

Т.М. Кleshkova<sup>1</sup>, Е.А. Милованова<sup>1</sup>, В.А. Тихомиров<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

## ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА НА ПЕРЕГОНЕ КАМЫШЕТ- УК ВСЖД

**Аннотация.** В работе проведено исследование перевозочного процесса на перегоне Камышет - Ук Восточно-Сибирской железной дороги (ВСЖД) и оценена степень влияния отдельных параметров геометрии пути, погодных условий, изношенности колесных пар на реализацию тяговых усилий. Выполнено моделирование с использованием программного комплекса КОРТЭС графического движения поездов методом временных интервалов с целью определения нагрузок, изменяющихся во времени и по длине участка. Проведена проверка параметров работы системы тягового электроснабжения по участку Замзор – Ук перегона Камышет – Ук. В результате сформулированы рекомендации, направленные на снижение количества задержек локомотивов на рассматриваемом участке.

**Ключевые слова:** задержки грузовых поездов, подвижной состав, сила тяги, поосное регулирование, боксование колёсных пар, система тягового электроснабжения

T. M. Kleshkova<sup>1</sup>, E.A. Milovanova<sup>1</sup>, V.A. Tikhomirov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Irkutsk state transport university, Irkutsk, the Russian Federation

## PROBLEMS OF THE ORGANIZATION OF THE TRANSPORTATION PROCESS ON THE KAMYSHET- UK VSZHD STAGE

**Abstract.** The study of the transportation process on the Kamyshet - Uk section of the East Siberian Railway (VSZHD) was carried out and the degree of influence of individual parameters of the track geometry, weather conditions, wheelset wear on the implementation of traction forces was estimated. A simulation using the KORTES software package of scheduled train movement using the time interval method was performed in order to determine loads that vary over time and along the length of the section. The parameters of the traction power supply system operation were checked along the section of the Zamzor – Uk of the Kamyshet – Uk stage. As a result, recommendations were formulated aimed at reducing the number of locomotive delays in the section under consideration.

**Keywords:** delays of freight trains, rolling stock, traction force, axial adjustment, boxing of wheelsets, traction power supply system

### Введение

Согласно стратегии развития железнодорожного транспорта РФ в перспективе до 2030 ожидается рост грузопотоков практически по всем направлениям от 1,3 до 2,5 раз [1]. Для реализации таких задач, необходимо обеспечить надежное и устойчивое функционирование тягового подвижного состава, который обеспечивает выполнение графика движения поездов (ГДП) и является не только характеристикой качества эксплуатационной работы, но и эффективности развития пропускных способностей железнодорожных линий.

### Факторное влияние на реализуемую силу тяги локомотива

Исследование основополагающего фактора, который определяет выполнение ГДП - причин задержек, позволило выявить, что трехсекционные локомотивы серии ЕРМАК с поосным регулированием силы тяги являются причиной практически 75% всех задержек. На основании анализа расшифровки скоростемерных лент, боксование колесных пар вызывает более половины случаев задержек грузовых поездов на перегоне Камышет – Ук, при этом основная часть случаев боксования приходится на составы массой более 6000 т.

В правилах тяговых расчётов для поездной работы предусмотрен расчет сопротивлений движению влияющий на перевозочный процесс, в частности, таких как: наличие кривых малого радиуса и неблагоприятных погодных условий.

Определение силы тяги грузового локомотива переменного тока выполняется с учетом соответствующего коэффициента сцепления  $\psi_k$ :

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

где  $V$  – заданная скорость локомотива. Согласно [2] рекомендуемый диапазон составляет 69-70 км/ч (19,17-19,44 м/с). Для расчетов примем максимальную величину установленной скорости.

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

Участки с кривыми малого радиуса (менее 500 м) вызывают снижение расчетного коэффициента сцепления, определяемого по формуле:

$$\psi_{kкр} = \psi_k \cdot K_{кр},$$

где  $\psi_k$  - расчетный коэффициент сцепления.

Коэффициент  $K_{кр}$  определяется по формуле:

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

где  $R$  - радиус кривой (кривая малого радиуса перегона Камышет-Ук составляет 286 м).

