

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ УЧАСТКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Жилин Е.В., Лёвин Д.Д.

Университет науки и технологий МИСИС, г. Москва

### Аннотация

Работа посвящена имитационному моделированию системы электроснабжения участка промышленного предприятия с динамически изменяющейся нагрузкой в узлах энергопотребления. Имитационная модель фрагмента системы электроснабжения включает четыре трансформаторные подстанции напряжением 10/0,4 кВ, три распределительные пункта и семь кабельных линий напряжением 10 кВ. Для моделирования используется программный комплекс SimInTech, обеспечивающий возможность построения математических моделей на основе полиномов высокого порядка. Полиномиальные регрессии, использовавшиеся в ходе работы, были предварительно верифицированы путём определения коэффициентов детерминации с фактическими данными статистики энергопотребления предприятия конкретных суток с почасовым разрешением. Выполненные исследования позволили графически отобразить характер временных вариаций активных и реактивных составляющих мощности и напряжения участка системы электроснабжения, установить локализацию областей максимального снижения уровня напряжения и выделить узлы максимальной нагрузки электротехнического оборудования. Построенные графики динамической активной и реактивной мощности и напряжения иллюстрируют функциональные особенности исследуемой энергосети и служат основой для принятия научно-обоснованных решений по внедрению активно-адаптивных электрических устройств для управления режимами энергопотребления.

**Ключевые слова:** график нагрузки, имитационное моделирование, SimInTech, система электроснабжения, динамическая мощность, почасовая дискретизация.

## DYNAMIC POWER MODELLING FOR AN ELECTRICAL POWER SUPPLY SYSTEM SECTION

Evgenii Zhilin, Daniil Levin

University of Science and Technology MISIS, Moscow

### Abstract

The work is dedicated to the simulation modeling for a power supply system section of an industrial enterprise with a dynamically changing load at the power consumption nodes. The simulation model of the power supply system fragment includes four 10/0.4 kV transformer substations, three distribution points, and seven 10 kV cable lines. For the modeling, the SimInTech software suite is applied, which provides the capability to construct mathematical models based on high-order polynomials. The polynomial regressions used in the study were preliminarily verified by determining the coefficients of determination with actual statistical data on the enterprise's power consumption for a specific day with hourly resolution. The conducted research made it possible to display the nature of the temporal variations of the active and reactive components of power and voltage in the power supply system section, establish the localization of areas with the maximum voltage drop, and identify the nodes with the maximum electrical equipment load. The constructed graphs of dynamic active and reactive power and voltage illustrate the functional features of the studied power grid and serve as a basis for making scientifically grounded decisions on the implementation of active-adaptive electrical devices for managing power consumption modes.

**Keywords:** load graph, simulation modeling, SimInTech, power supply system, dynamic power, hourly sampling.



## Введение

Основным вопросом при исследовании нагрузочных профилей предприятий является моделирование графика изменения мощности с почасовой дискретизацией [0, 0]. Анализ графиков электрических нагрузок [0] позволяет оценить рациональность электропотребления объекта [0], выявить потенциал для повышения его эффективности работы и экономической целесообразности [0]. Проведенный анализ является первым и основным этапом при внедрении элементов активно-адаптивных сетей [0], позволяющих повысить показатели качества электроэнергии [0], снизить потери, повысить экономические характеристики [0].

Целью работы является имитационное моделирование системы электроснабжения участка промышленного предприятия с динамически изменяющейся нагрузкой в узлах энергопотребления. Необходимым является выбор способа задания динамики изменения суточной мощности с почасовой дискретизацией объекта. Предполагается получение графиков изменения активной и реактивной мощности как на каждом узле энергопотребления, так и суммарных.

## Материалы и методы

Объектом исследования является фрагмент системы электроснабжения крупного предприятия тяжелого машиностроения расположенного в черте мегаполиса. Электроснабжение осуществляется по II категории надежности. Имитационная модель фрагмента системы электроснабжения включает четыре трансформаторные подстанции (ТП), три распределительные пункта (РП) и семь кабельных линий напряжением 10 кВ (табл. 1). Все электроустановки имеют два ввода и два масляных трансформатора (тр-р) напряжением 10/0,4 кВ, КЛ имеют бумажно-масляную изоляцию. График работы предприятий в большинстве случаев является пятидневным, для моделирования взят рабочий день в неделю с наибольшей загруженностью.

