

## Механизм согласованной экологизации эксплуатируемых тепловозов

© 2026. В. В. Цыганов<sup>1</sup>, д. т. н., г. н. с.,  
А. К. Еналеев<sup>1</sup>, к. т. н., с. н. с.,

С. А. Савушкин<sup>2</sup>, к. ф.-м. н., в. н. с.,

<sup>1</sup>ФГБУН Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова  
Российской академии наук (ИПУ РАН),  
117997, Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 65,

<sup>2</sup>ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко  
Российской академии наук (ИПТ РАН),  
199178, Россия, г. Санкт-Петербург, 12-я линия Васильевского острова, д. 13,  
e-mail: bbc@ipu.ru

Экологически безопасное развитие железнодорожного транспорта призвано обеспечить требования к экологичности тепловозов. Эти требования отражены в национальных и региональных стандартах допустимых выбросов основных вредных веществ – оксидов азота и углерода, углеводородов и твёрдых частиц. Однако эти стандарты остаются неизменными в течение десятилетий, несмотря на появление новых, более экологичных технологий. Тем не менее, до настоящего времени ни в России, ни в мире не разработаны механизмы, которые бы стимулировали применение таких технологий для повышения экологичности уже эксплуатируемых тепловозов, заведомо удовлетворяющих указанным неизменным стандартам. В работе предложен механизм стимулирования разработки и внедрения инноваций в области охраны окружающей среды на таких тепловозах в тот период, когда экологические стандарты остаются неизменными. Этот механизм включает процедуру формирования нормативов отнесения показателей выбросов вышеуказанных основных вредных веществ к одному из четырёх классов (неудовлетворительно, удовлетворительно, хорошо, отлично). При этом используются как отечественные стандарты, так и национальные и региональные требования к уровням выбросов основных вредных веществ за рубежом. Класс каждого показателя определяется путём сопоставления его фактического значения с соответствующим нормативом. Далее, путём объединения указанных классов, определяется класс экологичности тепловоза, в зависимости от которого стимулируются заинтересованные лица – исследователи и разработчики инноваций, производственный персонал, экологи и менеджеры. Тем самым, интересы последних согласуются с интересами экологизации железнодорожного транспорта. Такой согласованный механизм призван поощрять исследования, разработки и внедрение инноваций в процессе эксплуатации тепловозов для повышения их экологичности. Рассмотрены примеры определения классов экологичности отечественных и зарубежных тепловозов. Результаты работы были использованы при разработке концепции требований к тепловозам ОАО «РЖД» в области охраны окружающей среды.

**Ключевые слова:** окружающая среда, вредные факторы, железные дороги, выброс загрязняющих веществ, оценка выбросов, контроль выбросов, парниковые газы, углеводороды, стимулирующие механизмы.

## Mechanisms for coordinated ecologization of operational diesel locomotives

© 2026. V. V. Tsyganov<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-9274-0548<sup>1</sup>

A. K. Enaleev<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-4450-9533<sup>1</sup>

S. A. Savushkin<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-8833-1896<sup>1</sup>

<sup>1</sup>V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences,  
65, Profsoyuznaya St., Moscow, Russia, 117997,

<sup>2</sup>N.S. Solomenko Institute of Transport Problems of Russian Academy of Sciences,  
13, line 12, Vasilyevsky Island, St. Petersburg, Russia, 199178,  
e-mail: bbc@ipu.ru

Environmentally friendly development of railway transport is mainly due to the greening of diesel locomotives. Requirements for their environmental friendliness are traditionally reflected in national and regional standards for permissible emissions of the main harmful substances – nitrogen and carbon oxides, hydrocarbons and solid particles. However, in practice, these standards remain unchanged for decades. During this time, new, more environmentally

friendly technologies appear. However, outdated standards sometimes do not stimulate their implementation. For example, to date, neither in Russia nor in the world have mechanisms been developed that would stimulate the use of such technologies to improve the environmental friendliness of already operated locomotives that have long met the specified unchangeable standards. The paper proposes a mechanism for the greening of such locomotives. It includes a procedure for forming standards for classifying the emission indicators of the harmful substances by locomotives into one of four classes. The specified standards depend on the mileage and duration of locomotive operation, as well as on the stage of locomotive construction at which it was created. When forming these standards, both domestic standards and national and regional standards of countries with advanced locomotive construction are used. Then, by combining the specified classes, the environmental class of the locomotive is determined. Depending on the latter, interested parties are stimulated – researchers and developers of innovations, production personnel, ecologists and managers. Thus, the interests of these parties are consistent with the interests of greening railway transport and environmental protection. Examples of determining the environmental classes of domestic and foreign locomotives created at different stages of the development of locomotive construction, depending on the duration of their operation are considered. The obtained results are implemented in the development of the concept of requirements for locomotives of JSC “Russian Railways” in the field of environmental protection.

**Keywords:** environment, harmful factors, railways, emissions, emission assessment, emission control, greenhouse gases, hydrocarbons, incentive mechanisms.

Экологическая эффективность является основой устойчивого развития экономики и общества [1]. Соответственно, одной из ключевых проблем устойчивого развития является загрязнение атмосферного воздуха, влияющее на здоровье населения и климат. В частности, доказано, что длительное воздействие взвешенных в воздухе частиц, а также оксидов азота и углерода негативно влияет на здоровье человека [2]. В статье [3] проведён анализ выбросов предприятиями загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферный воздух. Рекомендовано учитывать при экологическом мониторинге выбросы таких веществ, как оксиды азота и углерода, а также взвешенных частиц.

Наибольший вклад в парниковый эффект, влияющий на климат, вносят водяной пар  $H_2O$ , углекислый газ  $CO_2$ , метан  $CH_4$  и оксид азота  $N_2O$  [4]. Во многих крупных российских компаниях разработаны и внедрены системы углеродного менеджмента, направленные на уменьшение выбросов углекислого газа [5].

Более общие проблемы управления экологизированными производствами (ЭП) на корпоративном, региональном и государственном уровнях рассмотрены в статье [6]. В статье [7] рассмотрены подсистемы такого рода контроля выбросов в атмосферу загрязняющих веществ: оксидов серы, углерода, азота, углеводородов, твёрдых частиц и др.

