

учеными АО «ВНИИЖТ» прорабатываются вопросы практического внедрения новых технологических схем в мировую контейнерную систему, тем самым повышая мобильность контейнерного грузооборота.

### Список литературы

1 The past, the present and especially the future of automation in container terminals [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://piernext.portdebarcelona.cat/en/technology/the-past-the-present-and-especially-the-future-of-automation-in-container-terminals/>. – Дата доступа : 10.04.2023.

2 Автоматизация контейнерного терминала: выявление отличительных характеристик терминала и рабочих параметров [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://link.springer.com/article/10.1057/s41278-022-00240-y>. – Дата доступа : 10.04.2023.

3 Контейнерные козловые краны [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://os1.ru/article/6814-konteynerye-kozlovye-kranu>. – Дата доступа : 02.04.2023.

4 Container Terminal Automated Equipment and Technologies Market, Edition 2021 – 96 % of Container Terminals Yet to Witness Automation of Any Kind Presents Great Opportunities [Electronic resource]. – Mode of access : <https://finance.yahoo.com/news/container-terminal-automated-equipment-technologies-090300241.html>. – Date of access : 01.04.2023.

5 Технологическая карта на погрузочно-разгрузочные работы и складирование грузов козловым краном КК-20-11,3-9 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/norma/396583/](https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/396583/). – Дата доступа : 10.04.2023.

6 Судебные и нормативные акты РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://sudact.ru/law/normativy-vremeni-na-pogruzochno-razgruzochnye-raboty-vypolniaemye-na-normativy/3/razdel-i/b/4/tablitisa-20/>. – Дата доступа : 11.04.2023.

7 Увеличение перерабатывающей способности контейнерного терминала станции Хабаровск [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://studizba.com/files/show/doc/237305-6-pz-vaskevich-k-o.html>. – Дата доступа : 10.04.2023.

8 Общая характеристика ОАО «НМТП» и его западного района [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://tykovodstvo.ru/exspl/36598/index.html?page=7>. – Дата доступа : 12.04.2023.

9 Типовые схемы комплексной механизации [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://stroy-technics.ru/article/tipovye-skhemy-kompleksnoi-mekhanizatsii>. – Дата доступа : 10.04.2023.

10 Container Handling [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://igg.org.uk/rail/8-yards/y-cont.htm>. – Дата доступа : 14.04.2023.

УДК 625.8

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ПЕРЕВОЗОЧНЫЙ ПРОЦЕСС

*Т. М. КЛЕШКОВА, Е. А. МИЛОВАНОВА*

*Иркутский государственный университет путей сообщения,  
Российская Федерация*

Важнейшим направлением развития ОАО «РЖД» является увеличение объема перевозок. Согласно Стратегии развития железнодорожного транс-

порта в РФ до 2030 года [2] прогнозируется рост грузоперевозок на 29,1–36,5 % по сравнению с 2015 г.

Для достижения поставленных задач необходимо выполнять график движения поездов, являющийся характеристикой как качества эксплуатационной работы, исполнения технологии перевозочных процессов, так и эффективности применения пропускной и провозной способности участков, а также подвижного состава.

При нарушении графика движения поездов происходит сбой ритма работы дороги, что приводит к снижению уровня клиентоориентированности и большим экономическим потерям.

Задержки поездов – главный фактор, влияющий на ход выполнения графика движения поездов, который нарушает работу всего участка.

Для исследования нарушения перевозочного процесса на перегоне Камышет – Ук ВСЖД рассматривались случаи задержек грузовых поездов (рисунок 1).

Статистические данные эксплуатационного локомотивного депо Нижнеудинск ВСЖД показывают, что в 2022 году наибольшее количество задержек грузовых поездов приходится на локомотив серии 3ЭС5К с поосным регулированием (142 случая), что составляет 75 % от всех задержек грузовых поездов. При этом количество случаев задержек на локомотиве серии 3ЭС5К с поосным регулированием увеличивается, так в 2019 году зафиксировано 110 случаев, в 2020 году – 129, в 2021 году – 135.

Решение проблемы задержек грузовых поездов возможно лишь при установлении причин, вызывающих их за период с 2019 по 2021 годы. Причины задержек грузовых поездов представлены в таблице 1.