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

$$\psi_{kкр} = 2,78 \cdot 0,85 = 2,363.$$

Отмечается также, правилами тяговых расчётов для поездной работы, что при неудовлетворительных условиях сцепления расчетный коэффициент сцепления локомотивов может быть снижен (не более 15%).

$$\psi'_{kкр} = \psi_{kкр} \cdot 0,85;$$

$$\psi'_{kкр} = 2,363 \cdot 0,85 = 2,01.$$

Сила тяги одного колеса (касательная сила тяги):

$$F_k = P_{сц} \cdot \psi'_{kкр},$$

где  $P_{сц}$  - сцепной вес локомотива, вес локомотива 3ЭС5К принимаем  $P_{сц} = 288т$ .

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

Касательную силу тяги локомотива определим по формуле:

$$F_{л} = F_k \cdot n,$$

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

$$F_{л} = 576,288 \cdot 12 = 704,94 \text{ кН}.$$

Проведенные расчеты свидетельствуют о снижении величины реализуемой силы тяги за счет движения в кривых малого радиуса и при неблагоприятных условиях на 7%.

Определим также влияние разности бандажей колёсных пар на реализацию силы тяги электровозом серии 3ЭС5К при износе бандажа с диаметром 1205 мм.

Конструктивная постоянная  $C_n$  электродвигателя определим по формуле:

$$C_n = \frac{p \cdot N}{60 \cdot a},$$

где  $p$  – число пар полюсов;

$N$  – число проводников обмотки якоря;

$a$  – число пар параллельных ветвей обмотки якоря.

$$C_n = \frac{3 \cdot 696}{60 \cdot 3} = 11,6.$$

Конструктивная постоянная:

$$C_v = \frac{5,3 \cdot C_n \cdot \mu}{D_6},$$

где  $\mu$  – передаточное отношение тяговой передачи;

$D_6$  – диаметр бандажа.

$$C_v = \frac{5,3 \cdot 11,6 \cdot 4,19}{1,205} = 213,8.$$

Находим ток двигателя, вращающего колесную пару:

$$I_a = \frac{U_k - C_v \cdot \Phi \cdot v}{r_q},$$

где  $U_k$  – напряжение на коллекторе двигателя;

$v$  – скорость движения;

$\Phi$  – магнитный поток главных полюсов;

$r_q$  – сопротивление двигателя.

$$I_a = \frac{980 - 213,78 \cdot 0,0896 \cdot 49,1}{0,0435} = 908 \text{ А.}$$

Отсюда частота вращения вала якоря:

$$n_a = \frac{U_k - I_a \cdot r_q}{C_n \cdot \Phi},$$

$$n_a = \frac{980 - 908 \cdot 0,0435}{11,6 \cdot 0,0896} = 905 \frac{\text{об}}{\text{мин}}.$$

Тогда, при увеличении диаметра бандажа на 10мм, ток двигателя составляет  $I_a = 1090$  А при частоте вращения  $n_a = 897 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ .

При разнице в 20 мм для грузового электровоза ток двигателя  $I_a = 1290$  А, частота вращения вала якоря  $n_a = 888 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ .

Разница диаметров бандажей колесных пар приводит к разнице протекающих токов в тяговых двигателях, а соответственно и к разнице реализуемой силы тяги. Следовательно, при достижении ограничения по сцеплению колёсной пары, с более нагруженным двигателем, сила тяги другой колесной пары окажется недоиспользованной. Поэтому, даже при одинаковых силах нажатия колёс локомотива на рельс, коэффициент сцепления локомотива всегда меньше коэффициента сцепления отдельного колеса с рельсом.

Моделирование ГДП, с помощью установления различных межпоездных временных интервалов, позволило рассчитать токовые профили поездов, которые изменяются во времени и по всему профилю участка. Расчет выполнен в программном комплексе КОРТЭС [3], с заданными размерами движения (табл. 1).

Режимы работы системы тягового электроснабжения (СТЭ) ВСЖД, проводилась по участку фидерной зоны Замзор – Ук, на которой расположен перегон Камышет - Ук, рис.1.