В ряду проблем ЭП выделяется разработка экологически чистых транспортных систем [8]. На транспорт приходится 20–25% мирового потребления энергии и выбросов углекислого газа [9]. Почти 97% вредных выбросов от транспорта в атмосферу приходится на отработанные газы (ОГ), образующиеся при сжигании топлива [10].

Экологически безопасное развитие железнодорожного транспорта в значительной степени зависит от экологизации тепловозов, на которые приходится до 80% выбросов в воздух основных вредных веществ (ВВ) в ОГ. К этим ВВ относятся твёрдые частицы и оксиды азота [11], а также парниковые газы (оксиды углерода и углеводороды) [12]. В связи с этим, на железнодорожном транспорте последовательно ведётся работа по снижению выбросов ВВ в ОГ на всех стадиях жизненного цикла локомотивов «Разработка – производство – эксплуатация – модернизация – капитальный ремонт – эксплуатация – утилизация».

Например, проблеме снижения выбросов ВВ на стадии «разработка» жизненного цикла дизель-электровозов посвящена статья [13]. В ней предложен механизм проектирования экологичных дизель-электровозов с пониженными выбросами указанных ВВ для ЭП.

Проблеме снижения выбросов ВВ на стадии «модернизация» жизненного цикла тепловозов посвящена статья [14]. В ней предложен прогрессивный механизм экологичной модернизации эксплуатируемых тепловозов, в результате которой снижаются выбросы ВВ в ОГ.

Как показано в статье [15], особое значение для устойчивого развития железнодорожного транспорта приобретает капитальный ремонт тепловозов. Предложены механизмы его проведения на стадии «капитальный ремонт» жизненного цикла тепловозов, улучшающие экологические характеристики отремонтированных тепловозов в соответствии с лучшими практиками [15].

К сожалению, средств на экологичную модернизацию и капитальный ремонт всего парка эксплуатируемых тепловозов не хватает. Положение усугубляется тем, что стандарты,

определяющие предельные нормы выбросов ВВ тепловозами, не меняются десятилетиями. За это время создаются новые технологии, позволяющие обеспечить более высокий уровень экологичности. Однако механизмы оценки экологичности эксплуатируемых тепловозов, которые бы учитывали возросший, с начала их эксплуатации, уровень экологических требований, до сих пор не были разработаны. Однако, не имея оценок экологичности эксплуатируемых тепловозов, трудно определить, какие из них следует модернизировать и ремонтировать в первую очередь, и принимать соответствующие обоснованные решения.

Цель данной работы – создание организационного механизма, который бы позволял оценивать экологичность эксплуатируемых тепловозов с учётом растущего уровня экологических требований, для того, чтобы затем принимать обоснованные решения об их модернизации и ремонте, стимулирующие сокращение выбросов ими ВВ в ОГ.

### Объекты и методы исследования

**Требования к экологичности эксплуатируемых тепловозов.** В России максимально допустимые значения выбросов ВВ в ОГ эксплуатируемых тепловозов зависят от двух факторов: периода постройки и постановки на производство его двигателя (стадии тепловоза); пробега и продолжительности эксплуатации (степени эксплуатации). Эти максимально допустимые значения сведены в таблицу 1. Исходные данные для её построения содержатся в таблице 5.1 и п. 5.3 ГОСТ 33754-2016 (где указаны предельно допустимые значения удельных средневзвешенных выбросов ВВ в ОГ), а также в п. 5.8 ГОСТ 33754-2016 (где указаны возможные увеличения этих значений, в зависимости от пробега и сроков эксплуатации).

Для того, чтобы оценивать экологичность эксплуатируемых тепловозов с учётом существующего мирового и регионального уровня экологических требований, необходимо привести к сопоставимому виду соответствующие национальные и региональные требования относительно выбросов ВВ локомотивами в развитых странах [16–18].

В США тепловоз сертифицируется в соответствии с правилами ЕРА [16, 17]. Значения удельных средневзвешенных выбросов основных ВВ (измеряемые в США в г/л.с.-ч) сопоставляются с нормами одного из уровней стандартов (Tier of standards). В свою очередь,

этот уровень зависит от времени постройки тепловоза – аналогично тому, как требования ГОСТ 33754-2016 зависят от стадии  $c$  (см. табл. 1). Поэтому для тепловозов стадии  $c$  используется стандарт Tier  $c$ , где  $c=0, \dots, 4$ . Для того чтобы соизмерить требования Tier  $c$  с нормами ГОСТ 33754-2016, авторами построена таблица 2, структура которой аналогична структуре таблицы 1. При этом в таблице 2 нормы стандартов ЕРА пересчитаны в единицы г/кВт-ч.

Исходными данными для построения таблицы 2 являются таблица III.-1 и III.-2 правил ЕРА [16], в которых указаны нормы Tier 1–4 по выбросам оксидов азота, углеводородов и твёрдых частиц, а также таблица 1–28 и таблицы «Нормы выбросов при перевозках по магистрали» и «Нормы выбросов маневровых тепловозов» [17], в которых указаны нормы выбросов оксида углерода.

В правилах ЕРА [16] (таблица III.-1) указаны нормы Tier 0 по выбросам ВВ для магистральных тепловозов с отдельным контуром охлаждения всасываемого воздуха и без него. В ГОСТ 33754-2016 такая детализация не предусмотрена. Поэтому, для соизмерения с ГОСТ, в таблице 2 указано среднее значение допустимых выбросов ВВ, соответствующее уровню Tier 0 для тепловозов с контуром охлаждения всасываемого воздуха и без него.

Далее, в таблицах III.-1 и III.-2 правил ЕРА [16] указаны нормы Tier 1–4 по выбросам оксидов азота, углеводородов и твёрдых частиц для магистральных и маневровых тепловозов, соответственно. Для соизмерения правил ЕРА [16] с ГОСТ 33754-2016, в таблице 2 указаны средние значения упомянутых норм для магистральных и маневровых тепловозов.

Аналогичным образом усредняются нормы выбросов оксида углерода, которые в правилах ЕРА [17] указаны для магистральных и маневровых тепловозов. По стандартам Tier 0 – Tier 2 они указаны в таблице 1–28 [17] отдельно для магистральных и маневровых тепловозов. По стандартам Tier 3 и Tier 4 – в таблицах «Нормы выбросов при перевозках по магистрали» и «Нормы выбросов маневровых тепловозов» [17] для магистральных и маневровых тепловозов, соответственно. Для соизмерения норм ЕРА с нормами ГОСТ 33754-2016 в таблице 2 указаны усреднённые значения для магистральных и маневровых тепловозов.