Таблица 1

### Характеристики электроустановок

Электроустановка	Количество и марка КЛ	Длина КЛ, км	Количество и марка трансформаторов
РП1 (фидерная)	2АСБ 3x240	5	-
РП2	2СБ 3x120	2,2	-
РП3	2АСБ 3x95	1,3	-
ТП1	2СБ 3x95	1,4	2ТМЗ 2500
ТП2	2АСБ 3x35	1,1	2ТМЗ 630
ТП3	2АСБ 3x70	1,5	2ТМЗ 1600
ТП4	2АСБ 3x50	1	2ТМЗ 1000

В качестве среды имитационного моделирования выбран *SimInTech* являющийся отечественным программным обеспечением и обладающий необходимым функционалом для моделирования систем электроснабжения [0]. Методика моделирования суточных профилей мощностей с почасовой дискретизацией заключается в установлении полиномиальной регрессионных функций высокого порядка на основе суточных данных за определенную дату [0]. Модель системы электроснабжения была упрощена с помощью объединения кабелей и трансформаторов, путем снижения продольных и увеличения поперечных потерь в 2 раза (рис. 1).



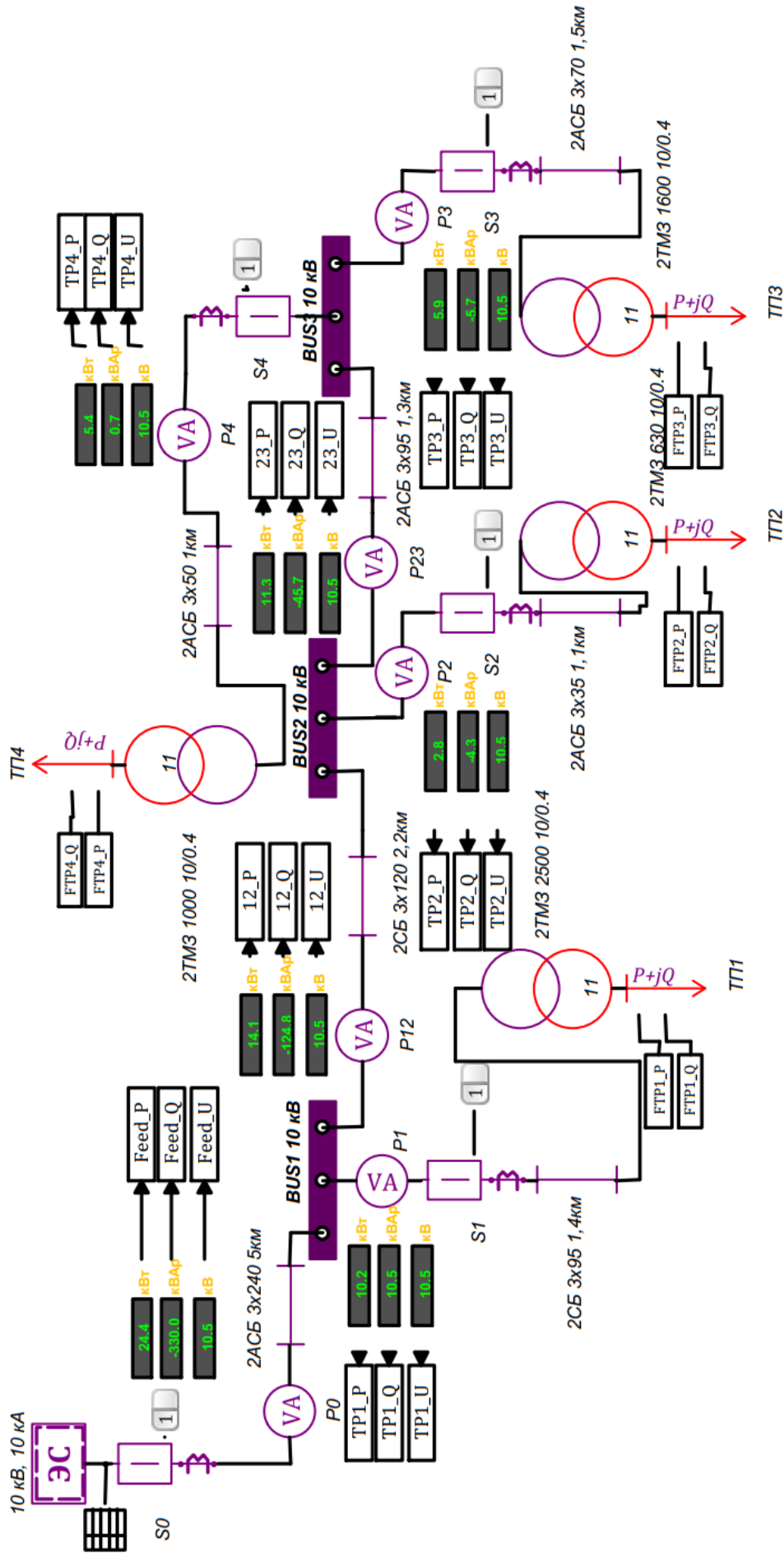


Рис. 1. Модель фрагмента системы электроснабжения



Для улучшения читаемости блоки снятия графиков и функции задачи мощности вынесены в отдельные файлы и подключены через систему сигналов к имитационной модели. Полиномы (рис. 2) определены и заданы по готовому алгоритму представленному в [0], РП имеют наименование BUS. Принят масштаб: 1 с имитационного моделирования равна 1 ч. Используемый пакет блоков сглаживает переходные процессы в связи с чем на полученных в дальнейшем графиках они отсутствуют. Нагрузка на шинах 0,4 кВ задается активно-реактивной мощностью, на которую поступает сигнал, задаваемый полиномом. На каждой ТП заданы разные графики потребления мощности в соответствии реальным данным.

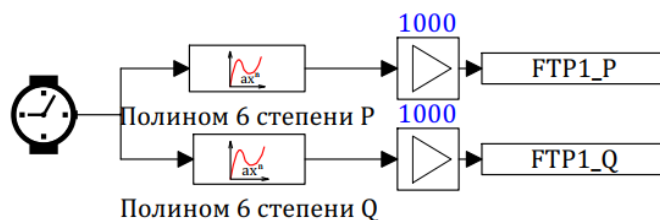


Рис. 2. Модель задания функций мощностей

Все полиномиальные функции имеют 6 степень, достаточную, в связи с высоким коэффициентом детерминации (0,82-0,95). Такая сходимость позволяет достаточно точно оценить динамику изменения мощностей без серьезных потерь на пиках и искажений общей картины.

