

УДК 621.331

## Интегральная модель для считывания и статистического анализа графиков нагрузки тягового подвижного состава

А. А. Галков, И. А. Худоногов

Иркутский государственный университет путей сообщения, Россия, 664074, Иркутск, ул. Чернышевского, 15

**Для цитирования:** Галков А. А., Худоногов И. А. Интегральная модель для считывания и статистического анализа графиков нагрузки тягового подвижного состава // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2026. Т. 23. Вып. 1. С. 71–80. DOI: 10.20295/1815-588X-2026-1-71-80

### Аннотация

В данной статье идет описание компьютерной модели, созданной в программном комплексе SimInTech. Модель сформирована с целью считывания токовой тяговой нагрузки из программных комплексов Fazanord и КОРТЭС, преобразования ее в эквивалентные значения сопротивления нагрузки и потребляемой мощности, а также статистического анализа полученного временного графика нагрузки. Необходимость создания модели, выполняющей такое преобразование, обусловлена возможностью моделировать в SimInTech систему тягового электроснабжения в режимах с не учитываемыми ранее факторами, влияющими на ее работу. Например, регулирование напряжения системы в автоматическом режиме посредством устройства РПН. Однако моделирование тяговой нагрузки является трудоемким и сложным процессом, поэтому, чтобы смоделировать тяговую нагрузку, было принято решение воспользоваться программами Fazanord и КОРТЭС, которые уже давно прошли апробацию. Данные программы позволяют делать выгрузку тяговых расчетов в файл формата .txt, из которого данные считываются программой SimInTech. Также во время расчета проводится статистический анализ на равномерность графиков нагрузки. Модель создана на базе типовых блоков SimInTech, а также программируемых блоков, в которых посредством собственного языка программы написаны условия и формулы для выполнения необходимых расчетов. В модели проведено несколько расчетов, в том числе пробный, благодаря которому оценивалась корректность вычислений, выполняемых программой. Созданная модель является промежуточным звеном для решения задач, направленных на исследование возможностей совершенствования работы и повышения периода эксплуатации устройств РПН при его работе в автоматическом режиме в системах тягового электроснабжения. **Цель:** создать модель в программном комплексе SimInTech, способную преобразовывать токовые значения тяговой нагрузки из программных комплексов КОРТЭС и Fazanord в эквивалентные значения сопротивления и мощности для их применения в дальнейшем при моделировании, а также статистического анализа. **Результаты:** в программном комплексе SimInTech была создана компьютерная модель, которая считывает значения токовой нагрузки из файлов формата .txt и преобразует в эквивалентные значения сопротивления. Модель также рассчитывает ключевые показатели, по которым можно охарактеризовать равномерность графика нагрузки. **Практическая значимость:** компьютерная модель позволяет преобразовывать токовую нагрузку в сопротивление для дальнейшего применения в моделировании динамических систем тягового электроснабжения, а также проводит статистический анализ графика нагрузки.

**Ключевые слова:** статистический анализ, график нагрузки, тяговое электроснабжение, компьютерное моделирование, SimInTech, КОРТЭС, тяговый расчет

## Введение

В настоящее время компьютерное моделирование сложных систем позволяет сэкономить большое количество ресурсов и времени [1–3]. Тяговое электроснабжение — сложная электротехническая система, основным потребителем которой является подвижной состав на электрической тяге. В связи с этим нагрузка имеет труднопрогнозируемый характер.

Программные комплексы Fazanord и КОРТЭС уже давно хорошо зарекомендовали себя в сфере моделирования систем тягового электроснабжения. Однако данные комплексы не позволяют моделировать динамические модели и учитывать некоторые особенности. Например, моделировать возможное регулирование напряжения посредством устройств РПН, установленных на тяговых трансформаторах тяговых подстанций, или включение-отключение установок продольной и поперечной компенсации [4–8].

Среда динамического моделирования SimInTech позволяет создавать модели, в которых будут смоделированы не рассматриваемые ранее в программных комплексах сложные динамические процессы, подлежащие более детальному изучению [9]. Поскольку Fazanord и КОРТЭС являются надежными, прошедшими апробацию программными комплексами, которые способны выполнять тяговые расчеты и не только, было принято решение создать программу в SimInTech, позволяющую считывать нагрузку из Fazanord и КОРТЭСа и тем

самым интегрировать данные расчетов всех трех программных средств.

