



11. Nazarychev A.N., Skorobogatov A.A., Novoselov E.M. Eksperimental'noe issledovanie vneshnego magnitnogo polya asinkhronnogo elektrodvigatelya dlya kontrolya obryva sterzhnei korotkozamknutoi obmotki rotora [An experimental study of the external magnetic field of an asynchronous motor to control the breakage of the bars of the short-circuited rotor winding]. *Zhurnal – Vestnik IGEU*, 2012. No. 1. Pp. 1–6.

12. Tonkikh V. G. Issledovanie protsessov izmeneniya formy vneshnego magnitnogo polya elektrodvigatelya pri razvitiy v nem razlichnykh defektov [Investigation of the processes of changing the shape of the external magnetic field of an electric motor during the development of various defects in it]. *Izmerenie, kontrol', informatizatsiya: materialy Devyatoi Mezhdunarodnoi NTK [Measurement, control, informatization: materials of the Ninth International SRC]*. Barnaul: AltGTU Publ., 2006. Pp. 56.

13. Bel'skii I.O., Kupriyanov I.S., Luk'yanov A.V. Issledovanie uglovoi skorosti i magnitnogo polya pri defektakh asinkhronnykh elektrodvigatelye [The study of angular velocity and magnetic field with defects of asynchronous electric motors]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii [Systems. Methods. Technologies]*, 2018, Vol. 40, No.4. Pp. 62–69.

14. Zagirnyak M.V., Romashikhina Zh.I., Kalinov A.P. Diagnostika povrezhdenii sterzhnei rotora v asinkhronnom dvigatele na osnovanii analiza ego magnitnogo polya [Diagnosis of damage to rotor rods in an induction motor based on the analysis of its magnetic field]. *Visnik NTU "KhPI" [The herald of SRU "KhPI"]*, 2012. No. 49 (955). Pp. 38–48.

15. Bel'skii I.O., Luk'yanov A.V. Issledovanie parametrov vneshnego magnitnogo polya v zadachakh diagnostiki asinkhronnykh elektrodvigatelye [Investigation of the parameters of an external magnetic field in the problems of diagnostics of asynchronous electric motors]. *Materialy VI mezhdunarodnoi konferentsii «Problemy mekhaniki sovremennykh mashin», 29 iyunya - 4 iyulya 2015 g. [Materials of the VI international conference "Problems of the mechanics of modern machines", June 29 - July 4, 2015]*. Ulan-Ude: VSGUTU Publ., Vol.1, p. 8.

16. D'yakonov V.P. MATLAB 6.0/6.1/6.5+SP1 + Simulink 4/5. Obrabotka signalov i izobrazhenii [MATLAB 6.0 / 6.1 / 6.5 + SP1 + Simulink 4/5. Signal and image processing]. Moscow: SOLON-Press Publ., 2005. 592 p.

### Информация об авторах

### Authors

*Куприянов Иван Сергеевич* – аспирант кафедры физики, механики и приборостроения, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: xpress14@mail.ru.

*Бельский Игорь Олегович* – аспирант кафедры физики, механики и приборостроения, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: belskyigor92@gmail.com.

*Лукьянов Анатолий Валерианович* – д. т. н., профессор кафедры физики, механики и приборостроения, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: loukan@inbox.ru.

*Ivan Sergeevich Kupriyanov* – Ph.D. student at the Subdepartment of Physics, Mechanics and Instrumentation, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: xpress14@mail.ru.

*Igor' Olegovich Belskii* – Ph.D. student at the Subdepartment of Physics, Mechanics and Instrumentation, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: belskyigor92@gmail.com.

*Anatolii Valerianovich Luk'anov* – Doctor of Engineering Science, Prof. at the Subdepartment of Physics, Mechanics and Instrumentation, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: loukan@inbox.ru.

### Для цитирования

### For citation

Куприянов И. С. Математическое моделирование параметров асинхронных двигателей при электрических дефектах ротора / И. С. Куприянов, И. О. Бельский, А. В. Лукьянов // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 154–163. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).154–163

Kupriyanov I. S., Bel'skii I. O., Luk'anov A. V. Matematicheskoe modelirovanie parametrov asinkhronnykh dvigatelei pri elektricheskikh defektakh rotora [Mathematical modeling of parameters of asynchronous motors with electric defects of the rotor] *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]*, 2019. Vol. 63, No. 3, pp. 154–163. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).154–163

УДК 629.423.1

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).163–171

**Т. В. Волчек, О. В. Мельниченко, А. О. Линьков, С. Г. Шрамко**

*Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

*Дата поступления: 17 апреля 2019 г.*

## РАЗРАБОТКА СПОСОБА И УСТРОЙСТВА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПУЛЬСАЦИИ ТОКА ВОЗБУЖДЕНИЯ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ЭЛЕКТРОВОЗА В РЕЖИМЕ ОСЛАБЛЕНИЯ ПОЛЯ

**Аннотация.** *Одной из важнейших задач программы ОАО «РЖД» «Стратегия научно-технического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030» является повышение надежности и ресурса работы технических средств электроподвижного состава. Эффективная и безотказная работа эксплуатируемого парка электровозов во многом зависит от надежности коллекторных тяговых электрических двигателей, в связи с этим в данной статье рассмотрена статистика отказов их элементов по сети железных дорог Восточного полигона за 2018 г. Выя-*



лен узел, надежность работы которого необходимо повышать. Рассмотрены штатные устройства для снижения пульсации выпрямленного тока и магнитного потока тяговых электрических двигателей электровоза. Разработана имитационная модель электровоза переменного тока 2ЭС5К в среде «MatLab Simulink», работающего в режимах полного и ослабленного поля с применением штатной и предлагаемой систем ослабления поля тяговых электрических двигателей, получены их электромагнитные процессы. Анализируя электромагнитные процессы работы тяговых электрических двигателей в режимах полного и ослабленного поля с применением штатной системы ослабления поля, получены коэффициенты абсолютной и относительной пульсации тока возбуждения. Предложена усовершенствованная система ослабления поля тяговых электрических двигателей на базе IGBT-транзисторов, позволяющая обеспечивать плавное регулирование тока возбуждения, при этом снижать его пульсации практически до нуля, что оказывает положительное влияние на ресурс работы и надежность тяговых электрических двигателей.