## Результаты

По результатам моделирования были получены совмещенные графики изменения мощностей и падений напряжений на фидерной и промежуточных РП по стороне 10 кВ с учётом потерь в КЛ (рис. 3, 4). Также были сняты совмещенные графики активных и реактивных мощностей (рис. 5) на конечных ТП.

Из графиков характеристик РП можно сделать вывод, что наибольшая нагрузка приходится на 11:00-13:00. Суммарная мощность участка электроснабжения (по фидерной РП1) в пике достигает 3750 кВт активной и 2700 кВАр реактивной. Минимальное напряжение наблюдается на наиболее отдаленной РП3 и составляет 10,12 кВ, что, однако обеспечивает необходимое в соответствии с ГОСТ значение напряжения.

Из графиков ТП можно сделать вывод, что наиболее нагруженной является ТП1, что и обуславливает наличие трансформаторов мощностью 2500 кВА. Также можно отметить, что реактивная составляющая мощность на ТП2 довольно велика и сравнивается с активной составляющей в 15.00. На ТП3 и ТП4 можно говорить о серьезной недогрузке трансформаторов. Также отметим, что КЛ имеют потенциал увеличению передаваемой по ним мощности.

## Заключение

Результаты имитационного моделирования фрагмента системы электроснабжения показали эффективность использования полиномиальных функций для задания динамически изменяющейся мощности в узлах потребления нагрузки. Использование такого метода задания нагрузки позволяет исследовать не только режимы работы в разные промежутки времени, но и эффективность внедрения компенсирующих устройств в часы максимума и минимума нагрузки, также исследовать системы управления отбора мощности накопителей электроэнергии и других технических устройств, что и является планом дальнейшей работы. Полученные результаты также позволяют существенно повысить экономичность энергопотребления и улучшить экономическую составляющую производственного процесса.



