

Мультимодальные перевозки: экологический аспект

К.М. Кляус

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук
199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, дом 5

Как известно под мультимодальной (или смешанной) перевозкой понимается перевозка, осуществляемая различными транспортными средствами (в данном случае как железнодорожными, так и автомобильными) и предусматривающая промежуточные операции грузообработки. В предлагаемой методике рассматриваются только транспортные средства, оснащённые двигателями внутреннего сгорания. Использование локомотивов с электроэнергетической установкой относится к случаю оценки косвенных выбросов и поэтому требует специального рассмотрения. Методика базируется на расчётном прогнозе суммарных расходов топлива транспортных средств, осуществляющих перевозку. Оценка выбросов углекислого газа производится на основе действующих руководящих документов Минприроды России.

В условиях Российской Федерации наибольшей экономической эффективностью обладают два вида транспорта: автомобильный – на расстояниях, не превышающих 1,0 тыс. км, и железнодорожный – в случае дальних перевозок. Некоторые особенности данных видов транспорта приведены в таблице 1.

Представленные в таблице 1, а также многие другие особенности рассматриваемых транспортных систем приводят к выводу, что унимодальная (одновидовая) транспортировка грузов возможна лишь в случае применения автомобильного транспорта. Во всех остальных случаях осуществляется смешанная перевозка, предусматривающая промежуточные операции грузообработки и временного складирования. Наиболее распространённым примером смешанных схем является обслуживание автотранспортными фирмами железнодорожных станций логистических транспортных узлов.

Выбор вида транспорта и способа перевозки определяется минимизацией транспортных затрат и времени доставки (транзитного времени). В большинстве случаев это приводит к смешанной схеме. Смешанная перевозка называется мультимодальной в том случае, когда «лицо, организующее перевозку, несёт за неё ответственность на всём пути следования – независимо от числа участвующих видов транспорта» и «при этом оформляется единый перевозочный документ» [1].

Таблица 1 – Некоторые сравнительные характеристики железнодорожного и автомобильного видов транспорта [1, 2]

Сравнительная характеристика	Железнодорожный транспорт	Автомобильный транспорт
Скорость доставки грузов: на расстояниях до 1,0 тыс. км на расстояниях свыше 1,0 тыс. км	Зависит от провозной и пропускной способности дороги Высокая	Высокая Высокая в пределах сети высокоскоростных специализированных автомагистралей, в остальных случаях уступает скорости доставки железнодорожным транспортом
Возможность доставки грузов на условиях <i>ЛИТ</i> («точно в срок») и «от двери до двери»	В большинстве случаев отсутствует	Имеется и, как правило, является приоритетом при выборе логистической схемы
Тарифы на перевозки	Низкие с предусмотренной системой скидок	Высокие (особенно на больших расстояниях из-за высокой себестоимости перевозок)
Капитальные вложения	Высокие	Сравнительно невысокие в условиях освоенных автомагистралей. Значительных затрат требует строительство высокоскоростных автомагистралей в рамках МТК
Зависимость от климатических факторов	Практически отсутствует	Значительная
Возможность выбора перевозчика	Ограничена (естественная монополия)	Широкие возможности

Предлагаемый проект методики ориентируется на общий случай мультимодальных перевозок, что является условием её универсальности.

Методика расчёта расходов топлива транспортных средств при доставке грузов

Как отмечено выше, методика расчёта выбросов парниковых газов при доставке партии груза ориентирована на мультимодальные перевозки (в нашем случае ограничимся железнодорожным и автомобильным видами транспорта).

Расчётный прогноз количества выбросов основывается на оценке расходов топлива транспортных средств при выполнении перевозки и/или затрат электроэнергии локомотивов в пересчёте на условное топливо по угольному эквиваленту. Ниже мы ограничимся только транспортными средствами с дизельными двигателями.