**Ключевые слова:** система ослабления поля тяговых электрических двигателей, коэффициент пульсации, относительная и абсолютная пульсация, ток возбуждения, IGBT-транзистор, электровоз.

T. V. Volchek, O. V. Mel'nichenko, A. O. Lin'kov, S. G. Shramko

Irkutsk State University of railway Transport, Irkutsk, Russian Federation

Received: April 17, 2019

## DEVELOPMENT OF THE METHOD AND DEVICE TO REDUCE PULSATION OF CURRENT EXCITATION OF THE ELECTRIC MOTOR ELECTRIC MOTOR IN THE MODEL OF REDUCTION THE FIELD

**Abstract.** One of the most important tasks of the Russian Railways Program "Strategy of the Scientific and Technological Development of the Russian Railways Group for the period up to 2025 and in the long run up to 2030" is to increase the reliability and service life of the technical equipment of the electric rolling stock. Efficient and trouble-free operation of the fleet of electric locomotives being operated largely depends on the reliability of collector traction electric motors. In this regard, this article considers the statistics of failures of their elements in the network of railways of the Eastern Polygon for 2018. An assembly has been identified whose reliability should be improved. Regular devices are considered for reducing the pulsation of the rectified current and magnetic flux of traction electric motors of an electric locomotive. A simulation model of an AC 2ES5K electric locomotive, operating in full and weakened field modes using standard and proposed field weakening systems for traction electric motors, was developed in the MatLab Simulink environment. Their electromagnetic processes were obtained. After the analysis of the electromagnetic processes of the traction electric motors in the full and weakened field modes using a standard field weakening system, the coefficients of absolute and relative pulsation of the excitation current were obtained. An improved system for weakening the field of traction electric motors based on IGBT transistors is proposed, which allows smooth control of the excitation current while reducing its ripple to almost zero. This has a positive effect on the service life and reliability of traction electric motors.

**Keywords:** traction motor field weakening systems, reliability, coefficient of relative and absolute pulsation, field current, IGBT transistor, electric locomotive.

### Введение

В Белой книге ОАО «РЖД» «Стратегия научно-технического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030» предусматривается повышение надежности работы и увеличение эксплуатационного ресурса технических средств [1]. Эффективная и безотказная работа эксплуатируемого парка электроподвижного состава (ЭПС) во многом зависит от надежности коллекторных тяговых электрических двигателей (ТЭД). Поэтому повышение надежности работы и продление ресурса ТЭД является одной из актуальных задач железнодорожного транспорта.

В настоящее время на отечественных электровозах переменного тока со статическими выпрямителями к ТЭД подводится выпрямленный ток, пульсации которого могут достигать значительных размеров. Пульсирующий ток раскла-

дывается на две составляющие: постоянную и переменную. Пульсирующий ток в обмотке возбуждения (ОВ) ТЭД создает пульсирующий магнитный поток, который также имеет постоянную и переменную составляющую. Под воздействием пульсирующего магнитного потока в ТЭД возникают вихревые токи, которые снижают индуктивное сопротивление ТЭД и повышают пульсации токов якоря и возбуждения. Это приводит к появлению дополнительных потерь, повышению нагрева обмоток ТЭД, нарушению коммутации, что в последствие приводит к круговому огню на его коллекторе. Ресурс работы ТЭД электровоза снижается. Так же пульсации выпрямленного тока снижают коэффициент мощности электровоза и искажают форму кривой переменного тока в первичной обмотке тягового трансформатора [2].

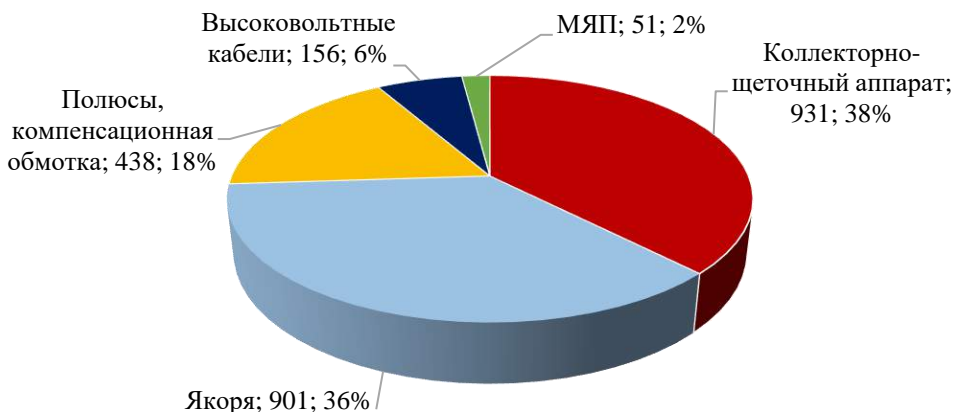


Рис. 1. Статистика отказов элементов тяговых электрических двигателей электровозов по сети железных дорог Восточного полигона за 2018 г.

Представлена статистика отказов элементов ТЭД электровозов по сети железных дорог Восточного полигона за 2018 г. (рис. 1). Наибольшее число отказов выявлено по коллекторно-щеточному аппарату, одной из основных причин является пульсация выпрямленного тока [5]. Поэтому пульсации токов якоря и возбуждения ТЭД должны быть как можно меньше, вплоть до нуля.