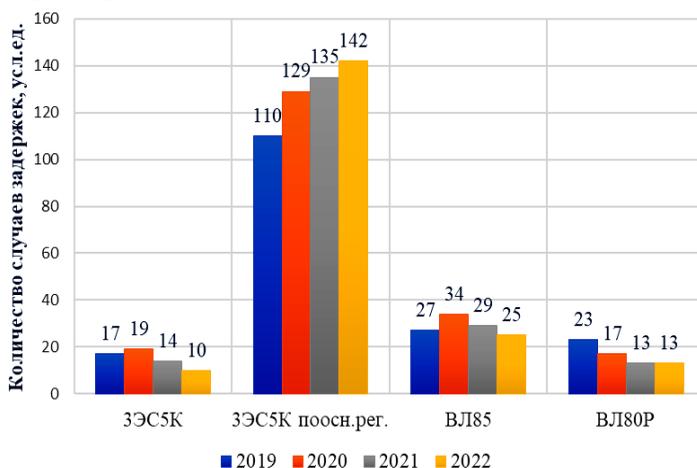


Рисунок 1 – Количество задержек грузовых поездов с 2019 по 2022 год

Таблица 1 – Причины задержек грузовых поездов на перегоне Камышет – Ук ВСЖД

Причины	Годы			
	2019	2020	2021	2022
Боксование колесных пар	79	83	88	98
Срабатывание ГВ	29	35	26	27
Срабатывание ТРТ	5	8	4	3
Перегрев оборудования	31	34	36	30
Отключение МСУД	1	1	2	1
Отключение ВБ	32	38	35	31

По данным таблицы 1 можно сделать вывод, что основной причиной задержек грузовых поездов является боксование колесных пар, которое составило в 2022 году 98 случаев или 52 % от общего количества причин задержек поездов в 2022 году.

С 2019 года по 2022 год (рисунок 2), наибольшее число задержек грузовых поездов пришлось на боксование колесных пар – 45 % от общего числа задержек.

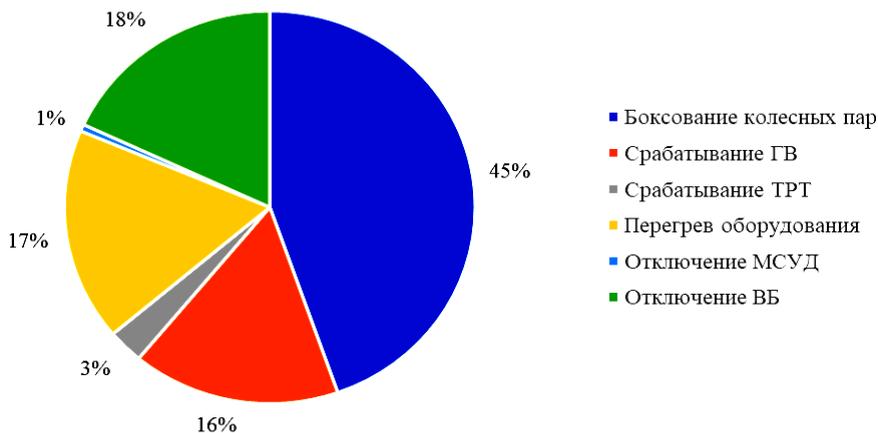


Рисунок 2 – Диаграмма причин задержек грузовых поездов на перегоне Камышет – Ук

Боксование – явление, вследствие которого снижается сцепление колесных пар тягового подвижного состава с рельсами, которое характеризуется проскальзыванием (сила тяги оказывается больше силы сцепления колеса с рельсом). Колесная пара начинает проскальзывать по поверхности головки рельса и совершать вращательное движение с повышенной частотой по отношению к другим колесным парам. Частота вращения колесной пары и якоря тягового электродвигателя резко возрастают, что ведет к повреждению

ям механического и электрического оборудования локомотива, повреждению верхнего строения пути, создает угрозу обрыва автосцепных устройств поезда.

Причины, способствующие боксованию:

- превышение расчетного веса поезда для данного участка;
- загрязнение поверхности катания бандажа колесной пары или поверхности рельса;
- ухудшение погодных условий, таких как дождь, снег, туман, изморозь;
- разница диаметра бандажей у одной колесной пары более 2 мм;
- разгрузка первой оси тележки при тяговом усилии;
- нарушения в работе электрического оборудования;
- нахождение тягового подвижного состава в кривой малого радиуса (при этом неизбежно проскальзывание, так как колесо, движущееся по внешней нитке рельсового пути, проходит больший путь, чем колесо, движущееся по внутренней нитке).