В Европейском Союзе (ЕС) нормы регулирования выбросов ВВ от дизельных двигателей транспортных средств были впервые

Таблица 1 / Table 1

Допустимые удельные средневзвешенные выбросы вредных веществ в отработавших газах эксплуатируемых тепловозов / Permissible specific average weighted emissions of harmful substances in exhaust gases of operated diesel locomotives

Стадия Stage c*	Эксплуатируемые тепловозы Diesel locomotives in operation	Степень эксплуатации Degree of operation, e**	Допустимые средневзвешенные выбросы, г/кВт·ч Permissible average weighted emissions, g/kWh			
			оксида углерода(II) carbon monoxide $b_{1ce}$	углеводородов hydrocarbons $b_{2ce}$	оксидов азота nitrogen oxides $b_{3ce}$	твёрдых частиц particulate matter $b_{4ce}$
0, c=0	С двигателями, поставленными на производство до 2000 г. With engines put into production before 2000	0	10	-	25	-
		1	11,5			
		2	12,5			
		3	13			
		4	13,5			
		5	14,175			
1, c=1	Постройки до 2016 г. с двигателями, поставленными на производство до 2000 г. Built before 2016 with engines put into production before 2000	0	6	2,4	18	-
		1	6,9	2,76		
		2	7,5	3		
		3	7,8	3,12		
		4	8,1	3,24		
		5	8,505	3,402		
2, c=2	С двигателями, поставленными на производство с 2000 до 2020 г. With engines put into production from 2000 to 2020	0	3,5	1	12	-
		1	4,025	1,15		
		2	4,375	1,25		
		3	4,55	1,3		
		4	4,725	1,35		
3А, c=3	С двигателями, поставленными на производство с 2020 до 2025 г. With engines put into production from 2020 to 2025	0	3,5	0,4	7,4	-
		1	4,025	0,46		
		2	4,375	0,5		
		3	4,55	0,52		
		4	4,725	0,54		
3Б, c=4	С двигателями, поставленными на производство с 2025 г. With engines put into production from 2025	0	1,5	0,4	4,0	0,15
		1	1,725	0,46		0,1725
		2	1,875	0,5		0,1875
		3	1,95	0,52		0,195
		4	2,025	0,54		0,2025

Примечание к таблицам 1–4: \* – номер стадии «с» определяется периодом постройки модернизированного тепловоза с определёнными двигателями, c=0, ..., 4. \*\* – индекс степени эксплуатации e (e=1, ..., 5) определяется так: пробег до 150 тыс. км или эксплуатация до 18 месяцев (включая приёмочные и сертификационные испытания) – e=0; пробег от 150 до 300 тыс. км или эксплуатация от 18 до 36 месяцев – e=1; пробег 300–500 тыс. км или эксплуатация 36–60 месяцев – e=2; пробег свыше 500 тыс. км или эксплуатация свыше 60 месяцев – e=3; эксплуатация свыше 90 месяцев – e=4; свыше 20 лет – e=5. Прочерк означает, что показатель не нормируется ГОСТ 33754-2016.

Note to tables 1–4: \* – stage number “c” is determined by the period of construction of the modernized diesel locomotive with certain engines, c=0, ..., 4. \*\* – the index of the degree of operation “e” (e=1, ..., 5) is determined as follows: mileage up to 150 thousand km or operation up to 18 months (including acceptance and certification tests) – e=0; mileage from 150 to 300 thousand km or operation from 18 to 36 months – e=1; mileage from 300 to 500 thousand km or operation from 36 to 60 months – e=2; mileage over 500 thousand km or operation over 60 months – e=3; operation over 90 months – e=4; over 20 years – e=5. A dash means that the indicator is not standardized by GOST 33754-2016.

Таблица 2 / Table 2

Допустимые удельные средневзвешенные выбросы вредных веществ в отработавших газах тепловозов по правилам ЕРА [16, 17] / Permissible specific average weighted emissions of harmful substances in exhaust gases of operated diesel locomotives according to EPA rules [16, 17]

Стадия Stage, <i>c</i>	Уровень ЕРА Tier	Допустимые средневзвешенные выбросы, г/кВт-ч Permissible average weighted emissions, g/kWh			
		оксида углерода carbon monoxide $t_{1c}$	углеводородов hydrocarbons $t_{2c}$	оксидов азота nitrogen oxides $t_{3c}$	твёрдых частиц particulate matter $t_{4c}$
0	Tier 0	8,72	1,93	13,07	0,32
1	Tier 1	3,15	1,17	12,34	0,32
2	Tier 2	2,61	0,60	9,12	0,15
3	Tier 3	2,09	0,60	7,04	0,13
4	Tier 4	2,09	0,19	1,74	0,04

Таблица 3 / Table 3

Допустимые удельные средневзвешенные выбросы вредных веществ в отработавших газах тепловозов с дизельными двигателями согласно стандартам ЕС / Permissible specific average weighted emissions of harmful substances in exhaust gases of operated diesel locomotives according to EU standards

Стадия Stage, <i>c</i>	Стадия ЕС EU Stage	Допустимые средневзвешенные выбросы, г/кВт-ч Permissible average weighted emissions, g/kWh			
		оксида углерода carbon monoxide $s_{1c}$	углеводородов hydrocarbons $s_{2c}$	оксидов азота nitrogen oxides $s_{3c}$	твёрдых частиц particulate matter $s_{4c}$
0	I	5,0	1,3	9,2	0,54
1	II	3,5	1,0	6,0	0,20
2	IIIА	3,5	0,38	5,7	0,20
3	IIIВ	3,5	0,25	3,75	0,025
4	V	3,5	0,25	3,75	0,025

указаны в стандартах Stage I в 1999–2000 гг. Эти нормы касались двигателей, поставленных на производство до 2000 г. (что соответствует начальной стадии постройки тепловозов:  $c=0$ ). В 2001–2004 гг. были введены более жёсткие стандарты Stage II (соответствующие следующей – первой стадии постройки тепловозов:  $c=1$ ). В дальнейшем, в ЕС были введены стандарты выбросов тепловозов Stage IIIА, Stage IIIВ и Stage V. Также, как в ГОСТ 33754-2016 и в правилах ЕРА, нормы выбросов ВВ в ЕС определяются в зависимости от периода постройки тепловоза (т. е. стадии  $c$ ).