#### Пульсации тока и магнитного потока тяговых электрических двигателей при работе электровоза в режиме полного поля

Ниже представлена цепь выпрямленного тока со штатной системой ослабления поля (ОП) ТЭД электровоза (рис. 2). Для сглаживания пульсаций выпрямленного тока на ЭПС переменного тока используют сглаживающие реакторы (СР). Вследствие ограничения его габаритов на ЭПС остаются значительные пульсации выпрямленного тока, которые достигают 25–30 % [3].

Для уменьшения пульсаций магнитного потока ТЭД на ЭПС переменного тока параллельно

ОВ применяют резисторы постоянной шунтировки ( $R_0$ ), по величине равные 10–20-кратному значению сопротивления ОВ (рис. 2). При этом большая часть переменной составляющей тока возбуждения протекает через активное сопротивление  $R_0$ , и только небольшая часть через ОВ ТЭД [3, 4].

Уровень пульсации магнитного потока оценивают соответствующим коэффициентом пульсации при линеаризованной магнитной характеристике по формуле (1):

$$K_{n\Phi} \approx \frac{2\Phi_n}{(\Phi_{\max} - \Phi_{\min})} \cdot K_{св} \cdot \frac{I_b}{\Phi} \cdot \frac{d\Phi}{dI_{ов}} \cdot \frac{\beta_{nn}}{\beta_n}, \quad (1)$$

где  $\Phi_{\max}$ ,  $\Phi_{\min}$ ,  $\Phi_n$  – соответственно максимальное, минимальное значение магнитного потока и амплитудное значение его переменной составляющей;  $\beta_n$ ,  $\beta_{nn}$  – коэффициент возбуждения по постоянной и переменной составляющей выпрямленного тока  $I_b$ ;  $K_{св}$  – коэффициент снижения переменного магнитного потока вихревыми токами.

Показана зависимость магнитного потока от тока возбуждения ТЭД (рис. 3) [5–9].

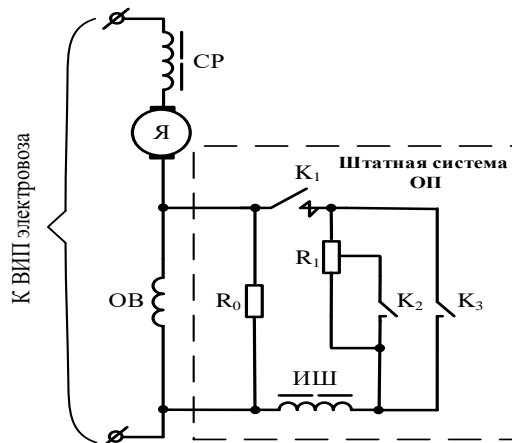


Рис. 2. Цепь выпрямленного тока со штатной системой ослабления поля тягового электрического двигателя электровоза

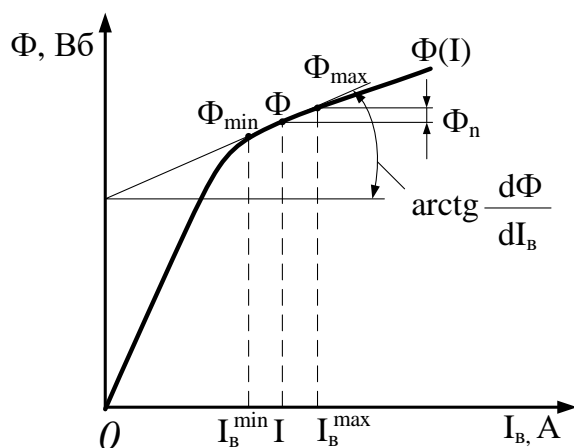


Рис. 3. Зависимость магнитного потока от тока возбуждения

Постоянная составляющая тока в ОБ ТЭД ( $I_{об}$ ), коэффициент возбуждения ( $\beta_n$ ) по постоянной составляющей тока и ( $\beta_m$ ) по переменной составляющей при работе электровоза в режиме полного поля (ПП) ТЭД определяются по выражениям (2–4):

$$I_{об} = I_d \cdot \beta_n, \tag{2}$$

$$\beta_n = \frac{r_{пш}}{r_{пш} + r_B}, \tag{3}$$

$$\beta_m = r_{пш} / \sqrt{(r_{пш} + r_B)^2 + x_B^2}, \tag{4}$$

где  $x_B$  – реактивное сопротивление обмотки возбуждения. Так как частота пульсации тока в обмотке возбуждения равна удвоенной частоте основной гармоники напряжения сети,  $x_B = 4\pi f_c L_B$ .

Вследствии пульсации магнитного потока главных полюсов, кроме реактивной ЭДС наводится трансформаторная ЭДС ( $e_{тр}$ ) [7, 10]. Если учитывать только основную гармонику пульсаций магнитного потока, то

$$e_{тр} = -\omega_c \frac{d}{dt} [\Phi K_{пф} \sin(2\omega_c t + \varphi_\mu)] \approx -\omega_c 2\omega_c \Phi K_{пф} \cos(2\omega_c t + \varphi_\mu), \tag{5}$$

где  $\varphi_\mu$  – угол фазового сдвига составляющей магнитного потока относительно переменной составляющей тока.

Обычно для коллекторных ТЭД величину коэффициента возбуждения выбирают в пределах  $0,95 < \beta_n < 0,97$ , так как это его оптимальная величина, при которой можно достигнуть того, что коммутирующая ЭДС от потока добавочного полюса скомпенсирует сумму реактивной и трансформаторной ЭДС [4].