Последствия боксования:

- уменьшение силы тяги локомотива при боксовании колёсных пар приводит за собой остановку поезда на подъемах;
- резкое увеличение частоты вращения тяговых двигателей может вызвать огонь по коллектору;
- размотка бандажа якоря тягового двигателя, так как увеличиваются центробежные силы, действующие на якорную обмотку;
- проворот бандажей колесных пар;
- образование пропилов на головках рельс и поверхности катания бандажей колёсных пар.

**Таблица 2 – Количество случаев боксования в зависимости от массы состава на участке Камышет – Ук**

Масса состава, т	Год			
	2019	2020	2021	2022
От 4000 до 6000	2	1	3	4
» 6001 » 8000	75	82	85	94

Рисунок 3 свидетельствует, что большая часть случаев боксования приходится на вес более 6000 т.

По итогам расшифровки скоростемерных лент и электронных носителей информации эксплуатационных локомотивных депо Нижнеудинск, Тайшет (Восточно-Сибирской железной дороги) и Иланская (Красноярской железной дороги) сформирована таблица нарушений, допущенных локомотивными бригадами соответствующих депо.

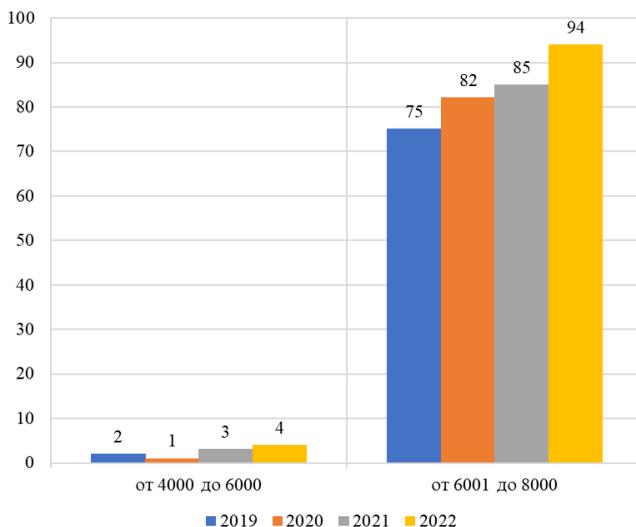


Рисунок 3 – Количество случаев боксований в зависимости от веса поезда

Таблица 3 – Количество случаев боксования, допущенных локомотивными бригадами эксплуатационных депо

Депо приписки локомотивной бригады	Год			
	2019	2020	2021	2022
ТЧЭ Иланск	14	15	12	10
ТЧЭ Тайшет	39	35	30	35
ТЧЭ Нижнеудинск	45	37	39	33

Данные расшифровки скоростемерных лент, свидетельствующие о фактах нарушений в работе локомотивных бригад, отражают необходимость качественного, систематического технического обучения работников депо.

Среди внешних факторов, влияющих на перевозочный процесс, оценивалось также наличие кривых малого радиуса, характерных как для рассматриваемого перегона, так и для ВСЖД в целом и неблагоприятных погодных условий. Зависимость силы тяги локомотива от скорости определяется типом включения электродвигателей и ограничением магнитного поля, коэффициентом сцепления колеса и рельса. Рельсы должны соответствовать ГОСТ Р 51685. Для предварительных тяговых расчетов допускается использовать расчетные тяговые, топливные и токовые характеристики [4].

На начальных участках тяговых характеристик максимальное значение силы тяги ограничивается, как правило, сцеплением рельса и колеса (величиной  $P_{сц}$ ). Значение коэффициента сцепления  $\Psi_k$  для грузовых электровозов переменного тока

$$\Psi_{\kappa} = 2,75 + \frac{39,2}{50 + 6v} \cdot 0,0059v,$$

где  $v$  – скорость локомотива, принимаем  $v = 70$  км/ч = 19,44 м/с

$$\Psi_{\kappa} = 2,75 + \frac{39,2}{50 + 6 \cdot 19,44} \cdot 0,0059 \cdot 19,44 = 2,78.$$

Если на расчетном и труднейших подъемах имеются кривые малого радиуса (менее 500 м), снижение расчетного коэффициента сцепления учитывается коэффициентом  $K_{\text{кр}}$  по формуле

$$\Psi_{\text{ккр}} = \Psi_{\kappa} K_{\text{кр}},$$

где  $\Psi_{\kappa}$  – расчетный коэффициент сцепления.

