

научно-технический

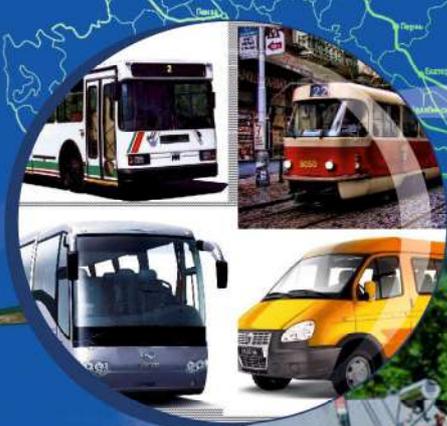
ISSN 2220-4245  
журнал

# ИЗВЕСТИЯ

№ 3(55)

2023

# Транссиб



## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА

1. **Овчаренко Сергей Михайлович** – главный редактор, ректор ОмГУПС, д.т.н., доцент (Омск).
2. **Галиев Ильхам Исламович** – зам. главного редактора, советник при ректорате ОмГУПС, д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ (Омск).
3. **Шантаренко Сергей Георгиевич** – зам. главного редактора, профессор кафедры «Технологии транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» ОмГУПС, д.т.н., доцент (Омск).
4. **Алексеев Виктор Михайлович** – профессор кафедры «Управление и защита информации» РУТА (МИИТА), д.т.н., профессор (Москва).
5. **Бессоненко Сергей Анатольевич** – заведующий кафедрой «Управление эксплуатационной работой» СГУПС, д.т.н., профессор (Новосибирск).
6. **Ведрученко Виктор Родионович** – профессор кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС, д.т.н., профессор (Омск).
7. **Глинка Тадеуш** – доктор, профессор Силезского политехнического университета (Гливице, Польша).
8. **Горюнов Владимир Николаевич** – зав. кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий» ОмГУ, д.т.н., профессор (Омск).
9. **Гуда Александр Николаевич** – проректор по научной работе РГУПС, д.т.н., профессор (Ростов-на-Дону).
10. **Зыкина Анна Владимировна** – заведующая кафедрой «Прикладная математика и фундаментальная информатика» ОмГУ, д.ф.-м.н., профессор (Омск).
11. **Исаков Александр Леонидович** – зав. кафедрой «Изыскания, проектирование и постройка железных и автомобильных дорог» СГУПС, д.т.н., профессор (Новосибирск).
12. **Ким Константин Константинович** – заведующий кафедрой «Электротехника и теплоэнергетика» ИГУПС, д.т.н., профессор (Санкт-Петербург).
13. **Комяков Александр Анатольевич** – профессор кафедры «Теоретическая электротехника» ОмГУПС, д.т.н., доцент (Омск).
14. **Косарев Александр Борисович** – первый заместитель генерального директора АО «ВНИИЖТ», д.т.н., профессор (Москва).
15. **Кузнецов Андрей Альбертович** – заведующий кафедрой «Теоретическая электротехника» ОмГУПС, д.т.н., профессор (Омск).
16. **Лебедев Виталий Матвеевич** – профессор кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУПС, д.т.н., профессор (Омск).
17. **Никитин Александр Борисович** – заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ИГУПС, д.т.н., профессор (Санкт-Петербург).
18. **Лившиц Александр Валерьевич** – заведующий кафедрой «Автоматизация производственных процессов» ИГУПС, д.т.н., профессор (Иркутск).
19. **Лю Цзянькунь** – доктор, профессор, заместитель декана Школы гражданского строительства университета Сунь Ятсена (Чжухай, Китай).
20. **Парамонов Александр Михайлович** – профессор кафедры «Теплоэнергетика» ОмГУ, д.т.н., доцент (Омск).
21. **Сидоров Олег Алексеевич** – профессор кафедры «Электроснабжение железнодорожного транспорта» ОмГУПС, д.т.н., профессор (Омск).
22. **Смердин Александр Николаевич** – проректор по научной работе ОмГУПС, д.т.н., доцент (Омск).
23. **Солоненко Владимир Гельевич** – профессор кафедры «Подвижной состав» АЛТИ, д.т.н., профессор (Алматы, Республика Казахстан).
24. **Файзибаев Шерзод Сабирович** – профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ПТРУ, д.т.н., профессор (Ташкент, Республика Узбекистан).
25. **Харламов Виктор Васильевич** – заведующий кафедрой «Электрические машины и общая электротехника» ОмГУПС, д.т.н., профессор (Омск).