Для анализа работы ТЭД электровоза 2ЭС5К разработаны его имитационные модели в среде «MatLab Simulink», работающие в режимах ПП и ОП с реализацией штатной и предложенной систем ОП ТЭД, получены их электромагнитные процессы (рис. 4, 5 и 7) [11, 12].

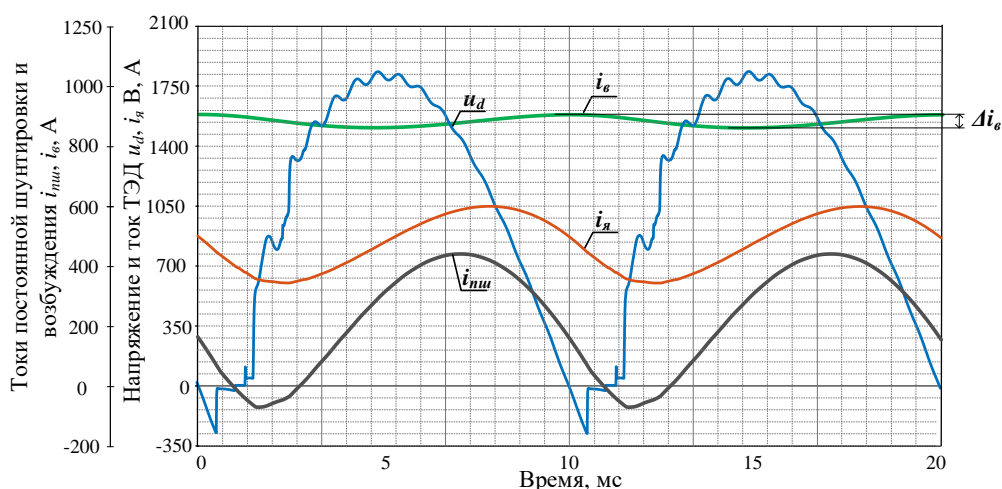


Рис. 4. Диаграмма выпрямленного напряжения  $u_d$  тягового электрического двигателя и токов якоря  $i_a$ , возбуждения  $i_e$  и постоянной шунтировки  $i_{пш}$  для режима полного поля



Представлены электромагнитные процессы ТЭД, работающего в режиме ПП (рис. 4).

В результате анализа видим, что в моменты времени, близкие к 5 мс, переменная составляющая тока возбуждения  $i_B$  имеет минимальные значения  $i_B^{min}$ , а в момент времени близкий к 10 мс – максимальные значения  $i_B^{max}$  (см. рис. 4). Абсолютная пульсация тока возбуждения определяется выражением (6):

$$\Delta i_B = i_{B \max} - i_{B \min} = \frac{1}{\omega \cdot L_B} \int_{\omega t_1}^{\omega t_2} (u_B - e_B) d\omega t = -\frac{1}{\omega \cdot L_B} \int_{\omega t_2}^{\omega t_3} (u_B - e_B) d\omega t, \quad (6)$$

где  $i_B$  – ток возбуждения, А;  $u_B$  – напряжение выпрямителя, В;  $e_B$  – противо-э.д.с. вращения якоря ТЭД, В;  $L_B$  – индуктивность выпрямленной цепи, Гн;  $\omega t_1$ ;  $\omega t_2$  – интервалы времени [5, 8, 13, 14].

Абсолютная пульсация тока возбуждения ТЭД в режиме ПП равна 58 А. Тогда относительная величина пульсации тока возбуждения, которая определяется согласно выражению (7), равна 6 % (см. рис. 4) [5, 8, 13, 14]:

$$K_{по} = \frac{\Delta i_B}{I_B}. \quad (7)$$

### Пульсации тока возбуждения тяговых электрических двигателей при работе электровоза в режиме ослабления поля

На ЭПС для расширения регулирования диапазона скоростных характеристик используется режим ослабления поля (ОП) ТЭД [6, 7, 15]. С помощью контакторов (К1–К3) регулируем величину шунтирующего резистора ( $R1$ ), таким образом получаем три ступени ОП (см. рис. 2). Рассмотрим влияние подключенной параллельно ОБ ТЭД шунтирующей цепи, содержащей  $R1$  и индуктивный шунт (ИШ), в режиме ОП на величину коэффициента пульсации тока возбуждения.

Для определения значения коэффициента пульсации тока возбуждения рассмотрим электромагнитные процессы ТЭД электровоза, работающего в режиме ОП на примере третьей ступени (рис. 5).

Абсолютная пульсация тока возбуждения в режимах ОП (рис. 5) и ПП (см. рис. 4) практически одинаковая, изменяется в пределах (54–58 А). Однако в режиме ОП ТЭД среднее значение тока возбуждения уменьшается, ввиду снижения активного сопротивления цепи ОП, относительная пульсация тока возбуждения увеличивается. Например, при третьей ступени ОП ТЭД  $K_{по} = 16\%$ , что оказывает неблагоприятное влияние на работу коллекторно-щеточного аппарата.

### Усовершенствованная система ослабления поля тяговых электрических двигателей на базе IGBT-транзисторов

Усовершенствованная система ОП ТЭД на базе IGBT-транзисторов (рис. 6), позволяет плавно регулировать ток возбуждения и снизить его пульсации практически до нуля [16].

Для осуществления ОП до 70 % параллельно ОБ ТЭД подключается IGBT-транзистор (VT1) и диод (VD1). Алгоритм управления ОП ТЭД до 70 % возбуждения приведен ниже (рис. 7).

Для ОП ТЭД от 70 до 43 % параллельно VT1 подключается последовательно включенные резистор ( $R1$ ), диод (VD3) и IGBT-транзистор (VT2). Регулируя величину открытия VT1-VT2, получаем до 43 % тока возбуждения ТЭД (рис. 6). Для перехода в ПП ТЭД VT1-VT2 выключаются, замыкается контактор (К1) и параллельно ОБ подключается резистор постоянной шунтировки ( $R0$ ) [16]. Приведен алгоритм управления ОП ТЭД от 70 до 43 % тока возбуждения (рис. 8).