Коэффициент  $K_{\text{кр}}$

$$K_{\text{кр}} = \frac{250 + 1,55R}{500 + 1,1R},$$

где  $R$  – радиус кривой, принимаем  $R = 286$  м.

$$K_{\text{кр}} = \frac{250 + 1,55 \cdot 286}{500 + 1,1 \cdot 286} = 0,85;$$

$$\Psi_{\text{ккр}} = 2,78 \cdot 0,85 = 2,363.$$

В зимний период при особо неудовлетворительных условиях сцепления в зависимости от особенностей участка расчетный коэффициент сцепления локомотивов уменьшается в соответствии с данными опытных поездок, но не более 15 %.

Снижение коэффициента в зимний период в кривых малого радиуса:

$$\Psi'_{\text{ккр}} = \Psi_{\text{ккр}} \cdot 0,85;$$

$$\Psi'_{\text{ккр}} = 2,363 \cdot 0,85 = 2,01.$$

Касательная сила тяги одного колеса на участке ограничения по сцеплению

$$F_{\kappa} = P_{\text{сц}} \Psi'_{\text{ккр}},$$

где  $P_{\text{сц}}$  – сцепной вес локомотива, принимаем  $P_{\text{сц}} = 288$  т.

$$F_{\kappa} = 288 \cdot 2,001 = 576,288 \text{ кН}.$$

Определим касательную силу тяги локомотива

$$F_{\text{л}} = F_{\kappa} n,$$

где  $n$  – количество тяговых двигателей, принимаем  $n = 12$ .

$$F_{\text{л}} = 576,288 \cdot 12 = 6915,456 \frac{\text{ТМ}}{\text{С}} = 704,94 \text{ кН}.$$

Исходя из расчетов можем сделать вывод, что сила тяги локомотива при движении в кривых малого радиуса и при неблагоприятных условиях составила 704,94 кН. В сравнении с силой тяги локомотива при нормальных условиях наблюдается ее снижение на 7 %.

Моделирование графического движения поездов методом временных интервалов позволяет определить нагрузки, изменяющиеся во времени и по длине участка. Для каждого временного интервала рассчитываются нагрузки и все электрические параметры. При этом поезда являются нагрузкой, для которой определяются токи и напряжения в сети. Конечным результатом являются кривые, отражающие изменение во времени тягово-динамических и электрических величин. На основе графика составляют расписание движения поездов, в котором указывают время прибытия, отправления и проследования поездов для каждого раздельного пункта.

В программе «Редактор графиков движения» программного комплекса КОРТЭС функция «Случайный график для заданных размеров движения» предназначена для автоматического построения вариантов графика исходя из заданных размеров движения на участке. Случайный график может содержать фиксированные нитки, например, скоростных и пассажирских поездов. Размеры движения задаются таблицей, в которую необходимо ввести массы и количество поездов для требуемых категорий отдельно для нечётного и чётного направления [5].

При вводе параметров автоматически рассчитываются доли поездов каждой градации, а также статистические интервалы между поездами. Проверка параметров работы системы тягового электроснабжения проводится по участку фидерной зоны. Перегон Камышет – Ук расположен на фидерной зоне Замзор – Ук (рисунок 4).

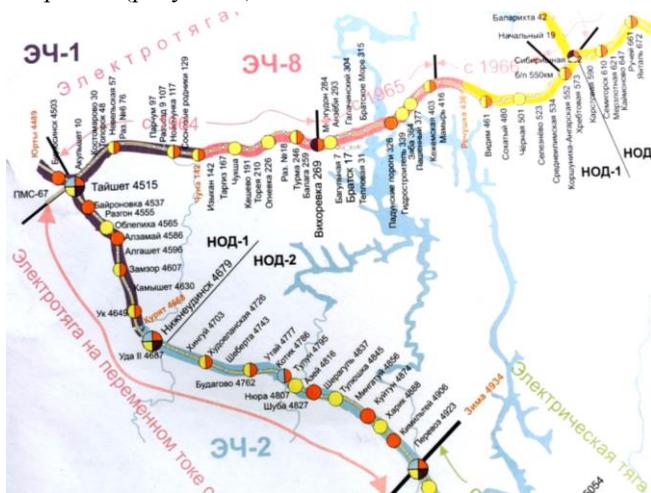


Рисунок 4 – Фидерная зона Замзор – Ук

Для выполнения проверки параметров работы системы тягового электроснабжения перегона Камышет – Ук составлен график движения поездов на перегоне для размеров движения 7100-6300-4200, согласно приказу № 128 от 25.04.2022 г. по участкам с ограничением межпоездных интервалов по условиям электроснабжения, норм масс (таблица 3) и размеров движения [6].