ГДП составлялся для пакета поездов с массой 7100-6300-4200 на основании распоряжения №128 от 25.04.2022 г. [4] с учетом данных СТЭ расчетного участка Замзор-Ук по минимальным межпоездным интервалам, нормам масс и размерам движения на данном

участке. По результатам расчета проводилась проверка параметров работы СТЭ перегона Замзор – Ук.



Рис. 1 – Участок исследуемой зоны Камышет - Ук

Таблица 1 – Характеристика грузопотока на участке Тайшет - Нижнеудинск

Масса грузового поезда, тонн	Размеры движения грузовых поездов, поездов/сутки	
	Нечетное движение	Четное движение
7100	0	29
6300	2	15
4200	15	25

Результаты расчета при заданном ГДП показали, что действующее значение напряжения за 3 минуты, на участке Замзор-Ук, составило – 19,45кВ при нормируемом минимальном уровне напряжения на токоприемнике тягового подвижного состава (среднее значение за 3 минуты) для СТЭ переменного тока должен составлять не менее 21 кВ.

Таблица 2 – Результаты расчетов системы тягового электроснабжения

Наименование участка	Кол-во трансформаторов	Расход энергии		U, кВ		Нагрев проводов, С		Потери в тяговой сети	
		Активной, кВт*ч	Реактивной, квар*ч	min	Среднее 3 мину	в КС	в отсосе	кВт*ч	%
Замзор - Ук	2	329605	154128	19,26	19,45	76	68	8900	2,7

Снижение скорости при понижении напряжения от номинального, в контактной сети:

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

где U'- расчетное напряжение на токоприемнике, кВ

$$v_1 = \frac{19,45}{25} \cdot 70 = 54,46 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Отрицательное отклонение напряжение в контактной сети переменного тока от номинального 25 кВ приводит к снижению установленной скорости поезда на перегоне с 70 км/ч до 54,46 км/ч, что ниже на 22,2 %, то для выполнения ГДП необходимо проводить мероприятия по усилению СТЭ данного участка, примеры которых можно посмотреть в работах [6-10].