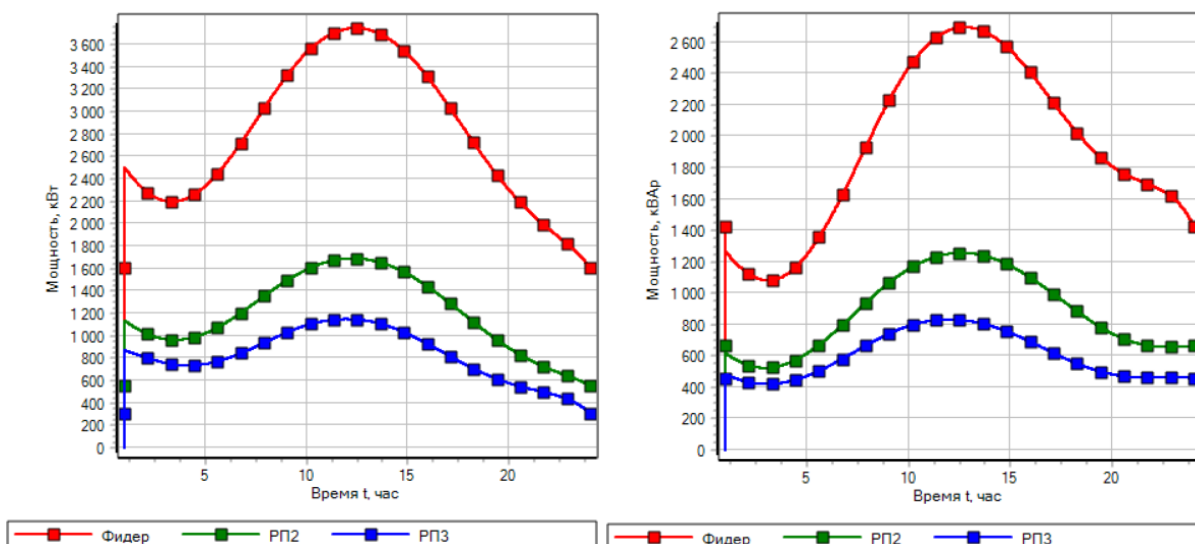


Рис. 3. Графики активной (слева) и реактивной (справа) мощностей на РП

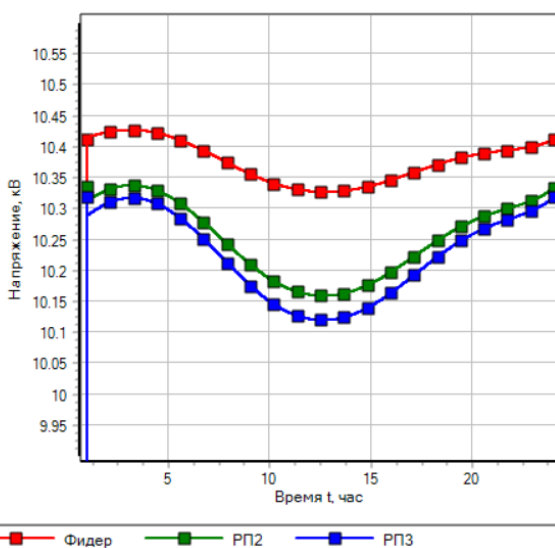


Рис. 4. График падений напряжений на РП

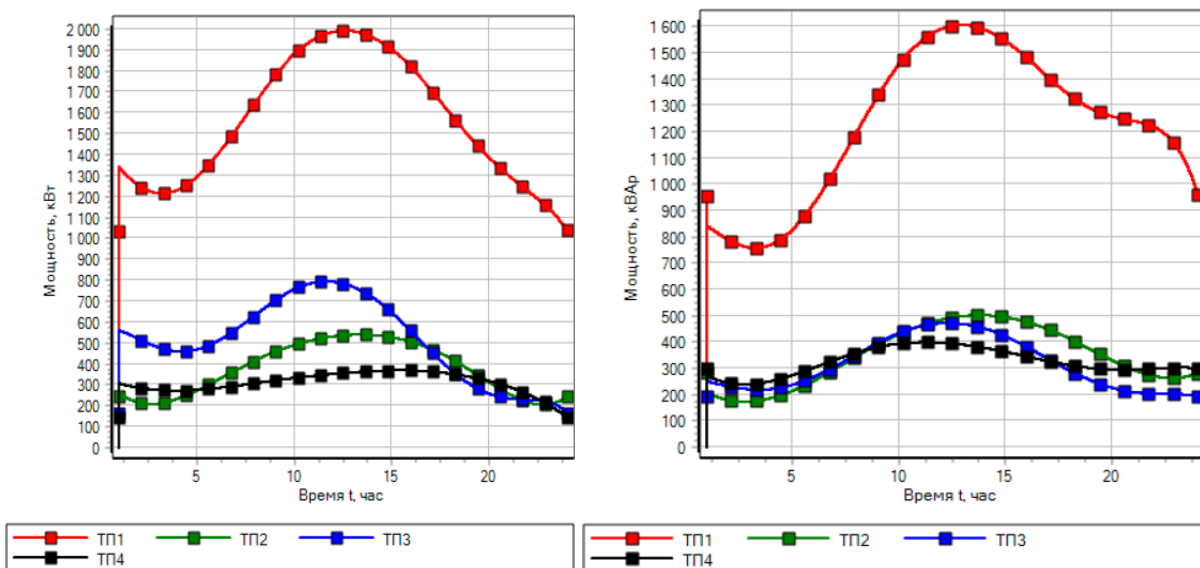


Рис. 3. Графики активной (слева) и реактивной (справа) мощностей на ТП



**Библиографический список**

1. Суммирование электрических нагрузок жилых и общественных зданий жилого комплекса / **А.И. Федотов, А.Р. Ахметшин, Е.А. Федотов, В.Н. Кулаков** // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2025. – Т. 27, № 2. – С. 76-89. EDN: [QZYIBT](#). DOI: [10.30724/1998-9903-2025-27-2-76-89](#).
2. **Сомова Е.В.** Расширение регулировочного диапазона энергоблоков: проблемы и их решение // Теплоэнергетика. – 2024. – № 4. – С. 40-51. EDN: [UAYIDA](#) ([XYPSIZ](#)). DOI: [10.56304/S004036362403010X](#).
3. **Соловьева А.С., Шведов Г.В.** Сравнительный анализ зимних и летних графиков электрической нагрузки рабочих и выходных дней многоквартирных домов с электроплитами в системах электроснабжения крупных городов / А. С. Соловьева, // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2023. – Т. 23, № 1. – С. 27-37. EDN: [WNEGUM](#). DOI: [10.14529/power230103](#).
4. Моделирование процессов потребления и распределения электроэнергии в электротехническом комплексе нефтедобывающего предприятия / **А.С. Семенов, А.Б. Петроченков, В.И. Южаков, С.Д. Иванов** // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2024. – № 50. – С. 82–103. EDN: [TBVHXG](#). DOI: [10.15593/2224-9397/2024.2.05](#).