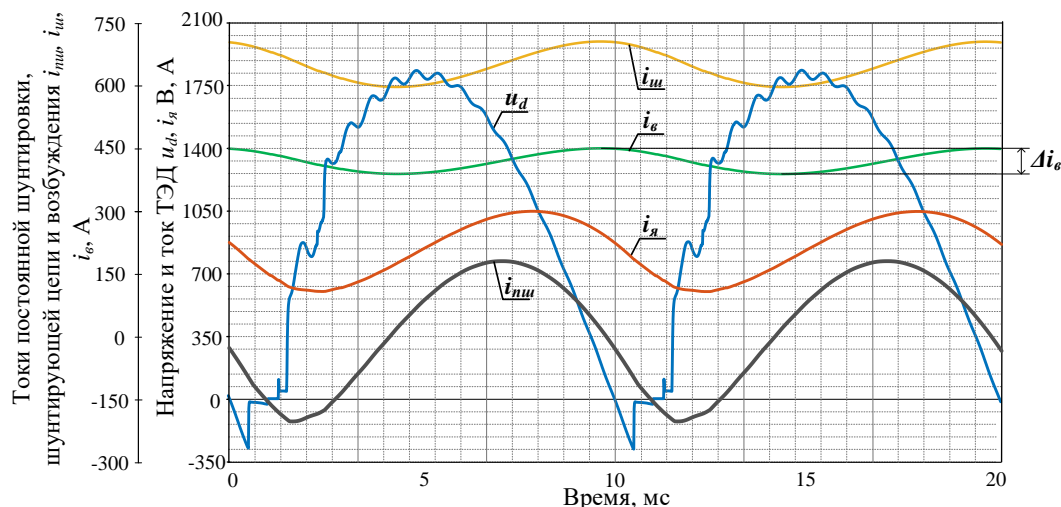


Рис. 5. Диаграмма выпрямленного напряжения  $u_d$  тягового электрического двигателя и токов якоря  $i_a$ , шунтирующей цепи  $i_{ш}$ , возбуждения  $i_b$  и постоянной шунтировки  $i_{ши}$  для штатной системы ослабления поля тягового электрического двигателя при работе на третьей ступени

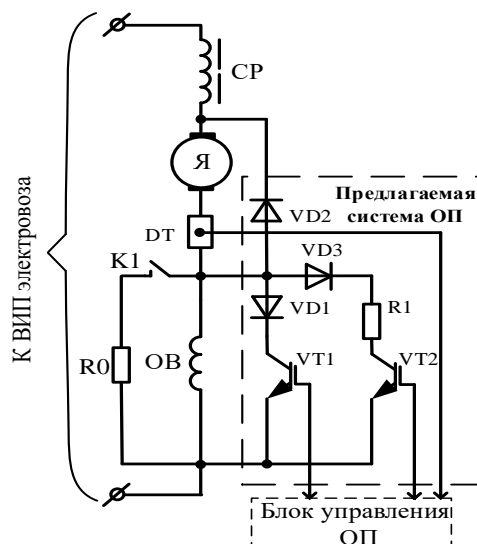


Рис. 6. Система ослабления поля тягового электрического двигателя электровоза на базе IGBT-транзисторов

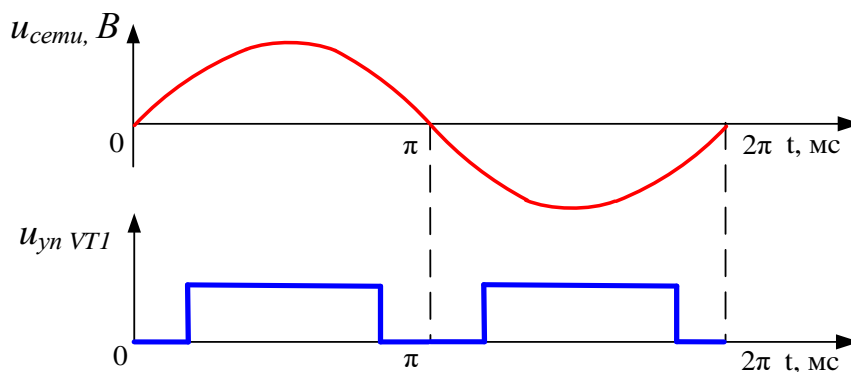


Рис. 7. Алгоритм управления ослабления поля тягового электрического двигателя до 70 % тока возбуждения

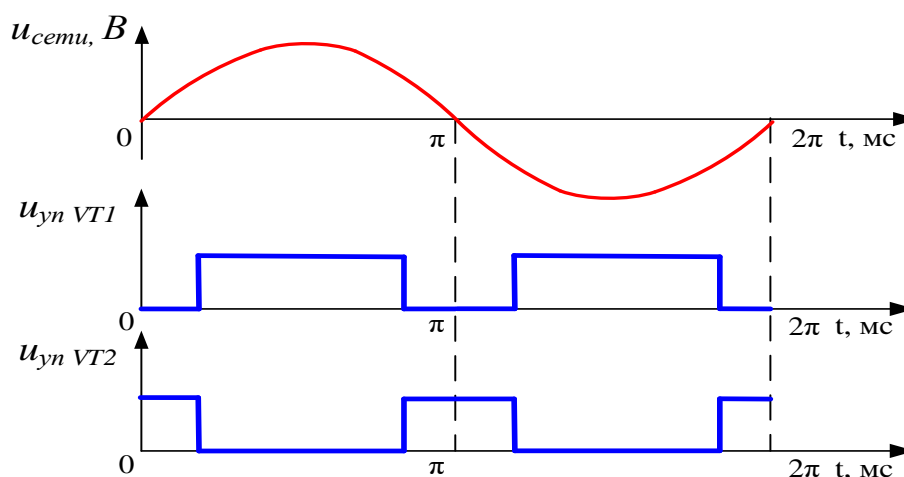


Рис. 8. Алгоритм управления ослабления поля тягового электрического двигателя от 70 до 43 % тока возбуждения

Предлагаемая система ОП ТЭД электровоза на базе IGBT-транзисторов позволит снизить абсолютную и относительную пульсацию тока возбуждения ТЭД практически до нуля (рис. 9) ( $i_a$ ).