## Тяговый расчет

В этом исследовании для создания нагрузки использовался программный комплекс КОРТЭС, но Fazanord тоже может создавать тяговую нагрузку. Чтобы получить нужные данные, в КОРТЭСе были проведены расчеты для двух типов поездов — грузового и пригородного. Грузовые поезда имели составы весом 7100, 4500 и 3000 т. Локомотивами для грузовых поездов были выбраны модели 2ЭС5К и 3ЭС5К. Пригородный поезд состоял из 5 вагонов и весил 624 т. В табл. 1 приведены основные характеристики этих поездов.

Тяговый расчет выполнялся на участке Иркутск сортировочный — Зима, который отличается сложный профиль пути. Длина этого участка составляет 243,1 км. Профиль пути показан ниже на рис. 1 и 2.

В ходе выполнения тягового расчета создается «отчет о поездке», в котором дается основная информация по выполненному расчету. В окно отчета можно выгрузить файл в формате .txt, в котором указываются координаты движения, зависимости скорости поезда, активного и полного токопотребления от времени. Поскольку для создания нагрузки не нужны параметры скорости и координаты движения, то для создания нагрузки использовались только значения активного и полного

ТАБЛИЦА 1

Наименование	Категория	Локомотив	Кол-во секций, ед.	Масса поезда, т	Масса состава, т
Грузовой 3000	Грузовой	2ЭС5К	2	3000	3192
Грузовой 4500	Грузовой	2ЭС5К	2	4500	4692
Грузовой 7100	Грузовой	3ЭС5К	3	7100	7388
Пригород	Пригород	ЭД9Т	5	624	—

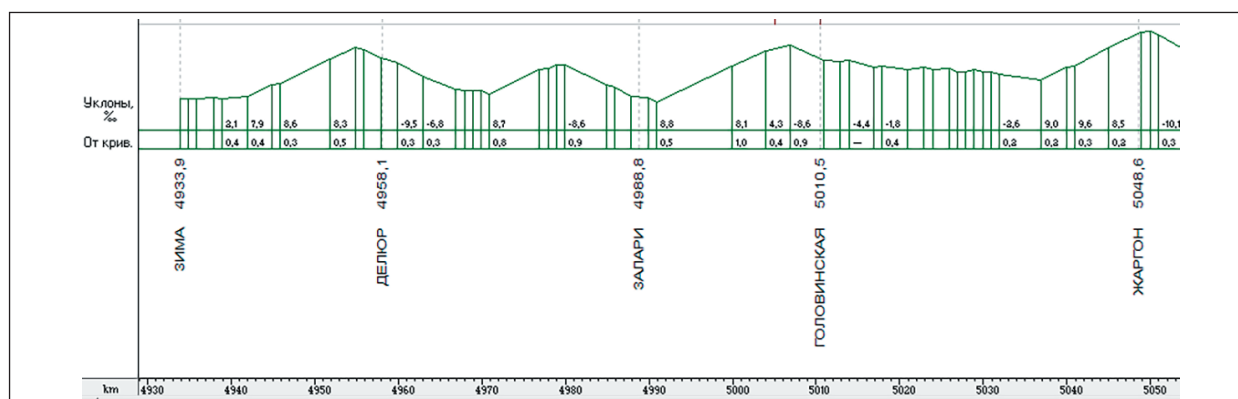


Рис. 1. Профиль пути на участке Зима — Жаргон

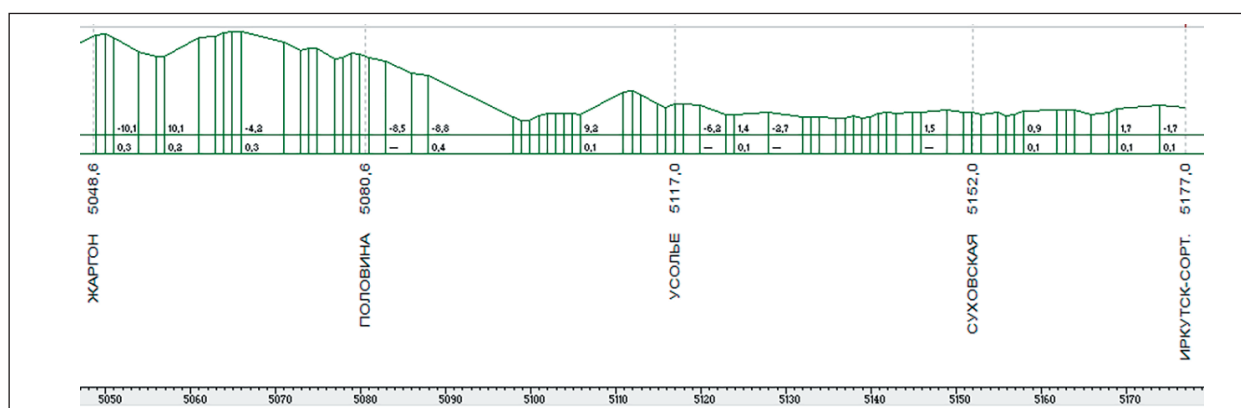


Рис. 2. Профиль пути на участке Жаргон — Иркутск Сортировочный

токопотребления. Период усреднения тока приняли равным 1 мин.