Допустимые удельные средневзвешенные выбросы ВВ в ОГ дизельных двигателей транспортных средств, регламентируемые стандартами ЕС Stage I и Stage II, определены в таблице 1 [18] и приведены в двух верхних строках таблицы 3. Нормы Stage IIIА, Stage IIIВ (таблица 8 из [18]) и Stage V (таблица 9 из [18]) сведены в таблице 3. Разная степень детализации требований ГОСТ 33754-2016 и стандартов ЕС определяет особенности формирования таблицы 3.

Например, в стандарте Stage IIIА эти нормы указаны для тепловозов второй стадии ( $c=2$ ). При этом в таблице 8 из [18] заданы

нормы выбросов тепловозов с двигателями категории RL А мощностью 130–560 кВт (маневровых тепловозов), а также категории RH А мощностью 561–2000 кВт и более 2000 кВт (в основном, магистральных тепловозов). Для соизмерения норм стандарта Stage IIIА с нормами ГОСТ 33754-2016 и ЕРА, в таблице 3 указаны средние значения норм для тепловозов с двигателями мощностью 130–560, 561–2000 и более 2000 кВт.

Далее, согласно таблицам 8 и 9 из [18], стандарты Stage IIIВ и Stage V ограничивают лишь суммы выбросов оксидов азота и углеводородов. Поэтому, для соизмерения с ГОСТ 33754-2016 и стандартами ЕРА, в таблице 3 указаны расчётные нормы выбросов по стандартам Stage IIIВ и Stage V, полученные путём деления указанной суммы пропорционально нормам выбросов оксидов азота и углеводородов тепловозов с двигателями категории RH А, указанным в стандарте Stage IIIА.

### Результаты и обсуждение

Алгоритм классификации показателя удельных средневзвешенных выбросов тепловоза  $y_i$ ,  $i=1, \dots, 4$ , делит множество всех

возможных значений показателя  $y_i$  на следующие классы с оценками неудовлетворительно ( $q_i=0$ ), удовлетворительно ( $q_i=1$ ), хорошо ( $q_i=2$ ) и отлично ( $q_i=3$ ). На основе норм национальных и региональных стандартов (табл. 1–3) рассчитываются нормативы  $m_{ice}^q$ , разделяющие значения показателя  $y_i$  (выбросов  $i$ -го ВВ тепловозом стадии  $c$  и степени эксплуатации  $e$ ) на вышеуказанные классы:

– норматив  $m_{ice}^1$ , используемый для разделения классов 0 и 1 показателя  $y_i$ , рассчитывается как наибольшее значение из вышеуказанных национальных и региональных норм:

$$m_{ice}^1 = \max(b_{ice}, t_{ic}, s_{ic}), i=1, \dots, 4, c=0, \dots, 4, e=1, \dots, 5; \quad (1)$$

– норматив  $m_{ice}^2$ , используемый для разделения классов 1 и 2 показателя  $y_i$ , равен среднему арифметическому вышеуказанных норм:

$$m_{ice}^2 = (b_{ice} + t_{ic} + s_{ic})/3, i=1, \dots, 4, c=0, \dots, 4, e=1, \dots, 5, \quad (2)$$

причём эта формула не применяется для случаев, когда ГОСТ 33754-2016 не устанавливает верхние границы выбросов; именно, поскольку в этих случаях  $b_{20e} = b_{4ce} = \infty, c=0, \dots, 3, e=1, \dots, 5$  (см. табл. 1), то норматив  $m_{ice}^2$  принимается равным наибольшему значению норм национального и регионального экологических стандартов, указанных в таблицах 2 и 3:

**Таблица 4 / Table 4**  
 Нормативы классификации удельных средневзвешенных выбросов ВВ в ОГ тепловозов  
 Standards for classification of specific average weighted emissions of harmful substances  
 in exhaust gases of operated diesel locomotives

Стадия Stage, $c$	$e$	Нормативы классификации удельных средневзвешенных выбросов (г/кВт·ч) Standards for classification of specific average weighted emissions (g/kWh)			
		оксида углерода carbon monoxide $m_{1ce}$	углеводородов hydrocarbons $m_{2ce}$	оксидов азота nitrogen oxides $m_{3ce}$	твёрдых частиц particulate matter $m_{4ce}$
0, $c=0$	0	10,0; 7,9; 5,0	–; 1,93; 1,3	25,0; 15,76; 9,2	–; 0,54; 0,32
	1	11,5; 8,4; 5,0			
	2	12,5; 8,74; 5,0			
	3	13,0; 8,9; 5,0			
	4	13,5; 9,07; 5,0			
1, $c=1$	0	6,0; 4,22; 3,15	2,4; 1,52; 1,0	18,0; 12,11; 6,0	–; 0,32; 0,20
	1	6,9; 4,52; 3,15	2,76; 1,64; 1,0		
	2	7,5; 4,72; 3,15	3,0; 1,72; 1,0		
	3	7,8; 4,82; 3,15	3,12; 1,76; 1,0		
	4	8,1; 4,92; 3,15	3,24; 1,8; 1,0		
2, $c=2$	0	3,5; 3,2; 2,61	1,0; 0,66; 0,38	12,0; 8,94; 5,7	–; 0,20; 0,15
	1	4,03; 3,38; 2,61	1,15; 0,71; 0,38		
	2	4,38; 3,5; 2,61	1,25; 0,74; 0,38		
	3	4,55; 3,55; 2,61	1,3; 0,76; 0,38		
	4	4,73; 3,61; 2,61	1,35; 0,78; 0,38		
3А, $c=3$	0	3,5; 3,03; 2,09	0,6; 0,42; 0,25	7,4; 6,06; 3,75	–; 0,13; 0,025
	1	4,03; 3,21; 2,09	0,6; 0,44; 0,25		
	2	4,38; 3,32; 2,09	0,6; 0,45; 0,25		
	3	4,55; 3,38; 2,09	0,6; 0,457; 0,25		
	4	4,73; 3,44; 2,09	0,6; 0,463; 0,25		
3Б, $c=4$	0	3,5; 2,36; 1,50	0,4; 0,28; 0,19	4,00; 3,16; 1,74	0,15; 0,072; 0,025
	1	3,5; 2,44; 1,73	0,46; 0,3; 0,19		0,173; 0,079; 0,025
	2	3,50; 2,49; 1,88	0,5; 0,31; 0,19		0,188; 0,084; 0,025
	3	3,5; 2,51; 1,95	0,52; 0,32; 0,19		0,195; 0,087; 0,025
	4	3,5; 2,54; 2,03	0,54; 0,33; 0,19		0,203; 0,089; 0,025

Примечание: нормативы  $m_{ice}^q$ , рассчитанные по формулам (1)–(4) и используемые для классификации показателя  $y_i$ , разделены точкой с запятой.