## EDITORIAL BOARD

1. **Ovcharenko Sergey Mikhailovich** – chief editor, the rector of OSTU, D. Sc., associate professor (Omsk, Russia).
2. **Galiev Ilkham Islamovich** – deputy chief editor, the advisor to the rector's office of OSTU, D. Sc., professor, the honored worker of science and engineering of the Russian Federation (Omsk, Russia).
3. **Shantarenko Sergey Georgievich** – deputy chief editor, professor of the department «Technologies of transport engineering and rolling stock repair» of OSTU, D. Sc., associate professor (Omsk, Russia).
4. **Alekseev Viktor Mikhailovich** – professor of the department of Information Control and Protection of RUT, D. Sc., professor (Moscow, Russia).
5. **Bessonenko Sergey Anatolevich** – head of the department «Track Maintenance Management» of STU, D. Sc., professor (Novosibirsk, Russia).
6. **Vedruchenko Victor Rodionovich** – professor of the department «Heat-power engineering» of OSTU, D. Sc., professor (Omsk, Russia).
7. **Glinka Tadeusz** – Ph. D., professor of Silesian University of Technology (Gliwice, Poland).
8. **Goryunov Vladimir Nikolaevich** – head of the department «Power supply of industrial enterprises» of OmSTU, D. Sc., professor (Omsk, Russia).
9. **Huda Alexander Nikolaevich** – Vice-rector for scientific-work of RSTU, D. Sc., professor (Rostov-on-Don, Russia).
10. **Zykina Anna Vladimirovna** – head of the department «Applied mathematics and fundamental computer science» of OmSTU, D. Sc., professor (Omsk, Russia).
11. **Isakov Alexander Leonidovich** – head of the department «Railway and Highway Surveying and Design Engineering» of STU, D. Sc., professor (Novosibirsk, Russia).
12. **Kim Konstantin Konstantinovich** – head of the department «Electrical Engineering and Heat Power Engineering» of Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, D. Sc., professor (St. Petersburg, Russia).
13. **Komyakov Aleksandr Anatolevich** – professor of the department «Theoretical electrical engineering» of OSTU, D. Sc., associate professor (Omsk, Russia).
14. **Kosarev Alexander Borisovich** – senior deputy of general director of JSC «VNIIZhT» (Railway Research Institute), D. Sc., professor (Moscow, Russia).
15. **Kuznetsov Andrey Albertovich** – head of the department «Theoretical electrical engineering» of OSTU, D. Sc., professor (Omsk, Russia).
16. **Lebedev Vitaliy Matveyevich** – professor of the department «Heat-power engineering» of OSTU, D. Sc., professor (Omsk, Russia).
17. **Nikitin Aleksandr Borisovich** – head of the department «Automation and telemechanics on railways» of PGUPS, D. Sc., professor (St. Petersburg, Russia).
18. **Livshits Alexander Valerievich** – head of the department «Automation of Production Processes» of ISTU, D. Sc., professor (Irkutsk, Russia).
19. **Liu Jiankun** – Ph. D., professor of Sun Yat-sen University, the associate dean of the School of Civil Engineering (Zhuhai, China).
20. **Paramonov Aleksandr Mikhailovich** – professor of the department «Heat-power engineering» of OmSTU, D. Sc., associate professor (Omsk, Russia).
21. **Sidorov Oleg Alexeevich** – professor of the department «Power supply of railway transport» of OSTU, D. Sc., professor (Omsk, Russia).
22. **Smerdin Aleksandr Nikolaevich** – vice-rector by scientific work of OSTU, D. Sc., associate professor (Omsk, Russia).
23. **Solonenko Vladimir Gelyevich** – professor of the department «Rolling stock» of ALTI, D. Sc., professor (Almaty, Kazakhstan).
24. **Fayzibaev Sherzod Sabirovich** – professor of the department «Wagons and wagon facilities» of STU, D. Sc., professor (Tashkent, Uzbekistan).
25. **Kharlamov Viktor Vasilyevich** – head of the department «Electrical machines and common electrotechnic» of OSTU, D. Sc., professor (Omsk, Russia).

Иванченко Владимир Иванович – ответственный секретарь, к.т.н. (Омск).