На рис. 3 показан пример отчета о поездке в КОРТЭСе и выгрузка данного отчета в файл .txt.

### Моделирование

Была создана специальная модель в SimInTech, общий вид которой показан на рис. 4.

Данную модель можно разделить условно на три основные части:

#### 1. Секция считывания данных из файла.

Данная секция позволяет задать наименование файла в формате .txt, из которого будут считываться данные, шаг их считывания и количество считываемых данных (количество столбцов).

#### 2. Секция вычисления мощности нагрузки и сопротивления.

Мощность нагрузки и сопротивление напрямую зависят от номинального напряжения в сети, поэтому в данной модели мы подключили блок константы со значением 27 500, так как это номинальное значение напряжения контактной сети на фидерах тяговой подстанции. Блок константы можно заменить вольтметром, считывающим показания напряжения в режиме реального времени в модели. Тогда показания сопротивления и мощности будут вычисляться более точно в связи с тем, что на практике значение напряжения может быть ниже из-за потерь в контактной сети, на нагрузке и по причине других факторов.

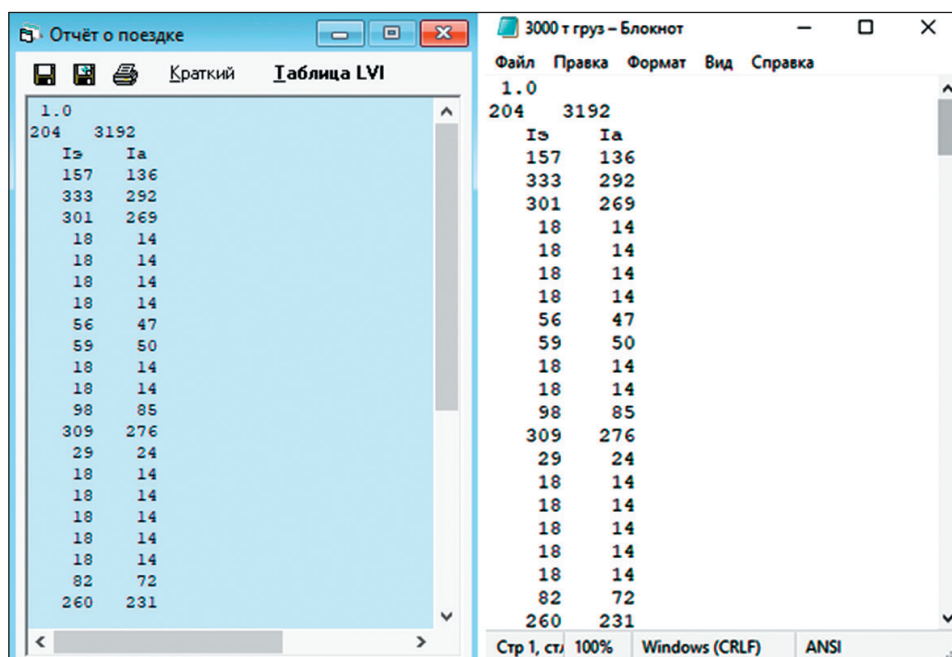


Рис. 3. Отчет о поездке с токовыми значениями нагрузки

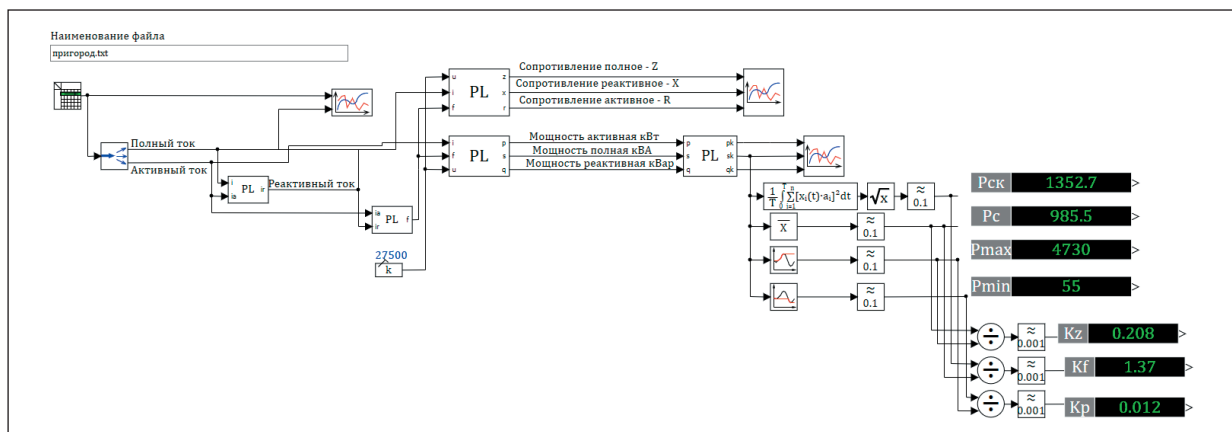


Рис. 4. Общий вид компьютерной модели в SimInTech

Программа выполняет расчеты по следующим формулам.

Вычисляется реактивный ток нагрузки и угол сдвига фаз —  $\varphi$ :

$$I_{\text{полн}} = \sqrt{I_{\text{актив}}^2 + I_{\text{реакт}}^2}, \quad (1)$$

где  $I_{\text{полн}}$  — полное значение тока;

$I_{\text{актив}}$  — активная составляющая значения тока;

$I_{\text{реакт}}$  — реактивная составляющая значения тока.