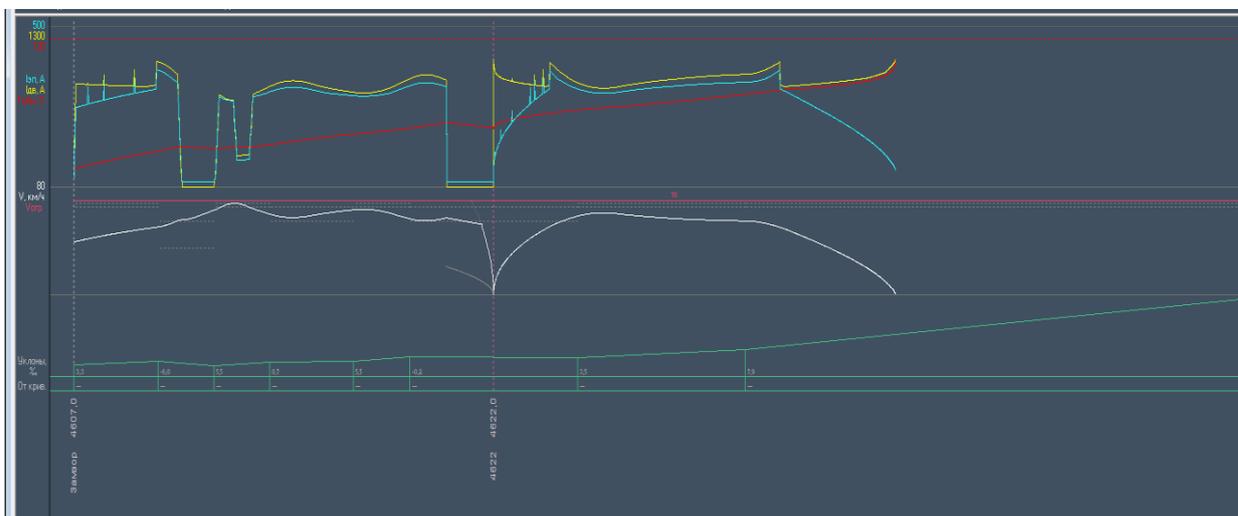


Рис. 2 – Окно с результатом тягового расчета в программе КОРТЭС

При анализе перевозочного процесса на участке Камышет-Ук, с учетом таких факторов, как кривые малого радиуса на перегоне, климатические условия работы электровозов в условиях Восточной Сибири и отклонения уровня напряжения на токоприемнике электровоза выявлено отрицательное влияние данных факторов на выполнение ГДП. Для повышения провозной и пропускной способности участка необходимо знать будущий объем грузоперевозок [11] и заблаговременно принимать технические и организационные решения по усилению системы тягового электроснабжения, а так же выставлению оптимальных весовых норм для данного перегона.

### Заключение

Задержки в движении поездов оказывают значительное влияние на экономические показатели железнодорожной магистрали. Это связано с тем, что основной задачей ОАО «РЖД» является осуществление грузовых и пассажирских перевозок.

Для поддержания графика движения поездов необходима слаженная, систематическая работа различных подразделений железной дороги. Это включает:

- Соблюдение установленных графиков
- Актуализацию и контроль мероприятий по минимизации задержек поездов
- Интенсификацию перевозочного процесса

Только при условии такой совместной работы можно добиться стабильности и эффективности железнодорожных перевозок, что положительно скажется на экономических показателях магистрали.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стратегия развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года . – 70 с. – URL : <https://mintrans.gov.ru/documents/1/1010> (дата обращения: 30.04.2024 г.).
2. 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.
3. КОРТЭС: - М: ВНИИЖТ, 2022

4. Распоряжение ВСЖД №128 от 25.04.2022 г. Перечень участков с ограничением межпоездных интервалов по условиям электроснабжения и порядок их проследования.
5. Пузина Е.Ю. Усиление системы тягового электроснабжения участка Ния – Киренга Восточно-Сибирской железной дороги // Электрификация и развитие инфраструктуры энергообеспечения тяги поездов на железнодорожном транспорте: материалы Шестого Международного симпозиума ELTRANS-2011. 2013. С. 464–468.
6. Пузина Е.Ю. Усиление устройств системы тягового электроснабжения // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Иркутск, 2021. Т. 1. С. 348–353.
7. Воронина Е.В., Куцый А.П. Повышение качества электрической энергии в системах электроснабжения железных дорог // Молодая наука Сибири. 2021. № 2 (12).
8. Куцый А.П., Овечкин И.С., Галков А.А. Повышение пропускной способности участка Якурим - Киренга для обеспечения графика движения поездов с максимальной массой 7100 тонн. // Электронный научный журнал «Молодая наука Сибири». 2022. № 2(16)
9. Куцый А.П., Овечкин И.С., Галков А.А. Анализ эффективности применения организационных и технических способов повышения пропускной способности тяговой сети двухпутного горно-перевального участка. Молодая наука Сибири. 2022. No 3(17).
10. Alekseeva T.L., Ryabchyonok N.L., Astrakhantsev L.A., Tikhomirov V.A., Astashkov N.P., Martusov A.L., Alekseev M.E. Parallel operation of an inverter with an electrical ac network IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region, SibTrans 2019. 2020. С. 012003.
11. Банщикова А. А., Базилевский М. П., Тихомиров В. А. Прогнозирование объема пропуска перевозимых на нетяговом подвижном составе крупнотоннажных контейнеров в экспортно-импортном сообщении в направлении РФ — КНР // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. №2 (54). С.185–190.