**Таблица 3 – Норма массы и размеры движения поездов**

Норма массы грузовых поездов, тонн	Размеры движения грузовых поездов, поездов/сутки	
	Нечетное движение	Четное движение
7100	0	28
6300	2	14
4200	14	26

Для расчета режимов на перегоне Камышет – Ук был составлен параллельный график движения поездов на перегоне (рисунки 5, 6) для размеров движения 7100-6300-4200, согласно приказу № 128 по участкам с ограничением межпоездных интервалов по условиям электроснабжения [6]. Результаты расчетов системы тягового электроснабжения представлены в таблице 4.

По результатам расчетов при заданном графике движения поездов среднее значение напряжения за 3 минуты на данном пути составило 19,61 кВ при расчетном напряжении на токоприемниках электроподвижного состава, для дорог переменного тока должно быть не менее 21 кВ. Межпоездной интервал составлен с ограничением по напряжению в контактной сети.

Снижение скорости при пониженном напряжении

$$v_1 = \frac{U'}{U} \cdot v,$$

где  $U'$  – расчетное пониженное напряжение на токоприемнике, кВ

$$v_1 = \frac{19,61}{25} \cdot 70 = 54,91 \text{ км/ч.}$$

Так как данное проседание напряжения в контактной сети снижает скорость движения локомотива до 54,91 км/ч или на 22 % при установленной скорости 70 км/ч на данном перегоне согласно распоряжению [3], то для обеспечения пропуска поездов с заданным межпоездным интервалом необходимы мероприятия по повышению уровня напряжения контактной сети. Результаты тяговых расчетов в программе комплекса КОРТЭС представлены на рисунке 7.

Как было показано выше, рассмотренные факторы (наличие кривых малого радиуса на участке, неблагоприятные погодные условия, проседание напряжения контактной сети) отрицательно влияют на осуществление перевозочного процесса перегона Камышет – Ук ВСЖД. Работы по стабилизации рабочего напряжения за счет соблюдения межпоездного интервала, а также снижение весовых норм перегона положительно отразятся на функционировании данного участка.