Отсюда:

$$I_{\text{реакт}} = \sqrt{I_{\text{полн}}^2 - I_{\text{актив}}^2}. \quad (2)$$

Вычисляется угол  $\varphi$ :

$$\varphi = \arctg \frac{I_{\text{реакт}}}{I_{\text{актив}}}. \quad (3)$$

Вычисляются сопротивления — полное ( $Z$ ), активное ( $P$ ) и реактивное ( $X$ ):

$$Z = \frac{U}{I_{\text{полн}}}, \quad (4)$$

где  $U$  – действующее значение напряжения,

$$X = Z \cdot \sin(\varphi), \quad (5)$$

$$R = Z \cdot \cos(\varphi). \quad (6)$$

Вычисляется мощность — полная ( $S$ ), активная ( $P$ ) и реактивная ( $Q$ ):

$$S = I_{\text{полн}} \cdot U, \quad (7)$$

$$Q = S \cdot \sin(\varphi), \quad (8)$$

$$P = S \cdot \cos(\varphi). \quad (9)$$

Именно данные значения можно использовать для задания нагрузки в модели системы тягового электроснабжения, созданной в SimInTech.

На рис. 5 представлен график токовой нагрузки грузового поезда массой 3000 т, преобразованной в эквивалентные значения потребляемой мощности — полной ( $S$ ), активной ( $P$ ) и реактивной ( $Q$ ).

**3. Секция вычисления числовых показателей графика электрической нагрузки.** Временной график нагрузки можно проанализировать по ключевым показателям, которые могут быть важны при статистическом анализе динамической модели:

- максимальной мощностью  $P_{max}$ ;
- минимальной мощностью  $P_{min}$ ;
- средней мощностью, которая вычисляется по формуле:

$$P_C = \frac{\Delta t}{n} \sum_{i=1}^n P_i, \quad (10)$$

где  $\Delta t$  — интервал усреднения нагрузки;

$n$  — число интервалов;

$P_i$  — входной сигнал блока;

- среднеквадратичной мощностью, которая вычисляется по формуле:

$$P_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{\Delta t}{n} \sum_{i=1}^n P_i^2}, \quad (11)$$