Note:  $m_{ice}^q$ , standards calculated using formulas (1)–(4) and used to classify the  $y_i$  indicator are separated by semicolons.

$$m_{20e}^2 = \max(t_{20}, s_{20}), m_{4ce}^2 = \max(t_{4c}, s_{4c}),$$

$$c=0, \dots, 4, e=1, \dots, 5; \quad (3)$$

– норматив  $m_{ice}^3$ , используемый для разделения классов 2 и 3 показателя  $y_i$ , равен наименьшему значению из вышеуказанных норм:

$$m_{ice}^3 = \min(b_{ice}, t_{ic}, s_{ic}), i=1, \dots, 4, c=0, \dots, 4,$$

$$e=1, \dots, 5. \quad (4)$$

Норматив класса 1 (удовлетворительные значения) соответствует принятому в РФ уровню показателя выбросов, норматив класса 2 (хорошие значения) – лучшему из локальных (национальных или региональных) уровней, а норматив класса 3 (отличные значения) – мировому уровню соответствующего показателя.

Рассчитанные по формулам (1) – (4) нормативы  $m_{ice}^q$ , используемые далее для классификации показателя  $y_i$ , приведены в соответствующей ячейке таблицы 4. Например, норматив класса 3 ( $q_1=3$ ) для показателя углеводородов ( $i=2$ ) тепловозом стадии 2 ( $c=2$ ) и степени эксплуатации 1 ( $e=2$ ) равен  $m_{101}^2=0,38$  г/кВт-ч.

С использованием нормативов, приведённых в таблице 4, показателю  $y_i, i=1, \dots, 4$ , ВВ тепловоза стадии  $c$  и степени эксплуатации  $e$  присваивается класс:

$$q_i = l \text{ при } m_{ice}^{l+1} < y_i \leq m_{ice}^l, \text{ где } l=0, \dots, 3,$$

$$m_{ice}^0 = \infty, m_{ice}^4 = 0. \quad (5)$$

Например, показателю  $y_1=6,4$  г/кВт-ч выбросов оксида углерода ( $i=1$ ) тепловозом стадии 0 ( $c=0$ ) и степени эксплуатации 1 ( $e=1$ ) присваивается класс 2 ( $q_i=l=2$ ), поскольку при  $l=2$  имеем:  $m_{101}^3=5 < 6,4 \leq 8,4=m_{101}^2$ .

**Алгоритм объединения (свёртки) классов** показателей ВВ, определяемых по формуле (5), позволяет определить класс экологичности эксплуатируемого тепловоза. Этот алгоритм иллюстрирует рисунок 1. Символами  $Q^C, Q^G, Q^E$  обозначены матрицы попарных свёрток классов  $q_i, i=1, \dots, 4$ , и классов  $q^C, q^G$ , получаемых из этих матриц (см. табл. 5).

Матрицы  $Q^C, Q^G, Q^E$ , показанные в таблице 5, сформированы на основе экспертных оценок. Свёртка  $q^C$  для классов  $q_1$  и  $q_2$  – это элемент матрицы  $Q^C$  в строке  $q_1+1$  и столбце  $q_2+1$ . Аналогично производится свёртка классов  $q_3$  и  $q_4$  с выходами матриц  $Q^G$  и  $Q^E$ , соответственно. Выход матрицы  $Q^C$  определяет класс  $q^C$  парниковых газов в ОГ. Выход матрицы  $Q^E$  определяет класс экологичности эксплуатируемого тепловоза  $q^E$  в отношении выбросов ВВ в ОГ.

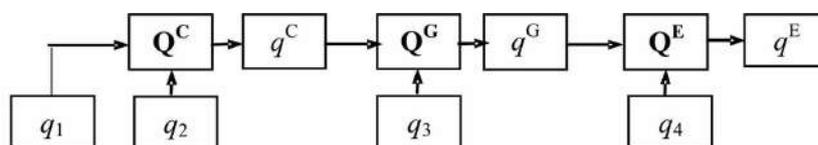
**Механизм согласованного снижения выбросов при эксплуатации тепловозов.**

Описанные выше алгоритмы нормирования, классификации и свёртки показателей выбросов ВВ в ОГ позволяют определить класс экологичности эксплуатируемого тепловоза. На его основе можно реализовать процедуру стимулирования заинтересованных лиц (руководителей, инженеров, производственников, экологов), направленную на согласование их интересов в направлении снижения выбросов ВВ в ОГ эксплуатируемых тепловозов.

Объединяя упомянутые алгоритмы в процедуры, получаем механизм согласованного снижения выбросов ВВ эксплуатируемых тепловозов, формально обозначаемый  $D=\{M, Q, V\}$ . В этом механизме процедура нормирования  $M$  описывается формулами (1) – (4) и таблицей 4. Процедура классификации  $Q$  описывается формулой (5), алгоритмом свёртки классов (рис. 1) и матрицами (табл. 5).

Процедура стимулирования  $V$  обеспечивает поощрение заинтересованных лиц при снижении выбросов ВВ в ОГ эксплуатируемых тепловозов. В случае присвоения тепловозу  $j$ -го класса экологичности, поощрение равно  $V_{ce}(j), j=0, \dots, 3$ . При этом, чем выше класс, тем больше поощрение:  $V_{ce}(0) < V_{ce}(1) < V_{ce}(2) < V_{ce}(3)$ . Методология формирования процедуры стимулирования изложена в [19]. Теория и методология построения механизмов управления большими транспортными системами с процедурами стимулирования разработана в [20].