### Выводы

1. Проанализировав статистику отказов элементов ТЭД электровозов по сети железных дорог Восточного полигона за 2018 г., видим, что

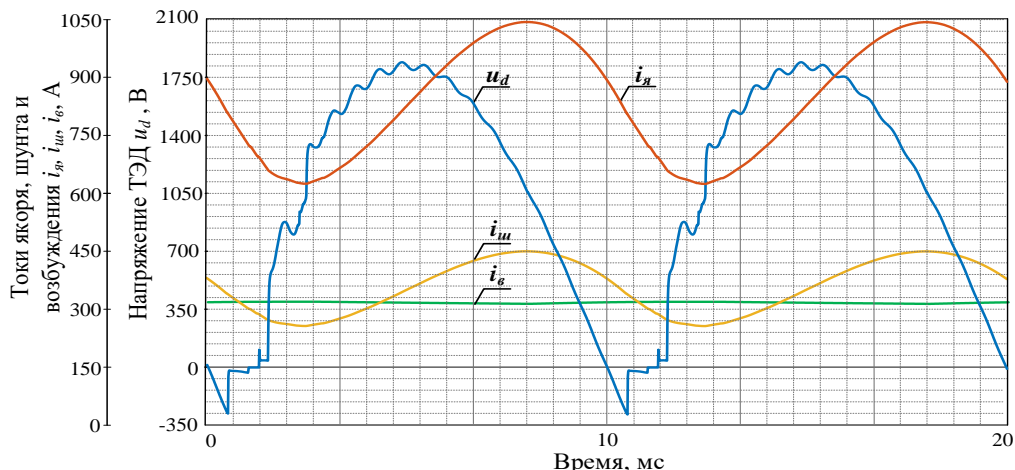


Рис. 9. Диаграмма выпрямленного напряжения  $u_d$  тягового электрического двигателя и токов якоря  $i_a$ , шунтирующей цепи  $i_{ш}$  и возбуждения  $i_e$  для предлагаемой системы ослабления поля тягового электрического двигателя при работе на третьей ступени

наибольшее число отказов выявлено по коллекторно-щеточному аппарату.

2. Разработана имитационная модель электровоза 2ЭС5К в среде «MatLab Simulink», работающего в режиме ПП и ОП с применением штатной и предлагаемой систем ОП ТЭД, получены электромагнитные процессы.

3. Коэффициент пульсации тока возбуждения в режиме ПП ТЭД электровоза составляет 6 %.

4. При включении режима ОП ТЭД электровоза уменьшается средний ток возбуждения, что приводит к увеличению коэффициента отно-

сительной пульсации. Например, при третьей ступени ОП ТЭД электровоза коэффициент пульсации тока возбуждения составляет 16 %.

5. Предложена усовершенствованная система ОП ТЭД на базе IGBT-транзисторов, позволяющая обеспечивать плавное регулирование тока возбуждения, что увеличит диапазон регулирования скорости.

Усовершенствованная система ОП ТЭД позволит уменьшить пульсации тока возбуждения практически до нуля, что повысит надежность и ресурс работы коллекторно-щеточного аппарата.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стратегия научно-технического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года (Белая книга) : утв. ОАО «РЖД» №769/р от 17.04.2018.
2. Мельниченко О.В., Цыбульский В.С., Чириккин О.В. Повышение качества электрической энергии в контактной сети с целью снижения отказов электронного и силового оборудования электровоза // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2008. № 3. С. 58–66.
3. Бобровников Я.Ю. Повышение энергетических показателей электровоза переменного тока путем снижения пульсаций в цепи выпрямленного тока : дис. ... канд. техн. наук. Хабаровск, 2007. 132 с.
4. Иоффе А.Б. Тяговые электрические машины. М. : Госэнергоиздат, 1967. 248 с.
5. Тихменев Б.Н. Электровозы переменного тока со статическими преобразователями. М. : Транспорт, 1958. 277 с.
6. Захарченко Д.Д., Ротанов Н.А. Тяговые электрические машины. М. : Транспорт, 1991. 343 с.
7. Захарченко Д.Д. Тяговые электрические машины и трансформаторы. М. : Транспорт, 1979. 303 с.
8. Линьков А.О. Совершенствование выпрямительной установки возбуждения тяговых электрических двигателей электровазов переменного тока в режиме рекуперативного торможения : дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, 2015. 177 с.
9. Курбасов А.С., Седов В.И., Сорин Л.Н. проектирование тяговых электродвигателей. М. : Транспорт, 1987. 536 с.
10. Плакс А.В. Система управления электрическим подвижным составом. М. : Маршрут, 2005. 360 с.
11. Черных И.В. Моделирование электромеханических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. М. : ДМК Пресс ; СПб. : Питер, 2008. 288 с.
12. Волчек Т.В., Томилов В.С., Мельниченко О.В. Усовершенствование системы ослабления поля тяговых электродвигателей за счёт применения безиндуктивных шунтов // Наука и молодежь : материалы Четвертой Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. 2018. С. 140–143.
13. Находкин М.Д. Проектирование тяговых электрических машин. М. : Транспорт, 1957. 536 с.
14. Тихменев Б.Н. Электровозы переменного тока с тиристорными преобразователями. М. : Транспорт, 1988. 312 с.
15. Тихменев Б.Н., Трахтман Л.М. Подвижной состав электрофицированных железных дорог. Теория работы электрооборудования. Электрические схемы и аппараты. М. : Транспорт, 1980. 470 с.
16. Снижение затрат электрической энергии на тягу поездов при использовании системы ослабления поля тяговых электрических двигателей электровазов переменного тока / Т.В. Волчек и др. // Resonances science : материалы Третьей Междунар. науч.-практ. конф. Карловы Вары, 2018. С. 81–87.