Расход топлива определяется мощностью двигателя и продолжительностью его работы, иными словами, расстоянием пробега и средней скоростью на данном участке пути. Для автомобильного транспорта в силу общего правила принят объёмный измеритель – количество литров топлива на 100 км пути с пересчётом в массовый расход на основе плотности топлива.

В случае железнодорожных перевозок методика предполагает оценку условной доли общего расхода топлива локомотива, приходящейся на данный груз как отношение числа занятых этим грузом вагонов к общему числу вагонов состава. Такое допущение полностью справедливо для случая контейнерных грузов. В случае автомобильных перевозок принято, что груз доставляется одним транспортным средством (седельный тягач – прицеп).

При выполнении оценки расхода топлива для случая железнодорожных перевозок методика учитывает работу маневровых локомотивов на сортировочных станциях.

Исходные данные

Маршрут доставки груза разбивается на необходимое количество участков, включая сортировочные станции железнодорожных узлов (индекс k). Для каждого участка определяется состав задействованных транспортных средств (индекс j).

Для каждого участка вводятся параметры, необходимые для оценки расходов топлива.

Для железнодорожных перевозок:

D_{jk} – длина k -го участка пути или перегонов на сортировочной станции;

v_{jk} – средняя скорость на k -м участке пути или перегонах сортировочной станции;

N_{jk} – общее число вагонов в ж/д составе при перевозке на k -м участке пути;

P_j – эффективная (номинальная) мощность локомотива типа j ;

g_j – удельный расход топлива локомотива типа j , приведённый к номинальной мощности и времени работы.

Данные по параметрам маршрута и подвижного состава представляются в матричной форме. Данные в форме таблицы 2 представляются отдельно для магистральных и маневровых тепловозов. В одной из них указываются данные для участков дороги между узловыми станциями, в другой – ориентировочные данные по протяжённости участков путей при сборке состава на промежуточной станции при помощи маневровых локомотивов.

Таблица 2 – Исходные данные для железнодорожных перевозок

Типы локомотивов	Участки транспортного маршрута					
	$k = 1$	$k = 2$...	$k = m$...	$k = K$
$j = 1$	N_{11}	N_{12}	...	N_{1m}	...	N_{1K}
	v_{11}	v_{12}	...	v_{1m}	...	v_{1K}
	D_{11}	D_{12}	...	D_{1m}	...	D_{1K}
$j = 2$	N_{21}	N_{22}	...	N_{2m}	...	N_{2K}
	v_{21}	v_{22}	...	v_{2m}	...	v_{2K}
	D_{21}	D_{22}	...	D_{2m}	...	D_{2K}
...
$j = n$	N_{n1}	N_{n2}	...	N_{nm}	...	N_{nK}
	v_{n1}	v_{n2}	...	v_{nm}	...	v_{nK}
	D_{n1}	D_{n2}	...	D_{nm}	...	D_{nK}
...
$j = J$	N_{J1}	N_{J2}	...	N_{Jm}	...	N_{JK}
	v_{J1}	v_{J2}	...	v_{Jm}	...	v_{JK}
	D_{J1}	D_{J2}	...	D_{Jm}	...	D_{JK}

Технические характеристики магистральных и маневровых тепловозов, в частности, эффективная мощность P_j (кВт) и удельный расход топлива g_j (кг/кВт·ч), определяются в зависимости от типов локомотивов, задействованных в перевозке грузов.

Для автомобильных перевозок:

D_{jk} – длина k -го участка пути;

v_{jk} – средняя скорость на k -м участке пути;

g_j^* – удельный расход топлива седельного тягача типа j , приведенный к 100 км пути.

Для автомобильных перевозок матрица принимает аналогичный предыдущему случаю вид (см. табл. 3).