Например, показатели эксплуатируемого тепловоза ТГМ-6А стадии 0 ( $c=0$ ):  $y_3=25$  г/кВт-ч,  $y_1=10$  [21]. Используя алгоритм (5)



**Рис. 1.** Алгоритм свёртки классов показателей ВВ (по формуле 5) для определения класса экологичности эксплуатируемого тепловоза  
**Fig. 1.** Algorithm for convolution of classes of emissions indicators (by formula 5) to determine the environmental class of the diesel locomotive

Таблица 5 / Table 5

Матрицы попарной свёртки  $Q^C, Q^G, Q^E$  / Pairwise convolution matrices  $Q^C, Q^G, Q^E$

Матрица / Matrice														
$Q^C$					$Q^G$					$Q^E$				
Класс $q_1$ Class $q_1$	Класс $q_2$ / Class $q_2$				Класс $q_3$ Class $q_3$	Класс $q^C$ Class $q^C$				Класс $q^G$ Class $q^G$	Класс $q_4$ Class $q_4$			
	0	1	2	3		0	1	2	3		0	1	2	3
0	0	0	1	1	0	0	0	1	2	0	0	0	0	
1	0	1	1	2	1	0	0	1	3	1	0	1	1	
2	1	1	2	3	2	1	1	2	3	2	0	1	1	
3	1	2	3	3	3	1	2	3	3	3	0	1	2	

и нормативы таблицы 4 при  $c=0$ , для любой степени эксплуатации  $e$  имеем  $q_1=1, q_3=1$ . Выбросы вредных веществ ТГМ-6А также соответствуют классу 1:  $q_2=1, q_4=1$ , так как  $y_2$  и  $y_4$  для ТГМ-6А не нормируются.

Сворачивая классы  $q_1$  и  $q_2$  согласно алгоритму (рис. 1), на выходе матрицы  $Q^C$  (табл. 5) получаем  $q^C=1$ . Свёртка  $q^C$  с  $q_3$  по матрице  $Q^G$  (табл. 5) даёт класс  $q^G=0$ . Свёртка  $q^G$  с  $q_4$  по матрице  $Q^E$  даёт  $q^E=0$ . Получаем, что ТГМ-6А имеет класс экологичности 0. Следовательно, эксплуатируемый тепловоз ТГМ-6А подлежит модернизации или капитальному ремонту в первую очередь.

Для сравнения, рассмотрим эксплуатируемый тепловоз ТЭМП1тт, созданный на базе ТГМ-6А [22]. Данный тепловоз оборудован дизелями Volvo Penta TAD1641 VE-B, производимыми с 2000-го года [21], поэтому ТЭМП1тт относится к стадии 2. Соответственно, для оценки его экологичности используются нормативы таблицы 4 при  $c=2$ .

По результатам эксплуатации ТЭМП1тт установлено, что  $e=0, y_1=3,5, y_2=1,0, y_3=6,0, y_4=0,2$  г/кВт-ч [21]. Используя нормативы таблицы 4 при  $c=2, e=0$ , из (5) имеем  $q_1=1, q_2=1, q_3=2, q_4=2$ . Сворачивая эти классы согласно процедуре классификации  $Q$ , получаем  $q^C=1, q^G=1, q^E=1$ . Таким образом, ТЭМП1тт имеет первый класс экологичности. Соответственно, его разработчики заслужили поощрение  $V_{20}(1)$ .

В качестве третьего примера рассмотрим тепловозы серии Genset. Компания Union Pacific эксплуатирует маневровые тепловозы серии Genset с шестью небольшими дизельными двигателями с сажевыми фильтрами (DPF) [23]. При необходимости Genset использует мощность всех двигателей, но для многих работ требуется меньшая мощность и используется меньше дизелей, что приводит к уменьшению расхода топлива и выбросов ВВ.

Результаты сертификационных испытаний Genset привели к выводу, что выбросы  $y_1, y_2$  практически сократились на треть,  $y_3$  – в пять раз,  $y_4$  – в 10 раз по отношению к маневровому тепловозу-прототипу. Следовательно, Genset удовлетворяет Tier3 [23]. При этом  $c=1$ , так как его двигатели начали производиться до 2000 г. [24]. Оценки выбросов этим тепловозом определяются из приведённых относительных характеристик их снижения, и равны:  $y_1=3,3; y_2=0,96; y_3=35,20; y_4=1,3$  г/кВт-ч. Далее, поскольку этот тепловоз эксплуатировался более десяти лет, то степень его эксплуатации  $e=4$ . Сворачивая классы согласно алгоритму (рис. 1) и матрицам (табл. 5), получаем  $q_1=2, q_2=3, q_3=0, q_4=1, q^C=3, q^G=2, q^E=1$ . Таким образом, тепловоз-прототип относится к первому классу экологичности.

Определим теперь класс экологичности тепловоза Genset с шестью двигателями при сертификационных испытаниях  $e=0$ . Поскольку его двигатели были поставлены на производство после 2005 г. [24], то тепловоз Genset относится к стадии 2 (т.е.  $c=2$ ). Поскольку этот тепловоз был сертифицирован по Tier 3, то из таблицы 2 (при  $c=2$ ) получаем  $y_1=2,09, y_2=0,60, y_3=7,04, y_4=0,13$ . Сворачивая классы согласно алгоритму (рис. 1) и матрицам, приведённым в таблице 5, получаем  $q_1=3, q_2=2, q_3=2, q_4=3, q^C=3, q^G=3, q^E=3$ . Таким образом, тепловоз Genset относится к высшему – третьему классу экологичности. Соответственно, его разработчики заслужили поощрение  $V_{20}(3)$ .

### Заключение

В статье предложен механизм оценки и побуждения к снижению выбросов в атмосферу парниковых газов и мелких частиц от сжигания топлива при эксплуатации тепловозов. Предлагаемая процедура формирования интегральной оценки по разным компонентам ВВ основывается на использовании ограничений

по этим выбросам, зафиксированных в российских и зарубежных стандартах. На основе вычисления интегральных оценок выбросов разработана процедура классификации эксплуатируемых тепловозов. Приведённые примеры классификации уровней экологичности для ряда прототипов тепловозов иллюстрируют предложенный механизм экологизации и показывают возможности сравнения типов эксплуатируемых тепловозов по степени их вредного воздействия на окружающую среду. Учёт отечественных и международных требований к выбросам ВВ тепловозами при формировании классов экологичности определяет согласованность предложенного механизма с указанными требованиями.