## REFERENCES

1. Belaya kniga OAO «RZhD» No.769/r ot 17.04.2018 «Strategiya nauchno-tekhnicheskogo razvitiya kholdinga «RZhD» na period do 2025 goda i na perspektivu do 2030 goda» [The White Paper of Russian Railways OAO No. 769 / r dated 04/17/2018 "Strategy for the scientific and technical development of the Russian Railways holding company for the period until 2025 and for the long term until 2030"].
2. Mel'nichenko O.V., Tsybul'skii V.S., Chikirkin O.V. Povyshenie kachestva elektricheskoi energii v kontaktnoi seti s tsel'yu snizheniya otkazov elektronnoho i silovogo oborudovaniya elektrovoza [Improving the quality of electric energy in a contact network in order to reduce failures of electronic and power equipment of an electric locomotive]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie [Modern Technologies. System analysis. Modeling]*, 2008. No.3. Pp. 58–66.
3. Bobrovnikov Ya. Yu. Povyshenie energeticheskikh pokazatelei elektrovoza peremennogo toka putem snizheniya pul'satsii v tsepi vypryamlennoho toka [Increasing energy indicators of an electric locomotive of alternating current by reducing ripples in the circuit of a rectified current]: Ph.D. (Engineering) diss. Khabarovsk, 2007. 132 p.
4. Ioffe A.B. Tyagovye elektricheskie mashiny [Electric traction machines]. Moscow: Gosenergoizdat Publ., 1967. 248 p.
5. Tikhmenev, B.N. Elektrovozy peremennogo toka so staticheskimi preobrazovatelyami [Electric locomotives of alternating current with static converters]. Moscow: Transport Publ., 1958. 277 p.
6. Zakharchenko D.D., Rotanov N.A. Tyagovye elektricheskie mashiny: Uchebnik dlya vuzov zh.-d. transp. [Traction electric cars. A textbook for transp. universities]. Moscow: Transport Publ., 1991. 343 p.
7. Zakharchenko D.D. Tyagovye elektricheskie mashiny i transformatory: Uchebnik dlya vuzov zh.-d. transp. [Traction electric machines and transformers: A textbook for transp. universities]. Moscow: Transport Publ., 1979. 303 p.
8. Lin'kov A.O. Sovershenstvovanie vypryamitel'noi ustanovki vozbuzhdeniya tyagovykh elektricheskikh dvigatelei elektrovozov peremennogo toka v rezhime rekuperativnogo tormozheniya [Improvement of the rectifier installation of excitation of traction electric motors of AC electric locomotives in the mode of regenerative braking]: Ph.D. (Engineering) diss. Irkutsk, 2015. 177 p.
9. Kurbasov A.S., Sedov V.I., Sorin L.N. Proektirovanie tyagovykh elektrodvigatelei: Ucheb. posobie dlya vuzov zh.-d. transp. [Designing of traction electric motors: A textbook for railway transport universities]. Moscow: Transport Publ., 1987. 536 p.
10. Plaks A.V. Sistema upravleniya elektricheskim podvizhnym sostavom: Uchebnik dlya vuzov zh.-d. transporta [Control system for electric rolling stock: A textbook for railway transport universities]. Moscow: Marshrut Publ., 2005. 360 p.
11. Chernykh I. V. Modelirovanie elektromekhanicheskikh ustroystv v MATLAB, SimPowerSystems i Simulink [Modeling of electromechanical devices in MATLAB, SimPowerSystems and Simulink]. Moscow: DMK Press Publ.; St.Petersburg: Piter Publ., 2008. 288 p.
12. Volchek T.V., Tomilov V.S., Mel'nichenko O.V. Usovshenstvovanie sistemy oslableniya polya tyagovykh elektrodvigatelei za schet primeneniya bezinduktivnykh shuntov [Improving the traction electric motors weakening field system through the use of non-inductive shunts]. *Materialy Chetvertoi Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «Nauka i molodezh» [Materials of the Fourth All-Russian Scientific and Practical Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists "Science and Youth"]*, 2018. Pp. 140–143.
13. Nakhodkin M. D. Proektirovanie tyagovykh elektricheskikh mashin [Designing of tractive electric machines]. Moscow: Transport Publ., 1957. 536 p.
14. Tikhmenev B.N. Elektrovozy peremennogo toka s tiristornymi preobrazovatelyami [Electric locomotives of alternating current with thyristor converters]. Moscow: Transport Publ., 1988. 312 p.
15. Tikhmenev B.N., Trakhtman L.M. Podvizhnoi sostav elektrofitsirovannykh zheleznykh dorog. Teoriya raboty elektrooborudovaniya. Elektricheskie skhemy i apparaty. Uchebnik dlya vuzov zh.-d. transporta [Rolling stock of electrified railways. Theory of electrical equipment. Electric circuits and devices: A textbook for railway transport universities]. Moscow: Transport Publ., 1980. 470 p.
16. Volchek T.V., Mel'nichenko O.V., Shramko S.G., Lin'kov A.O. Snizhenie zatrat elektricheskoi energii na tyagu poezdov pri ispol'zovanii sistemy oslableniya polya tyagovykh elektricheskikh dvigatelei elektrovozov peremennogo toka [Reducing the cost of electric energy for traction trains using a field weakening system for traction electric motors of AC electric locomotives]. *Materialy Tret'ei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Resonances science»*. [Materials of the Third International Scientific and Practical Conference "Resonances science"]. Czech Republic, Karlovy Vary, 2018. Pp. 81–87.