## REFERENCES

1. The strategy for the development of railway transport in the Russian Federation until 2030. – 70 p. – URL : <https://mintrans.gov.ru/documents/1/1010> (date of application: 30.04.2024).
2. Rekomendacii mashinistu po ekspluatatsii elektrovoza 2/3/4ES5K s poosnym regulirovaniem sily tyagi i MSUD-015 na uchastke Iianskaya – Nizhneudinsk: utv. rasporyazheniem VSZHD ot 14.10.2022 g.
3. KORTES: - М: VNIIZHT, 2022.
4. Rasporyazhenie VSZHD №128 ot 25.04.2022 g. Perechen' uchastkov s ogranicheniem mezhpoezdnyh intervalov po usloviyam elektrosnabzheniya i poryadok ih prosledovaniya.
5. Puzina E.Yu. Usilenie sistemy tyagovogo elektrosnabzheniya uchastka Niya – Kirenga Vostochno-Sibirskoi zheleznoi dorogi [Enhancement of traction power supply systems at the Nia-Kirenga section of the East Siberian Railway]. Elektrifikatsiya i razvitie infrastruktury energoobespecheniya tyagi poezdov na zheleznodorozhnom transporte: materialy Shestogo Mezhdunarodnogo simpoziuma ELTRANS-2011 [Electrification and development of infrastructure for power supply of railway traction trains: Proceedings of the Sixth international Symposium ELTRANS-2011], 2013. Pp. 464–468.
6. Puzina E.Yu. Usilenie ustroystv sistemy tyagovogo elektrosnabzheniya [Strengthening of traction power supply system devices]. Materialy Vserossiyskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Povyshenie effektivnosti proizvodstva i ispol'zovaniya energii v usloviyakh Sibiri» [Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference with

international participation «Increasing the efficiency of energy production and use in Siberia»]. Irkutsk, 2021, Vol. 1, pp. 348-353.

7. Voronina E.V., Kutsy A.P. Improving the quality of electric energy in railway power supply systems //Electronic scientific journal "Young Science of Siberia". 2021. No. 2 (12).

8. Kutsy A.P., Ovechkin I.S., Galkov A.A. Increasing the capacity of the Yakurim - Kirenga section to ensure the timetable of trains with a maximum weight of 7,100 tons. // Electronic scientific journal "Young Science of Siberia". 2022. № 2(16)

9. Kutsy A.P., Ovechkin I.S., Galkov A.A. Analysis of the effectiveness of the application of organizational and technical methods to increase the capacity of the traction network of a double-track mining and transshipment section. Electronic scientific journal "Young Science of Siberia" 2022. No. 3 (17).

10. Alekseeva T.L., Ryabchyonok N.L., Astrakhantsev L.A., Tikhomirov V.A., Astashkov N.P., Martusov A.L., Alekseev M.E. Parallel operation of an inverter with an electrical ac network IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Transport and Infrastructure of the Siberian Region, SibTrans 2019. 2020. C. 012003.

11. Banshchikova A. A., Bazilevskii M. P., Tikhomirov V. A. Prognozirovaniye ob»ema propuska perevozimykh na netyagovom podvizhnom sostave krupnotonnazhnykh konteynerov v eksportno-importnomsoobshchenii v napravlenii RF — KNR [Forecasting the volume of the pass of large-tonnage containers transported on the non-traction rolling stock in the export-import communication in the direction of the Russian Federation — the PRC]. Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovaniye [Modern technologies. System analysis. Modeling], 2017, no. 2, pp.185–190 (in Russian).

### **Информация об авторах**

*Клешкова Татьяна Михайловна* - студентка факультета «Транспортные системы», Иркутский государственный университет путей сообщения, 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, e-mail: kleshkovat@bk.ru

*Милованова Евгения Алексеевна* - кандидат технических наук, доцент, кафедра «Электроподвижной состав», Иркутский государственный университет путей сообщения, 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, e-mail: evakami@yandex.ru

*Тихомиров Владимир Александрович* - кандидат технических наук, доцент, кафедра «Электроэнергетика транспорта», Иркутский государственный университет путей сообщения, 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, e-mail: tihomirov\_va@irgups.ru

### **Information about the authors**

*Kleshkova Tatyana Mikhailovna* - student, "Transport Systems" department, Irkutsk State Railway University, 15 Chernyshevskogo str., Irkutsk, 664074, Irkutsk, e-mail: kleshkovat@bk.ru

*Milovanova Evgenia Alekseevna* - PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of "Electric Rolling Stock", Irkutsk State Railway University, 664074, Irkutsk, 15 Chernyshevskogo str., e-mail: evakami@yandex.ru

*Tikhomirov Vladimir Alexandrovich* - PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of "Electric Power Engineering of Transport", Irkutsk State Railway University, 664074, Irkutsk, 15 Chernyshevskogo str., e-mail: tihomirov\_va@irgups.ru