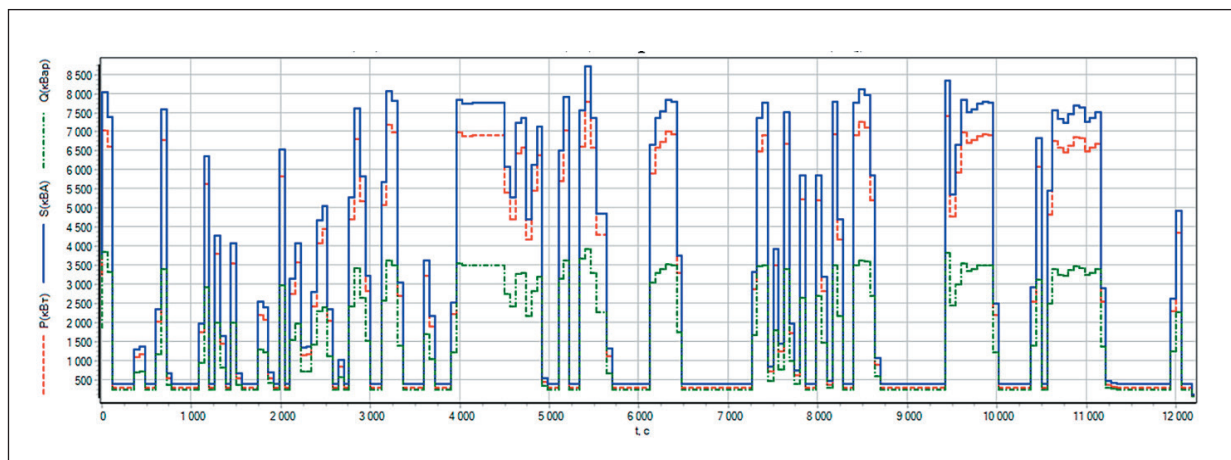
или

$$P_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T P_i^2(t) dt}, \quad (12)$$

где  $T = t$  — текущее модельное время.

Формулу можно получить в SimInTech путем совмещения двух блоков — квадратичного функционала и корня квадратного.

По вышеперечисленным значениям можно получить ключевые коэффициенты, характеризующие график электрической нагрузки:



**Рис. 5.** График мощности тяговой нагрузки для грузового поезда массой 3000 т

- коэффициент заполнения  $k_Z$ ;
- коэффициент формы  $k_F$ ;
- коэффициент равномерности  $k_P$ .

Данные коэффициенты вычисляются по следующим формулам:

$$k_Z = \frac{P_C}{P_{max}}; \quad (13)$$

$$k_F = \frac{P_{CK}}{P_C}; \quad (14)$$

$$k_P = \frac{P_{min}}{P_{max}}. \quad (15)$$

Обычно суточные и годовые графики нагрузки у промышленных предприятий имеют значения коэффициентов в следующих пределах:

- $k_Z = 0,4 \dots 0,95$ ;
- $k_F = 1,01 \dots 1,3$ ;
- $k_P = 0,1 \dots 0,9$ .

В случае если нагрузка представлена неизменной во времени величиной (идеально равномерный график), то  $k_Z = k_F = k_P = 1$ . Чем «ровнее» график нагрузки, тем ближе к единице значения коэффициентов.

Для проверки корректности работы программы используем график с неизменными во времени значениями нагрузки. Для этого создадим файл формата .txt с наименованием «равномерный», в котором примем значения полного и активного токопотребления 100 А и 50 А соответственно. Укажем наименования файла в специально отведенном для этого поле программы и выполним расчет.

На рис. 6 показаны результаты расчета.

Как мы видим, программа вычислила значения, характеризующие график и условие ( $k_Z = k_F = k_P = 1$ ) для графика с неизменной по времени нагрузкой. Отсюда следует, что программа функционирует корректно. Помимо этого,

программа преобразовала значение токовой нагрузки в мощность и сопротивление.

### Расчет показателей и их анализ

Рассчитали показатели для значений активных токовых нагрузок тяговых расчетов различных типов ЭПС, указанных ранее в табл. 1, и свели полученные значения в табл. 2.

Поскольку тяговая нагрузка характеризуется высоким значением индуктивности, то анализировать стоит не только активную составляющую токопотребления, но и полную. Значения произведенного расчета для полной мощности нагрузки указаны в табл. 3.

Анализ таблиц показал, что наиболее прямолинейный график активной составляющей мощности демонстрирует грузовой поезд массой 4500 т, поскольку он имеет  $k_Z$  и  $k_F$  близкие к единице. Однако проведя аналитику коэффициентов по полной мощности, можно сделать вывод, что прямолинейность графика нагрузки грузового поезда 7100 т приблизительно равна поезду 4500 т. Наибольшую неравномерность графика в обоих случаях демонстрирует пригородный поезд.