Таблица 3 – Исходные данные для автомобильных перевозок

Типы тягачей	Участки транспортного маршрута					
	$k = 1$	$k = 2$...	$k = m$...	$k = K$
$j = 1$	v_{11}	v_{12}	...	v_{1m}	...	v_{1K}
	D_{11}	D_{12}	...	D_{1m}	...	D_{1K}
$j = 2$	v_{21}	v_{22}	...	v_{2m}	...	v_{2K}
	D_{21}	D_{22}	...	D_{2m}	...	D_{2K}
...
$j = n$	v_{n1}	v_{n2}	...	v_{nm}	...	v_{nK}
	D_{n1}	D_{n2}	...	D_{nm}	...	D_{nK}
...
$j = J$	v_{J1}	v_{J2}	...	v_{Jm}	...	v_{JK}
	D_{J1}	D_{J2}	...	D_{Jm}	...	D_{JK}

Основной технической характеристикой, необходимой для выполнения расчётной оценки расхода топлива, является удельный расход топлива, приведённый к 100 км пройденного пути в загруженном состоянии. Расчётное значение плотности дизельного топлива определяется на основании технических условий в зависимости от его марки. В случае отсутствия фактических данных значение плотности топлива принимается равным 0,85 кг/л. Это значение, принятое по умолчанию, не вносит существенной ошибки в расчёты.

Расчётная методика

Расчётная методика предполагает определение расхода топлива с последующим пересчётом на выделение углекислого газа.

Для железнодорожных перевозок определяется доля затрат топлива, приведённая к данному грузу, в зависимости от соотношения числа вагонов, занятых грузом к общему количеству вагонов в составе, например, $\left(\frac{n}{N_{jk}}\right) = \frac{3}{50}$.

$$t_{jk} = g_j \cdot P_j \cdot \left(\frac{1}{v_{jk}}\right) \cdot D_{jk} \cdot \left(\frac{n}{N_{jk}}\right). \quad (1)$$

Для автомобильных перевозок формула для расчётной оценки t_{jk} упрощается:

$$t_{jk} = g_j \cdot \left(\frac{D_{jk}}{100} \right) \cdot n. \quad (2)$$

Общий расход топлива T определяется суммированием по всем маршрутам перевозок и типам используемых транспортных средств (т):

$$T = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K t_{jk}. \quad (3)$$

Далее в соответствии с правилами осуществляется пересчёт затрат топлива на величину выделений углекислого газа:

$$B = EF_{CO_2} \cdot T, \quad (4)$$

где

B – суммарное выделение углекислого газа транспортными средствами, приведённое к перевозке грузов (т CO_2).

EF_{CO_2} – коэффициент выбросов CO_2 от сжигания дизельного топлива (т CO_2 /т).

В соответствии с «Методическими указаниями...» [3] коэффициент EF_{CO_2} рекомендуется принимать равным $EF_{CO_2} = 3,15$.

Программирование предложенной методики не представляет трудностей и может быть реализовано в доступных вычислительных системах.

В Российской Федерации данные о потреблении топливных ресурсов представляются в физических единицах (например, в тыс. т). Единицей энергии в системе СИ является джоуль (Дж). В методике МГЭИК (2006) используется данный энергетический эквивалент количества сжигаемого топлива [4].

Пример использования разработанной методики

В качестве иллюстративного примера рассматривается перевозка груза из Санкт-Петербурга (Предприятие-поставщик – грузоотправитель) в г. Плавск Тульской области (Предприятие-заказчик – грузополучатель).

Предполагается, что груз размещён в контейнерах: TEU 20 – 3 шт., TEU 40 – 1 шт.

Рассмотрим два варианта доставки груза (рис. 1).

Первый вариант:

1. Перевозка по железной дороге СПб-Москва (ок. 700 км).
2. Перевозка по железной дороге Москва-Тула (например, с отцеплением вагонов с грузом на станции «Тула Курская» при следовании грузового состава по маршруту Москва-Белгород – ок. 200 км).
3. Перевозка автотранспортом по автодороге Тула-Плавск (ок. 70 км).