Принципы построения предложенного механизма позволяют применить его при оценке вредного воздействия эксплуатации каждого типа тепловоза на окружающую среду по разработанному алгоритму.

Результаты статьи были использованы при формировании концепции требований к эксплуатируемым тепловозам ОАО «РЖД» в области охраны окружающей среды.

Общность подхода к формированию механизма оценки вредного воздействия выбросов эксплуатируемых тепловозов позволяет рассчитывать на его успешное применение в дальнейших исследованиях для оценки экологических воздействий других видов транспорта, использующих для тяги дизельные двигатели, например, для морских и речных судов.

### Литература

1. Караулов В.М., Караулова Л.В., Пугач В.Н., Каранина Е.В. Экологическая эффективность экономики как основа устойчивого развития региона // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 4. С. 211–224. doi: 10.25750/1995-4301-2024-4-211-224
2. Райкова С.В., Гусев Ю.С., Мазилев С.И., Поздняков М.В., Комлева Н.Е., Микеров А.Н. Влияние загрязнителей атмосферного воздуха на здоровье человека (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 4. С. 6–15. doi: 10.25750/1995-4301-2023-4-006-020
3. Ашихмина Т.Я., Кантор Г.Я., Тимонов А.С., Домнина Е.А., Дабах Е.В., Сырчина Н.В., Кондакова Л.В., Кутявина Т.И., Скугорева С.Г., Огородникова С.Ю., Рутман С.Ю., Кузнецов Д.А. Мониторинг атмосферного воздуха в районе предприятий по утилизации опасных промышленных отходов // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 1. С. 38–46. doi: 10.25750/1995-4301-2023-1-038-046
4. Сырчина Н.В., Кантор Г.Я., Пугач В.Н., Ашихмина Т.Я. Вклад углекислого газа и воды в парниковый эффект

// Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 218–223. doi: 10.25750/1995-4301-2021-4-218-223

5. Karanina E.V., Ilysheva N.N., Baldesku E.V., Toporkova A.F. Corporate carbon management system // Theoretical and Applied Ecology. 2023. No. 3. P. 215–221. doi: 10.25750/1995-4301-2023-3-215-221

6. Малышев А.А., Солодков Н.Н., Коробкова Н.А. Формирование модели управления экологизированным производством // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 2. С. 93–100. doi: 10.25750/1995-4301-2022-2-093-100

7. Макарова Н.М., Балашов А.Л., Тойгильдин А.М., Свирский А.Г. Особенности создания систем автоматического контроля загрязняющих веществ от стационарных источников выбросов // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 4. С. 35–43. doi: 10.25750/1995-4301-2023-4-035-043

8. Савосина М.И. Оценка эффективности устойчивого развития транспорта // Мир транспорта. 2020. Т. 18. № 2. С. 50–66. doi: 10.30932/1992-3252-2020-18-50-66

9. Transport technologies and policy scenarios to 2050. London: World Energy Council, 2007. 139 p.

10. About transportation & climate change: transportation's role in climate change: overview – DOT Transportation and climate change clearinghouse [Электронный ресурс] <https://web.archive.org/web/20151031215015/http://climate.dot.gov/about/transportations-role/overview.html> (Дата обращения: 20.06.2025).

11. Kim M.-K., Park D., Kim D.Y. Quantification of the ecological value of railroad development areas using logistic regression analysis // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2021. V. 18. No. 22. Article No. 11764. doi: 10.3390/ijerph182211764

12. Plev S., Stanchev H., Mitev E. An experimental comparison of emissions of a common-rail diesel engine fueled with ethanol and butanol additives // Transport, ecology – sustainable development: EKO Varna 2022: AIP conference proceedings. 2023. V. 2868. No. 1. Article No. 020018. doi: 10.1063/5.0165370

13. Цыганов В.В., Еналеев А.К., Савушкин С.А. Механизм проектирования экологических дизель-электровозов // Экология промышленного производства. 2025. № 3. С. 57–62. doi: 10.52190/2073-2589\_2025\_3\_57

14. Цыганов В.В., Еналеев А.К., Савушкин С.А. Прогрессивный механизм экологичной модернизации тепловозов // Экология и промышленность России. 2025. Т. 29. № 7. С. 59–65. doi: 10.18412/1816-0395-2025-7-59-65

15. Цыганов В.В., Еналеев А.К., Савушкин С.А. Механизмы устойчивого развития железнодорожного транспорта путём капитального ремонта тепловозов // Управление большими системами. 2025. № 117. С. 286–319. doi: 10.25728/ubs.2025.117.14

16. Final rule for control of emissions of air pollution from locomotive engines. Emission factors for locomotives [Электронный ресурс] <https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines/final-rule-control>

emissions-air-pollution-locomotive (Дата обращения: 10.02.2025).

17. Regulatory impact analysis: control of emissions of air pollution from locomotive engines. Current U.S. emission regulations [Электронный ресурс] <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P10023S4.PDF?DockKey=P10023S4.PDF> (Дата обращения: 10.02.2025).

18. Emission standards. EU: Nonroad engines [Электронный ресурс] <https://dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php> (Дата обращения: 10.02.2025).

19. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. М.: ЛЕНАНД, 2022. 500 с.

20. Цыганов В.В., Малыгин И.Г., Еналеев А.К., Савушкин С.А. Большие транспортные системы: теория, методология, разработка и экспертиза. СПб.: ИПТ РАН, 2016. 216 с.

21. Маневровые тепловозы ТЭМП для промышленного железнодорожного транспорта. Нижний Тагил: Объединение производителей железнодорожной техники, АО ЕВРАЗ, 2023. 24 с.

22. Florentsev S., Polyukhovych V., Evpakov V. Modernization of industrial shunting diesel locomotives for technological railway transport // International Ural Conference on Electrical Power Engineering. Magnitogorsk: IEEE, 2022. P. 64–68. doi: 10.1109/Ural-Con54942.2022.9906764

23. Genset switcher. Cleaner locomotives [Электронный ресурс] [https://www.up.com/cs/groups/public/@uprr/@environment/documents/up\\_pdf\\_nativedocs/pdf\\_up\\_emg\\_genset.pdf](https://www.up.com/cs/groups/public/@uprr/@environment/documents/up_pdf_nativedocs/pdf_up_emg_genset.pdf) (Дата обращения: 10.02.2025).