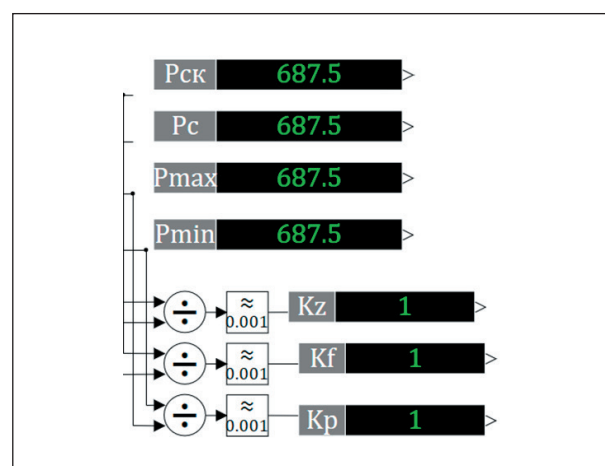


Рис. 6. Визуальные индикаторы модели, на которые выводится информация о статистическом анализе графика нагрузки

ТАБЛИЦА 2

Наименование	$P_{max}$ , кВт	$P_{min}$ , кВт	$P_c$ , кВт	$P_{ск}$ , кВт	$k_z$	$k_f$	$k_p$
Грузовой 3000	8717,5	385	3149,3	4419,8	0,361	1,4	0,044
Грузовой 4500	9707,5	385	4307,3	5684,7	0,444	1,32	0,04
Грузовой 7100	13970	577,5	6040,4	7961	0,422	1,32	0,041
Пригород	4730	55	985,5	1362,7	0,208	1,37	0,012

ТАБЛИЦА 3

Наименование	$S_{max}$ , кВА	$S_{min}$ , кВА	$S_c$ , кВА	$S_{ск}$ , кВА	$k_z$	$k_f$	$k_p$
Грузовой 3000	9762,5	495	3573,5	4971,5	0,366	1,39	0,051
Грузовой 4500	10917,5	495	4773,3	6314	0,437	1,32	0,045
Грузовой 7100	15620	742,5	7021	9076	0,449	1,29	0,048
Пригород	5940	82,5	1159,2	1585,5	0,195	1,37	0,014

### Заключение

Таким образом, была создана модель, позволяющая считывать токовую нагрузку из текстового файла формата .txt и преобразовывать ее в эквивалентные значения сопротивления и мощности. Это позволит в дальнейшем с большей достоверностью создавать модели системы тягового электроснабжения в SimInTech [11–15].

Модель также позволяет проводить статистический анализ графиков нагрузки на «прямолинейность» по ключевым коэффициентам — формы, заполнения, равномерности. Для проверки корректности работы модели были проанализированы пять нагрузок, одна из которых представляла собой неизменную во времени. Произведенные расчеты позволили сравнить между собой несколько различных графиков нагрузки ЭПС. Они показали, что наиболее прямолинейные графики имеют поезд массой 7100 т и 4500 т, а наименее — пригородного поезда. Однако стоит отметить, что текущих данных для полноценного анализа недостаточно, поскольку сравнение произ-

водилось на одном участке. Для более детальных выводов стоит провести моделирование на участках с различным профилем пути.

### Список источников

1. Комяков А. А., Шкулов А. И., Бартель Л. А. Имитационное моделирование динамических процессов в системе тягового электроснабжения // Известия Транссиба. 2023. № 2 (54). С. 16–29.
2. Пиляев В. С., Гуков П. О. Моделирование систем электроснабжения с помощью программы SimInTech // Молодежный вектор развития аграрной науки: материалы 72-й национальной научно-практической конференции студентов и магистрантов. Ч. I. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, 2021. С. 223–226.
3. Митрофанов Н. В., Пиляев С. Н. Моделирование системы электроснабжения в программе SimInTech // Молодежный вектор развития аграрной науки: материалы 72-й национальной научно-практической конференции студентов и магистрантов. Ч. I. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, 2021. С. 502–505.