На всех сортировочных станциях (СПб, Москва, Тула) задействованы маневровые тепловозы. Для размещения груза при железнодорожных перевозках требуется 3 вагона (2 – для размещения контейнеров TEU20 длиной по 6,1 м и 1 для TEU40 длиной 12,2 м). При перевозке автомобильным транспортом – 4 седельных тягача с трейлерами для полноразмерных контейнеров длиной 12,2 м (1 автомобиль на контейнер, шестиметровые контейнеры закрепляются каждый на своём прицепе).

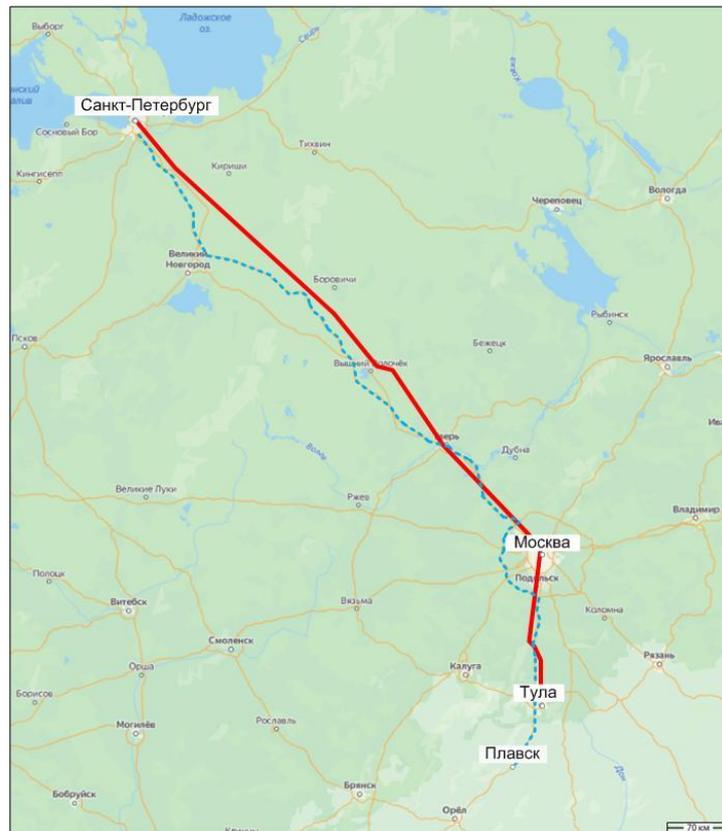


Рис. 1. Схема доставки грузов Санкт-Петербург – Плавск

На схеме обозначено:

- Перевозка по железной дороге
- - - Перевозка автотранспортом

Таблица 4 – Сортировка вагонов на узловых станциях. Исходные данные

Локомотив		Эффективная мощность P_j , кВт	Удельный расход топлива g_j , кг/кВт·ч	Расчётные значения параметров методики	Узловые станции		
					Санкт-Петербург $k = 1$	Москва $k = 2$	Тула $k = 3$
$j = 1$	ТЭМ2	880	0,210	N_{1k}	10		5
				v_{1k}	10		10
				D_{1k}	10		5
$j = 2$	ТЭМ28	895	0,210	N_{2k}		10	
				v_{2k}		10	
				D_{2k}		5	

В таблице 4 и в дальнейшем (табл. 5-7) выбор типов транспортных средств произволен. Предполагается, что погрузка контейнеров на платформы производится на территории отправителя (имеется железнодорожная ветка Предприятие-поставщик – ст. Санкт-Петербург-Сортировочная).

Таблица 5 – Перевозка грузов по железной дороге. Исходные данные

Локомотив		Эффективная мощность P_j , кВт	Удельный расход топлива g_j , кг/кВт·ч	Расчётные значения параметров методики	Перегоны	
					Санкт-Петербург – Москва	Москва – Тула
Номер	Тип				$k = 1$	$k = 2$
$j = 1$	2ТЭ25К	4 000	0,220	N_{1k}		40
				v_{1k}		70
				D_{1k}		200
$j = 2$	ТГ16М	4 000	0,220	N_{2k}	50	
				v_{1k}	80	
				D_{1k}	700	

Второй вариант:

Прямая перевозка автомобильным транспортом по маршруту СПб-Москва-Тула-Плавск (ок. 1 100 км). При перевозке автомобильным транспортом, как и в предыдущем случае, задействованы 4 седельных тягача КАМАЗ-65116-48 с трейлерами для перевозки контейнеров. Данный пример доставки грузов относится к унимодальным перевозкам.