## СОДЕРЖАНИЕ

### Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

- Бакланов А. А., Третинников О. В. Оценка погрешности измерения и учета расхода электроэнергии на грузовых электровозах..... 2
- Росляков А. Д., Курманова Л. С., Петухов С. А., Карпенко М. Ю. Моделирование индикаторного процесса среднеоборотного тепловозного двигателя при его работе с добавкой аммиака..... 13
- Отока А. Г., Холодилов О. В. Влияние температуры контактной среды на иммерсионный ультразвуковой контроль колесных пар вагонов при ремонте..... 24
- Галиев И. И., Минжасаров М. Х., Липунов Д. В. Анализ причин неисправностей кожуха зубчатой передачи локомотива 2ЭС6 «Синара»..... 33

### Управление процессами перевозок

- Красильников П. А., Соколов М. Ю., Роменский Д. Ю. Использование данных стан-дарты OpenStreetMap для задач, связанных с эксплуатацией железнодорожного транспорта..... 44
- Шугаев О. В. Определение закономерности распределения отклонений величины установленного темпа движения поездов на участке пути с автоматической системой интервального регулирования при воздействии окружающей среды и характера ведения поезда..... 54

### Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог

- Медведева Н. А., Шварцфельд В. С. Формирование и отбор вариантов топологии сети железных дорог в малоосвоенных регионах..... 66

### Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте

- Эргашева З. В., Баротов Ж. С., Самиев Ф. К. Совершенствование технологии обработки контейнеров в составе блок-трейна по отправлению на станции примыкания железнодорожного терминала..... 73
- Коллебер Ю. А., Мочалин С. М. Логистическая система городского пассажирского транспорта общего пользования..... 84

### Энергетические системы и комплексы

- Рожицкий Д. Б., Чепиль А. В., Рыбак А. А., Галуша А. Н. О разработке методологии определения энергетического эффекта при реализации энергосервисного контракта для структурных подразделений железнодорожного транспорта..... 94
- Мятеж Т. В., Любченко В. Я., Могиленко Е. А. Исследование инверторного режима зарядных станций электромобилей на примере подстанции Театральная Новосибирской энергосистемы..... 106

### Электроэнергетика

- Секретарев Ю. А., Горшунов А. А. Моделирование технического состояния электро-оборудования систем электроснабжения объектов нефтедобывающих предприятий с различными схемами питания..... 120

### Электротехнические комплексы и системы

- Макаров А. С., Кузнецов А. А., Сергеев Р. В. Применение метода акустической эмис-сии для регистрации искрения в скользящем контакте электрических машин..... 131

### Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

- Корнев Д. А. Моделирование сетей передачи данных в интеллектуальной системе управления движением поездов..... 141

### Научно-технический журнал «Известия Транссиба»

Учредитель и издатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС (ОмИИТ))»

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35

А. А. Бакланов<sup>1</sup>, О. В. Третинников<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация;

<sup>2</sup>Управление Московской железной дороги – филиала ОАО «РЖД», г. Москва, Российская Федерация

## ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ И УЧЕТА РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ГРУЗОВЫХ ЭЛЕКТРОВОЗАХ

**Аннотация.** Анализ данных показывает, что на сети железных дорог страны около 85 % от общего расхода электроэнергии на тягу поездов приходится на грузовое движение. Цель работы состоит в оценке погрешностей измерения и учета электроэнергии в грузовом движении по счетчикам электровозов и определении мер по их снижению. Используются методы: сравнительный анализ, методы интегрального исчисления, энергетического баланса и экспертных оценок.

Рассмотрены погрешности измерения расхода электроэнергии на грузовых электровозах постоянного и переменного тока, а также ошибки и погрешности на всех этапах технического учета электроэнергии по счетчикам электроподвижного состава (ЭПС). Получены зависимости максимальной относительной погрешности учета электроэнергии, обусловленные коэффициентом счетчика. Приведены соотношения и получены оценки средневзвешенной относительной погрешности измерения и учета электроэнергии в грузовом движении на отдельных этапах, а также в целом на сети железных дорог. Поскольку на некоторых этапах невозможно точно определить погрешности, использованы экспертные оценки. Даны рекомендации по снижению погрешностей и ошибок при учете электроэнергии, в том числе путем использования средств измерения (счетчиков электроэнергии, датчиков тока и напряжения) более высокого класса точности, а также полной автоматизации измерения и учета электроэнергии на ЭПС, исключая влияние человеческого фактора и случаев разрыва так называемых энергетических и временных цепочек. Определены условия, при которых возможно повысить точность измерения и учета расхода электроэнергии в грузовом движении, а также эффективность разрабатываемых мероприятий, в том числе устанавливаемых норм расхода электроэнергии на тягу поездов.

