Султанов. Нур-Султан. – Астана: Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, 2022. – С. 42–44. EDN: EIAYLG.

8. Намжилова В. О. Значение пограничных пунктов пропуска товаров внутренней Монголии для развития трансграничных связей КНР // Российско-китайские исследования. – 2021. – Т. 5. – № 3. – С. 179–184. EDN: DENHVT.

9. Расулов М. Х., Исмагуллаев А. Ф. О перспективах развития ускоренных контейнерных перевозок в Узбекистане // Инновационный транспорт. – 2021. – № 1 (39). – С. 50–54. EDN: XRYWY.

10. Чернышова А. В., Рустамова И. Т. Актуальные проблемы и развитие контейнерных перевозок на современном этапе // Инновационная экономика и современный менеджмент. – 2023. – № 1 (43). – С. 46–48. EDN: DGNHVM.

11. Федорова Н. Б., Подвербных А. А. Проблемы и перспективы контейнерных перевозок // В сб.: Управление эксплуатационной работой на транспорте (УЭРТ-2022). Сб. трудов Международной научно-практ. конференции. под редакцией А. Ю. Панычева, Т. С. Титовой, О. Д. Покровской; отв. за выпуск А. В. Суторовский, Г. И. Никифорова, Т. Г. Сергеева, М. А. Марченко. – СПб.: ПГУПС, 2022. – С. 145–148. EDN: NIULWU. ●

Информация об авторах:

Курзина Елена Геннадьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры высшей математики Российского университета транспорта, Москва, Россия, kurzina_elena@mail.ru.

Корниенко Нина Амосовна – кандидат технических наук, доцент кафедры высшей математики Российского университета транспорта, Москва, Россия, kornienkonina67@yandex.ru.

Курзина Ангелина Михайловна – кандидат технических наук, доцент кафедры высшей математики Российского университета транспорта, Москва, Россия, aekfm@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 15.05.2023, одобрена после рецензирования 13.09.2023, принята к публикации 17.09.2023.