5. **Дзюба А.П.** Оценка эффективности управления спросом на электроэнергию по критерию характеристик суточных графиков нагрузок // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Экономика и управление. – 2020. – № 1(45). – С. 56-71. EDN: [EEFOUZ](#). DOI: [10.25686/2306-2800.2020.1.56](#).
6. **Жилин Е.В., Малышева А.Д., Белоусов И.А.** Разработка имитационной модели участка сети 10 кВ с управляемым накопителем электроэнергии // Вестник Чувашского университета. – 2024. – № 2. – С. 28-39. EDN: [HAZTBI](#). DOI: [10.47026/1810-1909-2024-2-28-39](#).
7. Анализ несинусоидальных режимов в системах электроснабжения горных предприятий с нелинейной нагрузкой и конденсаторными установками / **Ю.А. Сычев, В.Н. Костин, В.А. Сериков, М.Е. Аладьин** // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2023. – № 1. – С. 159-179. EDN: [PFSQSY](#). DOI: [10.25018/0236\\_1493\\_2023\\_1\\_0\\_159](#).
8. **Михеева Н.Б., Бастрон А.В., Засимов И.И.** Обоснование применения дифференцированного социального тарифа на электрическую энергию при реализации проекта электроснабжения от автономной гибридной энергетической установки // Социально-экономический и гуманитарный журнал. – 2024. – № 2. – С. 29–40. EDN: [FKOUJC](#). DOI: [10.36718/2500-1825-2024-2-29-40](#).
9. **Блинников М.Е., Пантелеев В.И.** Имитационная модель синхронной машины с маховичным накопителем энергии в среде SIMINTECH // Энергетические системы. – 2024. – № 3. – С. 33-44. EDN: [OAAKJM](#). DOI: [10.34031/ES.2024.3.003](#).
10. **Жилин Е.В., Лёвин Д.Д.** Моделирование суточной потребляемой нагрузки систем электроснабжения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2025. – № 53. – С. 177–192. EDN: [QFUKPF](#). DOI: [10.15593/2224-9397/2025.1.09](#).