**Ключевые слова:** тяга поездов, расход электроэнергии, грузовой электровоз, счетчик электроэнергии, погрешность измерения и учета.

Alexander A. Baklanov<sup>1</sup>, Oleg V. Tretinnikov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, the Russian Federation;

<sup>2</sup>Management of the Moscow Railway – branch of JSC «Russian Railways», Moscow, the Russian Federation

## ESTIMATION OF MEASUREMENT AND ACCOUNTING ERRORS ELECTRICITY CONSUMPTION ON ELECTRIC FREIGHT LOCOMOTIVES

**Abstract.** Analysis of the data shows that about 85 % of the total electricity consumption for train traction in the country's railway network falls on freight traffic. The purpose of the work is to assess the errors in measuring and accounting for electricity in freight traffic using electric locomotive meters and to determine measures to reduce them. Methods used: comparative analysis, methods of integral calculus, energy balance and expert assessments.

The errors in measuring the consumption of electricity on electric freight locomotives of direct and alternating current, as well as errors and inaccuracies at all stages of technical metering of electricity by electric rolling stock meters (EPS) are considered. The dependences of the maximum relative error of electricity metering, due to the meter coefficient, are obtained. Relationships are given and estimates are obtained for the weighted average relative error in measuring and accounting for electricity in freight traffic at individual stages, as well as in the whole on the railway network. Since at some stages it is impossible to accurately determine the errors, expert estimates were used. Recommendations are given to reduce errors and errors in electricity metering, including through the use of measuring instruments (electricity meters, current and voltage sensors) of a higher accuracy class, as well as full automation of the measurement and metering of electricity at the EPS, excluding the influence of the human factor and cases of rupture so-called energy and time chains. The conditions are determined under which it is possible to improve the accuracy of measuring and accounting for the consumption of electricity in freight traffic, as well as the effectiveness of the measures being developed, including the established norms for the consumption of electricity for train traction.

**Keywords:** train traction, electricity consumption, electric freight locomotive, electricity meter, measurement and accounting error.

Энергетическая стратегия ОАО «РЖД» на период до 2020 г. и на перспективу до 2030 г. и Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г. предусматривают повышение энергетической эффективности тяги поездов. Одним из путей решения этой задачи в электрической тяге является повышение достоверности учета расхода электроэнергии на тягу, позволяющее в конечном итоге уточнить степень влияния различных факторов на энергозатраты поездов и разработать мероприятия по их минимизации. Как известно, железнодорожный транспорт является одним из крупнейших потребителей энергоресурсов, который расходует более 4 % вырабатываемой в России электроэнергии [1]. При этом основной объем потребленной электроэнергии приходится на тягу поездов в грузовом движении. Так, в 2021 г. на тягу поездов израсходовано 44,7 млрд кВт·ч, в том числе в грузовом движении 38,3 млрд кВт·ч, что составляет 85,6 % от общего расхода электроэнергии.

Как известно, на электрифицированных железных дорогах осуществляется коммерческий и технический учет электроэнергии, при этом первый из них производится на тяговых подстанциях с помощью автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ). Технический учет электроэнергии в настоящее время осуществляется на электроподвижном составе с помощью различных бортовых систем, включающих в себя и счетчики электроэнергии. Целью данной статьи является оценка погрешности технического учета электроэнергии на тягу поездов в грузовом движении.

Учет расхода электроэнергии на тягу поездов представляет собой многоэтапный процесс, при этом на каждом этапе возможно возникновение различных погрешностей и ошибок, уменьшение которых позволяет повысить достоверность конечного результата. Достоверность учета электроэнергии является ключевым фактором, от которого зависит качество анализа, планирования и нормирования расхода электроэнергии на тягу поездов [2].

Анализ процесса технического учета электроэнергии на тягу поездов показывает, что в нем можно выделить три основных этапа:

этап I – измерение электроэнергии счетчиками или автоматизированными системами управления ЭПС;

этап II – регистрация показаний счетчиков электроэнергии в бумажном или электронном маршруте машиниста либо в носителе информации автоматизированной системы управления ЭПС;

этап III – регистрация (перенос) показаний счетчиков электроэнергии из маршрута машиниста или носителя информации автоматизированной системы управления ЭПС в стационарную компьютеризированную систему обработки и хранения информации.