4. Герман Л. А., Кишкурно К. В. Регулирование напряжения в тяговой сети переменного тока железных дорог // *Электричество*. 2014. № 9. С. 23–34.
5. Герман Л. А., Герман В. Л. Автоматизация электроснабжения тяговой сети переменного тока: монография. М.: МГУПС, 2014. 173 с.
6. Совершенствовать регулирование напряжения на тяговых подстанциях / Л. А. Герман [и др.] // *Локомотив*. 2012. № 5 (665). С. 45–46.
7. Каландаров Х. У., Михеев Г. М., Ефремов Л. Г. Применение переключающих устройств в электроэнергетике // *Региональная энергетика и электротехника: проблемы и решения: сб. науч. тр. Вып. 11. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2015. С. 129–138.*
8. Турсунов Д. А., Исмоилов И. К. Анализ вопросов применения устройств регулирования силовых трансформаторов // *Universum. Технические науки: электрон. науч. журн.* 2020. № 8 (77). С. 68–75.
9. Незевак В. Л., Скоков Р. Б., Павлова Р. В. Применение имитационной модели тяговой подстанции постоянного тока для оценки качества электроэнергии // *Известия Транссиба*. 2025. № 1 (61). С. 36–48.
10. Куцкий А. П., Овечкин И. С., Галков А. А. Повышение пропускной способности участка Якурим — Киренга для обеспечения тяги сдвоенных электроподвижных составов массой 14200 тонн // *Молодая наука Сибири*. 2022. № 2 (16). С. 137–149.
11. Пышкин А. А., Лесников Д. В. Электроснабжение железных дорог: учебник. Екатеринбург, 2023. 507 с.
12. Худогов И. А., Галков А. А. Автоматическое управление режимами электроэнергетических систем // *Технико-экономические проблемы развития регионов: материалы научно-практической конференции с международным участием. Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2024. С. 227–230.*
13. Справочная система SimInTech (v12.11.2025). URL: <https://help.simintech.ru/> (дата обращения 10.11.2025).
14. Khudonogov I. A., Puzina E. Y., Tuigunova A. G. The Use of "Technical Rigidity" Indices to Assess Climatic Factors Effects on Power Transformers Reliability // *2020 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon)*. Chelyabinsk, 2020. Pp. 136–141, DOI: 10.1109/UralCon49858.2020.9216258.
15. Фельдман С. О., Ячкула Н. И. Автоматическое регулирование напряжения в тяговой сети переменного тока // *Локомотив*. 2013. № 1 (673). С. 46–47.

Дата поступления: 30.11.2025

Решение о публикации: 13.02.2026

#### Контактная информация:

ГАЛКОВ Александр Андреевич — аспирант;  
galkov16@gmail.com

ХУДОГОВ Игорь Анатольевич — д-р техн.  
наук, профессор; hudonogovi@mail.ru

## An integral model for reading and statistical analysis of traction rolling stock load graphs

**A. A. Galkov, I. A. Khudonogov**

Irkutsk State Transport University, 15 Chernyshevsky st., 664074, Irkutsk, Russia

**For citation:** *Galkov A. A., Khudonogov I. A. An integral model for reading and statistical analysis of traction rolling stock load graphs // Proceedings of Petersburg State Transport University, 2026. Vol. 23, iss. 1. Pp. 71–80. DOI: 10.20295/1815-588X-2026-1-71-80. (In Russian)*

## Abstract

This paper describes a computer model implemented within the SimInTech software package. The model imports traction current load data from the Fazanord and KORTES software packages, converts these signals into equivalent load resistances and consumed power values, and performs a statistical analysis of the resulting time-series load profiles. It was developed to enable simulation of the traction power supply system in SimInTech in operational modes that include factors not previously modelled, such as automatic voltage regulation via an on-load voltage regulator (OLVR). However, traction load modelling is a labor-intensive and complex process. Therefore, validated outputs from Fazanord and KORTES were used to supply traction load inputs. The described programmes export traction calculation results to a .txt file, which is subsequently imported into SimInTech. During these computations, a statistical analysis of load-curve uniformity was also performed. The model was constructed using standard SimInTech blocks alongside programmable blocks, where the conditions and formulas required for the computations were implemented in a proprietary scripting language. Multiple computational scenarios were performed within the model, including a trial run to assess the accuracy of its calculations. The created model functions as an intermediate tool for addressing issues related to improving the performance and extending the service life of on-load voltage regulators operating automatically in traction-power supply systems. **Objective:** to develop a model in the SimInTech software package capable of converting traction load-current values from the KORTES and Fazanord software packages into equivalent resistance and power values for subsequent use in modelling and statistical analysis. **Results:** a computer model was created in the SimInTech software package that receives current load values from .txt files and converts them into equivalent resistance values. The model also computes key performance metrics that can be utilized to describe the load curve's homogeneity. **Practical significance:** the computer model provides statistical analysis of the load curve and allows current load to be converted into resistance for further use in modelling dynamic traction power supply systems.