Таблица 6 – Перевозка грузов по автомобильной дороге (шоссе Тула – Белгород). Исходные данные

Седельный тягач		Эффективная мощность P_j , кВт	Удельный расход топлива g^*_j , л/100 км	Расчётные значения параметров методики	Прямая доставка Тула - Плавск
Номер	Тип				$k = 1$
$j = 2$	КАМАЗ-65116-48	220	30	v_{2k}	80
				D_{2k}	70

Таблица 7 – Доставка грузов в режиме «от двери до двери». Исходные данные

Седелный тягач		Эффективная мощность P_j , кВт	Удельный расход топлива g^*_j , л/100 км	Расчётные значения параметров методики	Прямая доставка Тула - Плавск $k = 1$
Номер	Тип				
$j = 2$	КАМАЗ-65116-48	220	30	v_{2k}	80
				D_{2k}	1 100

Результаты расчётов

Результаты расчётов приведены в таблице 8 и на рис. 2 и 3.

Таблица 8 – Результаты оценки расчётных параметров выделений углекислого газа

	Наименование расчётного параметра	Вариант	
		1	2
1	Выделение углекислого газа при сортировке, т	0,439	0,000
2	Выделение углекислого газа при перевозке ж/д транспортом, т	2,421	0,000
3	Выделение углекислого газа при перевозке автотранспортом, т	0,226	3,546
4	Общее выделение углекислого газа, т	3,086	3,546
5	Общее время доставки груза ¹ , ч	29	17

¹ С учётом суммарного времени простоя на сортировочных станциях, принятое в данном конкретном случае равным времени доставки (требует уточнения в каждой ситуации)

Заключение

1. Предлагаемая методика является приближённой. Для разработки рабочей версии требуется большой объём данных по подвижному составу железнодорожного парка и автотранспортным предприятиям, оказывающим услуги по перевозке тяжёлых крупногабаритных грузов (в первую очередь – контейнеров). Учитывая изменчивость этих данных, необходимо производить регулярное их обновление. В период отладки методики целесообразно ограничить охват территории Северо-Западным регионом и рядом областей Центрального Федерального округа (в частности, железнодорожный сегмент – Октябрьской и Северной железными дорогами).

2. Целесообразно распространить разработанную методику на оценку выбросов других парниковых газов и вредных веществ.

3. По завершении разработки реализованный модуль расчёта выбросов парниковых газов может быть интегрирован заинтересованными организациями в систему оптимизации перевозок по критериям наименьших транспортных затрат и времени доставки грузов.