## Информация об авторах

## Authors

Волчек Татьяна Витальевна – аспирант кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: tanya.vol4eck@yandex.ru.

Мельниченко Олег Валерьевич – д. т. н., заведующий кафедрой электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: olegmel'nal@mail.ru.

Линьков Алексей Олегович – к. т. н., доцент кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: linkovalex@mail.ru.

Шрамко Сергей Геннадьевич – к. т. н., доцент кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: olegmel'nal@mail.ru

Tat'yana Vital'evna Volchek – Ph.D. student at the Subdepartment of Electric Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: tanya.vol4eck@yandex.ru.

Oleg Valer'evich Mel'nichenko – Doctor of Engineering Science, Head of the Subdepartment of Electric Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: olegmel'nal@mail.ru.

Aleksei Olegovich Lin'kov – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. at the Subdepartment of Electric Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: linkovalex@mail.ru

Sergei Gennad'evich Shramko – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. at the Subdepartment of Electric Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk





## Для цитирования

## For citation

Волчек Т. В. Разработка способа и устройства для снижения пульсации тока возбуждения тягового электродвигателя электровагона в режиме ослабления поля / Т. В. Волчек, О. В. Мельниченко, А. О. Линьков, С. Г. Шрамко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 163–171. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).163–171

Volchek T. V., Mel'nichenko O. V., Lin'kov A. O., Shramko S. G. Razrabotka sposoba i ustroistva dlya snizheniya pul'satsii toka возбуждения тягового электродвигателя электровагона в режиме ослабления поля [Development of the method and device to reduce pulsation of current excitation of the electric motor electric motor in the model of reduction the field]. Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019. Vol. 63, No. 3, pp. 163–171. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).163–171

УДК 656.02

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).171–179

**В. А. Оленцевич<sup>1</sup>, В. Е. Гозбенко<sup>1,2</sup>, С. К. Каргапольцев<sup>1</sup>, Г. Н. Крамынина<sup>1</sup>**

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

<sup>2</sup> Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Российская Федерация

Дата поступления: 21 июня 2019 г.

## КОМПЛЕКС ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ И РЕКОНСТРУКТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА УЛУЧШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ УЧАСТКА НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМНЫХ СВЯЗЕЙ И ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

**Аннотация.** Организация эксплуатационной работы должна соответствовать корпоративным интересам железнодорожной транспортной системы: повышению доходности, минимизации издержек на перевозки, повышению заинтересованности структурных единиц в улучшении финансово-экономических результатов, ориентации на качественное транспортное обслуживание клиентов. Мероприятия по снижению расходов не приносят ожидаемого эффекта, приводят к снижению надежности технических средств и качества перевозки, могут повлечь дополнительные издержки на восстановление технических средств, снижение доходности. Постоянный прирост грузооборота вызывает необходимость в увеличении пропускной способности железнодорожных линий и участков. Одним из основных транспортных предприятий Восточной Сибири является Восточно-Сибирская железная дорога. На железнодорожном участке «Большой Луг – Слюдянка» максимальная величина подъемов и спусков составляет 18 ‰, минимальные радиусы кривых в плане менее 300 м, в связи с этим движение на горно-перевальном участке организовано с подталкиванием поездов. На расчетный 2023 г. целевыми показателями комплексного проекта полигона предусматривается необходимость увеличения пропускной способности рассматриваемого участка до 137 пар поездов в сутки. В статье произведен анализ факторов, влияющих на величину показателей работы участка и выявлены «узкие места». Предложен комплекс организационно-технических и реконструктивных мероприятий. Определена величина единовременных и текущих затрат, рассчитан экономический эффект от изменения показателей работы структурных единиц за счет увеличения объемов работ, рассчитан срок окупаемости каждого мероприятия.

**Ключевые слова:** железнодорожная транспортная система, клиентоориентированность, пропускная и перерабатывающая способности линии, подталкивающие локомотивы, увеличение объема работы, график движения поездов, экономическая целесообразность, проектные решения.

**V. A. Olentsevich<sup>1</sup>, V. E. Gozbenko<sup>1,2</sup>, S. K. Kargapol'tsev<sup>1</sup>, G. N. Kramynina<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Irkutsk State University of railway Transport, Irkutsk, the Russian Federation

<sup>2</sup>Angarsk State Technical University, Angarsk, the Russian Federation

Received: June 21, 2019

## THE COMPLEX OF ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL AND RECONSTRUCTIVE MEASURES AIMED AT IMPROVING THE PERFORMANCE OF THE AREA BASED ON THE STUDY OF SYSTEMIC RELATIONS AND REGULARITIES OF FUNCTIONING OF RAILWAY TRANSPORT SYSTEM

**Abstract.** The organization of operational work should meet the corporate interests of the railway transport system: increasing profitability, minimizing transportation costs, increasing the interest of structural units in improving financial and economic results, focusing on high-quality transport services to customers. Reducing costs didn't lead to the expected effect, result in a decrease in the reliability of technical means and quality of transportation, may entail additional costs for the restoration of technical means and a decrease in profitability. The constant growth of freight traffic necessitates the increase in the capacity of railway lines and sections. One of the main transport enterprises of Eastern Siberia is the East-Siberian Railway. On the Bolshoi Lug - Slyudyanka railway section, the maximum value of ascents and descents is 18 ‰, the minimum radii of the curves in the plan are less than 300 meters, and therefore the