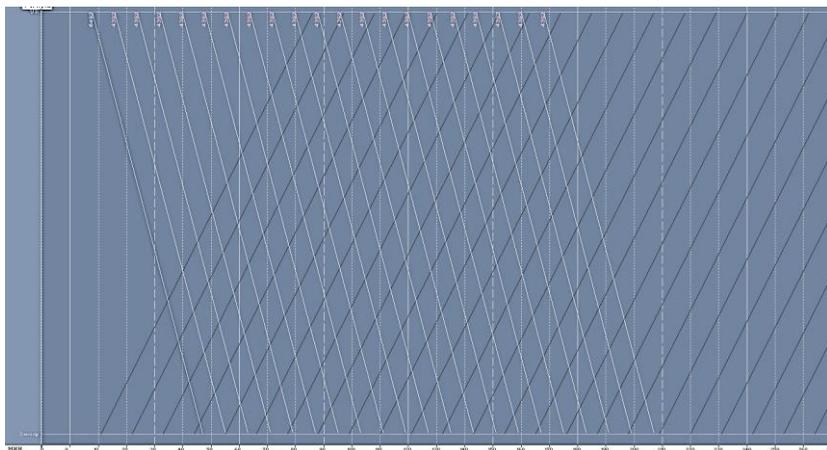


Рисунок 5 – График движения поездов в нечетном направлении

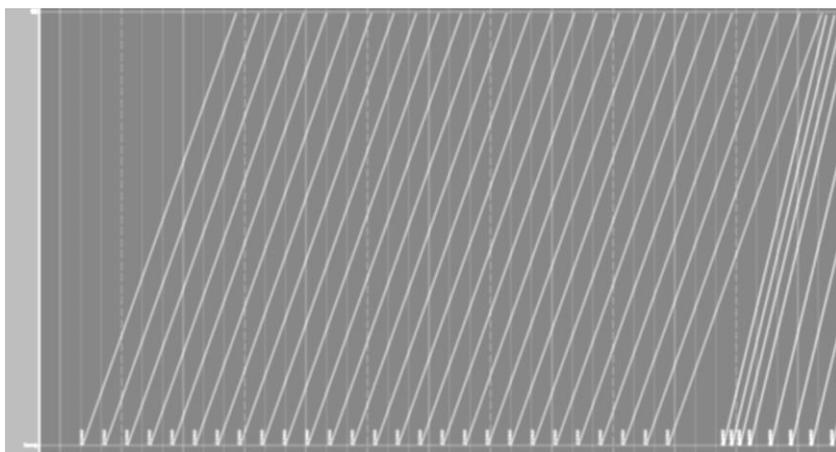


Рисунок 6 – График движения поездов в четном направлении

Таблица 4 – Результаты расчетов системы тягового электроснабжения

Участок	Количество трансформаторов	Расход энергии		$U$ , кВ		Нагрев проводов, С		Потери в тяговой сети	
		активной, кВт·ч	реактивной, квар·ч	min	среднее за 3 минуты	в КС	в отсосо	кВт·ч	%
Замзор – Ук	2	318459	148916	19,42	19,61	74	66	8160	2,6

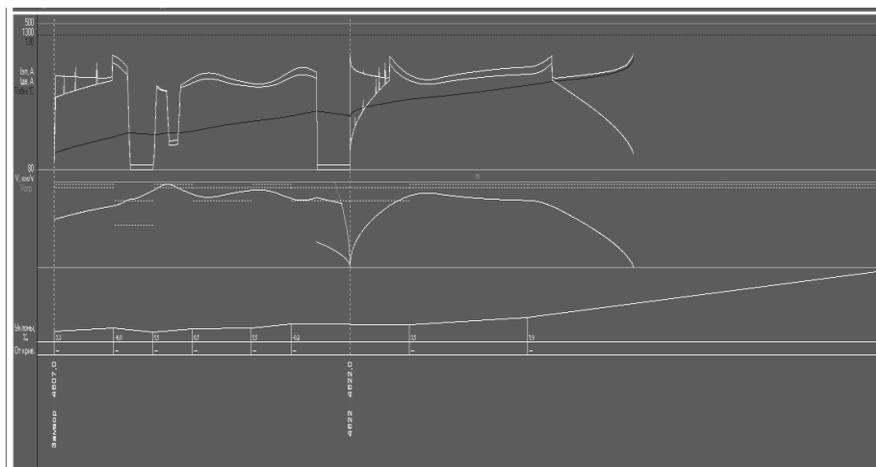


Рисунок 7 – Результаты тяговых расчетов в программе комплекса КОРТЭС

Задержки в графике движения поездов оказывают большое влияние на экономические показатели магистрали, так как главной задачей ОАО «РЖД» является осуществление грузо- и пассажироперевозок. Для поддержания графика движения поездов необходима совместная, систематическая работа дирекций железной дороги по соблюдению, актуализации и контролю мероприятий по минимизации количества задержек поездов и интенсификации перевозочного процесса.

### Список литературы

- 1 Правила тяговых расчётов для поездной работы. – М. : Транспорт, 1985.
- 2 Стратегия инновационного развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 года (Белая книга ОАО «РЖД») [Электронный ресурс]. – 77 с. – Режим доступа : <http://doc.rzd.ru/doc/public/ru/>. – Дата доступа : 29.01.2020.
- 3 Рекомендации машинисту по эксплуатации электровоза 2/3/4ЭС5К с поосным регулированием силы тяги и МСУД-015 на участке Иланская – Нижнеудинск : утв. распоряжением ВСЖД от 14.10.2022 г.
- 4 **Бабичков, А. М.** Тяга поездов и тяговые расчёты / А. М. Бабичков, П. А. Гурский, А. П. Новиков. – М. : Транспорт, 1971. – 280 с.
- 5 КОРТЭС. – М. : ВНИИЖТ, 2022.
- 6 Перечень участков с ограничением межпоездных интервалов по условиям электроснабжения и порядок их проследования : распоряжение ВСЖД № 128 от 25.04.2022 г.