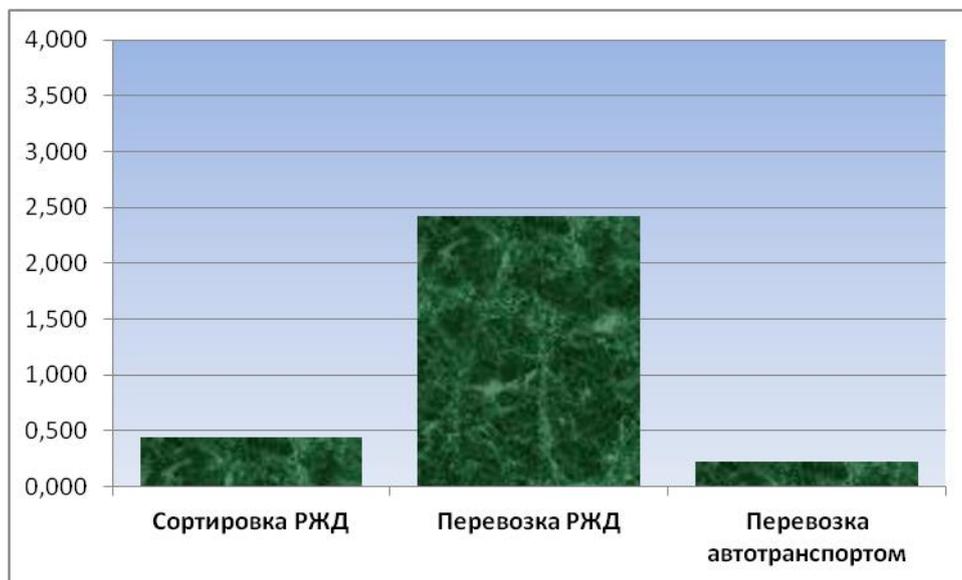


Рис. 2. – Количественная оценка выделений углекислого газа в тоннах при мультимодальной перевозке грузов

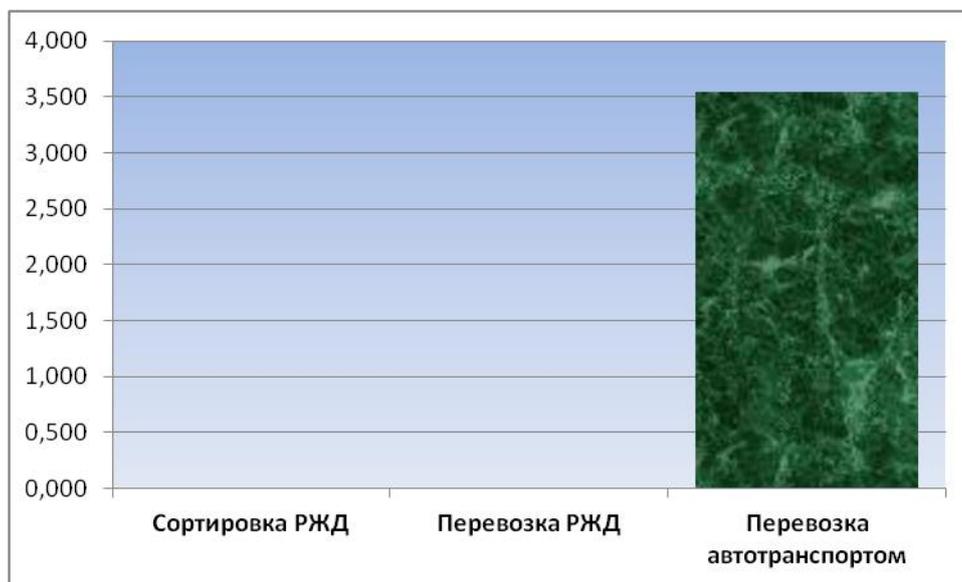


Рис. 3. – Количественная оценка выделений углекислого газа в тоннах при унимодальной перевозке грузов автотранспортом в режиме «от двери до двери»

Публикация подготовлена в рамках выполнения Государственного задания Минобрнауки России № 075-01351-23ПР на 2023 год и плановый период 2024 и 2025 годов от 27 декабря 2022 года Санкт-Петербургскому научному центру РАН, тема FWGF-2019-0001.

Литература

1. *Корпоративная логистика. 300 ответов на вопросы профессионалов.* / Под общ. и научн. редакцией проф. В.И. Сергеева. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 976 с.
2. *Лукьянова О., Хусаинов Ф.* О конкуренции железнодорожного и автомобильного транспорта на рынке грузовых перевозок // Вектор транспорта. Научно-практический альманах. Выпуск № 2, июнь 2014. С. 30-32.
3. *Методические указания и руководство по количественному определению объёма выбросов парниковых газов организациями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность в Российской Федерации, утвержденные приказом Минприроды России от 30.06.2015 №300.*
4. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 2. Energy.* / Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme // The Institute for Global Environmental Strategies (IGES). 2006. P. 3.39-3.47.