24. GE Transportation. Early locomotive models [Электронный ресурс] <http://www.getransportation.com/rail/rail-products/locomotives/earlier-locomotive-models.html> (Дата обращения: 10.02.2025).

## References

1. Karaulov V.M., Karaulova L.V., Pugach V.N., Karanina E.V. Eco-efficiency as the basis for sustainability development of the region // Theoretical and Applied Ecology. 2024. No. 4. P. 211–224 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2024-4-211-224

2. Raikova S.V., Gusev Yu.S., Mazilov S.I., Pozdnyakov M.V. Komleva N.E., Mikerov A.N. Effects of atmospheric air pollutants on human health (overview) // Theoretical and Applied Ecology. 2023. No. 3. P. 6–15 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2023-4-006-020

3. Ashikhmina T.Ya., Kantor G.Ya., Timonov A.S., Domnina E.A., Dabakh E.V., Syrchina N.V., Kondakova L.V., Kut'yavina T.I., Skugoreva S.G., Ogorodnikova S.Yu., Rutman V.V., Kuznetsov D.A. Atmospheric air monitoring in the area of enterprises for the disposal of hazardous industrial waste // Theoretical and Applied Ecology. 2023. No. 1. P. 38–46 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2023-1-038-046

4. Syrchina N.V., Kantor G.Ya., Pugach V.N., Ashikhmina T.Ya. Contribution of carbon dioxide and water to the greenhouse effect // Theoretical and Applied Ecology. 2021. No. 4. P. 218–223 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2021-4-218-223

5. Karanina E.V., Plysheva N.N., Baldesku E.V., Toporkova A.F. Corporate carbon management system // Theoretical and Applied Ecology. 2023. No. 3. P. 215–221. doi: 10.25750/1995-4301-2023-3-215-221

6. Malyshev A.A., Solodkov N.N., Korobkova N.A. Formation of a green production management model // Theoretical and Applied Ecology. 2022. No. 2. P. 93–100 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2022-2-093-100

7. Makarova N.M., Balashov A.L., Toygildin A.M., Svirskiy A.G. Features of creating systems for automatic control of pollutants from stationary sources of emission // Theoretical and Applied Ecology. 2023. No. 4. P. 35–43 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2023-4-035-043

8. Savosina M.I. Assessment of effectiveness of sustainable transport development // World of Transport and Transportation. 2020. V. 18. No. 2. P. 50–66 (in Russian). doi: 10.30932/1992-3252-2020-18-50-66

9. Transport technologies and policy scenarios to 2050. London: World Energy Council, 2007. 139 p.

10. About transportation & climate change: transportation's role in climate change: overview – DOT Transportation and climate change clearinghouse [Internet resource] <https://web.archive.org/web/20151031215015/http://climate.dot.gov/about/transportations-role/overview.html> (Accessed: 20.06.2025).

11. Kim M.-K., Park D., Kim D.Y. Quantification of the ecological value of railroad development areas using logistic regression analysis // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2021. V. 18. No. 22. Article No. 11764. doi: 10.3390/ijerph182211764

12. Iliev S., Stanchev H., Mitev E. An experimental comparison of emissions of a common-rail diesel engine fueled with ethanol and butanol additives // Transport, ecology – sustainable development: EKO Varna 2022: AIP conference proceedings. 2023. V. 2868. No. 1. Article No. 020018. doi: 10.1063/5.0165370

13. Tsyganov V., Enaleev A., Savushkin S. Mechanism for improving the environmental friendliness of diesel-electric locomotives // Industrial ecology (IE). 2025. No. 3. P. 57–62 (in Russian). doi: 10.52190/2073-2589\_2025\_3\_57

14. Tsyganov V., Yenaleev A., Savushkin S. Progressive mechanism of environmentally friendly modernisation of diesel locomotives // Ecology and Industry of Russia. 2025. V. 29. No. 7. P. 59–65 (in Russian). doi: 10.18412/1816-0395-2025-7-59-65

15. Tsyganov V., Enaleev A., Savushkin S. Mechanisms of sustainable development of railway transport by means of capital repairs of diesel locomotives // Large-Scale Systems Control. 2025. No. 117. P. 286–319. doi: 10.25728/ubs.2025.117.14

16. Final rule for control of emissions of air pollution from locomotive engines. Emission factors for locomotives [Internet resource] <https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines/final-rule-control-emissions-air-pollution-locomotive> (Accessed: 10.02.2025).

17. Regulatory impact analysis: control of emissions of air pollution from locomotive engines. Current U.S. emission regulations [Internet resource] <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P10023S4.PDF?Dockkey=P10023S4.PDF> (Accessed: 10.02.2025).

18. Emission standards. EU: Nonroad engines [Internet resource] <https://dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php> (Accessed: 10.02.2025).

19. Novikov D.A. Organizations control theory. Moskva: LENAND, 2022. 500 p. (in Russian).

20. Tsyganov V., Malygin I., Enaleev A., Savushkin S. Large scale transport systems: theory, methodology, devel-

opment and expertise. Sankt-Peterburg: IPT RAN, 2016. 216 p. (in Russian).

21. TEMP shunting diesel locomotives for industrial rail transport. Nizhny Tagil: Obedinenie proizvoditeley zheleznodorozhnoy tekhniki, EVRAZ JSC, 2023. 24 p. (in Russian).

22. Florentsev S., Polyukhovych V., Evpakov V. Modernization of industrial shunting diesel locomotives for technological railway transport // International Ural Conference on Electrical Power Engineering. Magnitogorsk: IEEE, 2022. P. 64–68. doi: 10.1109/UralCon54942.2022.9906764

23. Genset switcher. Cleaner locomotives [Internet resource] [https://www.up.com/cs/groups/public/@uprr/@environment/documents/up\\_pdf\\_nativedocs/pdf\\_up\\_emg\\_genset.pdf](https://www.up.com/cs/groups/public/@uprr/@environment/documents/up_pdf_nativedocs/pdf_up_emg_genset.pdf) (Accessed: 10.02.2025).

24. GE Transportation. Early locomotive models [Internet resource] <http://www.getransportation.com/rail/rail-products/locomotives/earlier-locomotive-models.html> (Accessed: 10.02.2025).