Здесь необходимо уточнить, что современные счетчики измеряют потребление  $A_{э,потр}$  электроэнергии в режиме тяги и возврат электроэнергии  $A_{э,возвр}$  в режиме рекуперативного торможения ЭПС, при этом расход электроэнергии  $A_э$  равен разности между потреблением и возвратом и рассчитывается при обработке маршрута машиниста по формуле [3]:

$$A_э = A_{э,потр} - A_{э,возвр}. \quad (1)$$

При отсутствии на ЭПС рекуперативного торможения расход электроэнергии равен потреблению, т. е.  $A_э = A_{э,потр}$ .

Основными показателями погрешности измерения (учета) электроэнергии на тягу поездов, как известно, являются абсолютная  $\Delta$  и относительная  $\delta$  погрешности, характеризующиеся выражениями [4, 5]:

$$\Delta = A_{э,измер} - A_{э,истин}; \quad \delta = \frac{\Delta}{A_{э,истин}}, \quad (2)$$

где  $A_{э,измер}$ ,  $A_{э,истин}$  – соответственно измеренное и истинное количество электроэнергии.

# Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

Применительно к грузовому движению на электрифицированных участках постоянного тока в таблице 1 приведены этапы учета электроэнергии на тягу поездов, а также в зависимости от вида маршрута машиниста (носителя информации) и средства измерения представлены доли соответствующих маршрутов машиниста в общем их количестве, способы регистрации измеренной электроэнергии в маршруте машиниста или носителе информации и способ занесения информации в стационарную компьютеризированную систему. Из данных таблицы 1 видно, что в настоящее время формирование большинства маршрутов машиниста, а также регистрация электроэнергии в них производится в электронном виде, но в каждом эксплуатационном локомотивном депо имеются свои особенности.

Таблица 1 – Этапы учета расхода электроэнергии на тягу поездов

Вид маршрута машиниста (носитель информации)	Доля в общем количестве маршрутов машиниста, %	Этапы учета электроэнергии на тягу поездов		
		I	II	III
		Измерение электроэнергии счетчиками или автоматизированными системами управления ЭПС	Регистрация измеренной электроэнергии в носителе информации	Регистрация электроэнергии в компьютере, обработка и хранение информации
Маршрут машиниста на бумажном носителе (форма ТУ-3ВЦЕ, ТУ-3ВЦУ)	< 10	СКВТ-Д621, СКВТ-Ф610, СКВТ-М, БИВ4/41 (РПДА), СЭППТ-02 (АСИМ, УСАВП-Г, ИСАВП-РТ)	Ручная	Ручная
Электронный маршрут машиниста (картридж)	< 90	СКВТ-Д621, СКВТ-Ф610, СКВТ-М, БИВ4/41 (РПДА), СЭППТ-02 (АСИМ, УСАВП-Г, ИСАВП-РТ)	Ручная	Электронная
	< 50	СЭППТ-02 (АСИМ, УСАВП-Г, ИСАВП-РТ)	Электронная	Электронная

На первом этапе учета расхода электроэнергии на тягу поездов наряду с погрешностью средств измерения электроэнергии выделены следующие возможные причины, влияющие на достоверность учета электроэнергии: неисправность счетчика или системы регистрации и учета электроэнергии, некорректная работа счетчика или системы регистрации и учета электроэнергии, физическое вмешательство со стороны локомотивной бригады в исправную работу средств измерения электроэнергии, ошибка при считывании показаний счетчика.

Основные понятия и принципы измерения энергии на электровозах достаточно подробно рассмотрены в работах [3, 6], в которых показано, что погрешность измерения электроэнергии на ЭПС определяется прежде всего классом точности средств измерения: счетчиков электроэнергии, датчиков тока и напряжения. В качестве датчиков тока и напряжения для счетчиков электроэнергии на ЭПС постоянного тока используются в основном измерительные шунты и делители напряжения, а на ЭПС переменного тока – измерительные трансформаторы тока и трансформаторы напряжения либо делители напряжения.

В настоящее время на новых и прошедших модернизацию ранее выпущенных электровозах постоянного тока устанавливают электронные счетчики: СКВТ-Ф610 класса точности 1,0; СКВТ-М класса точности 1,0; БИВ4/41 класса точности 1,0 (регистратор параметров движения РПДА); СЭППТ-02 класса точности 0,2 (система информирования машиниста автономная АСИМ, универсальная система автоведения электровозов грузового движения УСАВП-Г, интеллектуальная система автоматизированного вождения поездов повышенной массы и длины с распределенной тягой ИСАВП-РТ).