**Keywords:** statistical analysis, load curve, traction power supply, computer modelling, SimInTech, KORTES, traction calculation

## References

1. Komyakov A.A., Shkulov A.I., Bartel' L.A. Imitatsionnoe modelirovanie dinamicheskikh protsessov v sisteme tyagovogo elektrosnabzheniya // Izvestiya Transsiba. 2023. No. 2 (54). S. 16–29. (In Russian)
2. Pilyaev V.S., Gukov P.O. Modelirovanie sistem elektrosnabzheniya s pomoshch'yu programmy SimInTech // Molodezhnyj vektor razvitiya agrarnoj nauki: materialy 72-j natsional'noj nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov i magistrantov. Ch. I. Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni imperatora Petra I, 2021. S. 223–226. (In Russian)
3. Mitrofanov N.V., Pilyaev S.N. Modelirovanie sistemy elektrosnabzheniya v programme SimInTech // Molodezhnyj vektor razvitiya agrarnoj nauki: materialy 72-j natsional'noj nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov i magistrantov. Ch. I. Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni imperatora Petra I, 2021. S. 502–505. (In Russian)
4. German L.A., Kishkurno K.V. Regulirovanie napryazheniya v tyagovoj seti peremennogo toka zheleznikh dorog // Elektrichestvo. 2014. No. 9. S. 23–34. (In Russian)
5. German L.A., German V.L. Avtomatizatsiya elektrosnabzheniya tyagovoj seti peremennogo toka: monografiya. M.: MGUPS, 2014. 173 s. (In Russian)
6. Sovershenstvovat' regulirovanie napryazheniya na tyagovykh podstantsiyakh / L.A. German [i dr.] // Lokomotiv. 2012. No. 5 (665). S. 45–46. (In Russian)
7. Kalandarov Kh.U., Mikheev G.M., Efremov L.G. Primenenie pereklyuchayushchikh ustroystv v elektroenergetike // Regional'naya energetika i elektrotehnika: problemy i resheniya: sb. nauch. tr. Vyp. 11. Cheboksary: Izd-vo Chuvash. un-ta, 2015. S. 129–138. (In Russian)
8. Tursunov D.A., Ismoilov I.K. Analiz voprosov primeneniya ustroystv regulirovaniya silovykh transformatorov // Universum. Tekhnicheskie nauki:

elektron. nauch. zhurn. 2020. No. 8 (77). S. 68–75. (In Russian)

9. Nezevak V.L., Skokov R.B., Pavlova R.V. Primenenie imitatsionnoj modeli tyagovoj podstantsii postoyannogo toka dlya otsenki kachestva elektroenergii // *Izvestiya Transsiba*. 2025. No. 1 (61). S. 36–48. (In Russian)

10. Kutsyj A.P., Ovechkin I.S., Galkov A.A. Povyshenie propusknoj sposobnosti uchastka Yakurim — Kirenga dlya obespecheniya tyagi sdvoennykh elektropodvizhnykh sostavov massoj 14200 tonn // *Molodaya nauka Sibiri*. 2022. No. 2 (16). S. 137–149. (In Russian)

11. Pyshkin A.A., Lesnikov D.V. *Elektrosnabzhenie zheleznykh dorog: uchebnik*. Ekaterinburg, 2023. 507 s. (In Russian)

12. Khudonogov I.A., Galkov A.A. Avtomaticheskoe upravlenie rezhimami elektroenergeticheskikh sistem // *Tekhniko-ekonomicheskie problemy razvitiya regionov: materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. Irkutsk: Irkutskij natsional'nyj issledovatel'skij tekhnicheskij universitet, 2024. S. 227–230. (In Russian)

13. Spravochnaya sistema SimInTech (v12.11.2025). URL: <https://help.simintech.ru/> (data obrashcheniya 10.11.2025). (In Russian)

14. Khudonogov I.A., Puzina E.Y., Tuigunova A.G. The Use of “Technical Rigidity” Indices to Assess Climatic Factors Effects on Power Transformers Reliability // *2020 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon)*. Chelyabinsk, 2020, Pp. 136–141, DOI: 10.1109/UralCon49858.2020.9216258.

15. Fel'dman S.O., Yachkula N.I. Avtomaticheskoe regulirovanie napryazheniya v tyagovoj seti peremennogo toka // *Lokomotiv*. 2013. No. 1 (673). S. 46–47. (In Russian)

Received: 30.11.2025

Accepted: 13.02.2026

**Author's information:**

Aleksandr A. GALKOV — Postgraduate Student;  
galkov16@gmail.com

Igor' A. HUDONOGOV — Dr. Sci. in Engineering,  
Professor; hudonogovi@mail.ru