**References**

1. Fedotov, A. I., Akhmetshin, A. R., Fedotov, E. A., & Kulakov, V. N. (2025). Summation of electrical loads of residential and public buildings of a residential complex. *Power engineering: research, equipment, technology*, 27 (2), 76-89. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2025-27-2-76-89> [In Russian].
2. Somova, E. V. (2024). Extension of the control range of power units: problems and their solution. *Thermal engineering*, 71(4), 319-329. <https://doi.org/10.1134/S0040601524030108>



3. Solovyova, A. S., & Shvedov, G. V. (2023). A comparative analysis of the electric load on weekdays and weekends of multi-apartment buildings with electric stoves in the power supply systems of large cities. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Power Engineering*, 23(1), 27–37. <https://doi.org/10.14529/power230103> [In Russian].
4. Semenov, A. S., Petrochenkov, A. B., Iuzhakov, V. I., & Ivanov, S. D. (2024). Modeling of power consumption and distribution processes in the electrical engineering complex of an oil production enterprise. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia*, 50, 82–103. <https://doi.org/10.15593/2224-9397/2024.2.05> [In Russian].
5. Dziuba, A. P. (2020). Assessment of managerial efficiency of energy demand based on daily load curve criterion. *Vestnik of Volga State University of Technology. series: Economy and management*, 1(45), 56–71. <https://doi.org/10.25686/2306-2800.2020.1.56> [In Russian].
6. Zhilin, E. V., Malysheva, A. D., & Belousov, I. A. (2024). The simulation model design for the section of 10 kv network with controllable energy storage device. *Vestnik Chuvashskogo universiteta*, 2, 28–39. <https://doi.org/10.47026/1810-1909-2024-2-28-39> [In Russian].
7. Sychev, Yu. A., Kostin, V. N., Serikov, V. A., & Aladin, M. E. (2023). Nonsinusoidal modes in power-supply systems with nonlinear loads and capacitors in mining. *Mining informational and analytical bulletin (Scientific and technical journal)*, 1, 159–179. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2023\\_1\\_0\\_159](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_1_0_159) [In Russian].
8. Mikheeva N.B., Bastron A.V., Zasimov I.I. (2024). Substantiation of electricity differentiated social tariff application in the implementation of a power supply project from an autonomous hybrid power plant. *Socio-economic and humanitarian journal*, 2, 29–40. <https://doi.org/10.36718/2500-1825-2024-2-29-40> [In Russian].
9. Blinnikov, M. E., & Panteleev, V. I. (2024). Simulation model of a synchronous machine with a fly-wheel energy storage in the SIMINTECH environment. *Energy systems*, 3, 33–44. <https://doi.org/10.34031/ES.2024.3.003> [In Russian].
10. Zhilin, E.V., Levin, D.D. (2025). Modeling of daily consumed load in power supply systems. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia*, 53, 177–192. <https://doi.org/10.15593/2224-9397/2025.1.09> [In Russian].

### Сведения об авторах

**Жилин Евгений Витальевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры Энергетики и энергоэффективности горной промышленности Горного института Университета науки и технологий МИСИС, e-mail: [zhilin.ev@misis.ru](mailto:zhilin.ev@misis.ru). SPIN-код: [4554-3050](https://orcid.org/0000-0002-2076-6463). ORCID: [0000-0002-2076-6463](https://orcid.org/0000-0002-2076-6463).

**Лёвин Даниил Дмитриевич** – аспирант кафедры Энергетики и энергоэффективности горной промышленности Горного института Университета науки и технологий МИСИС, e-mail: [m1805181@edu.misis.ru](mailto:m1805181@edu.misis.ru). SPIN-код: [3387-1981](https://orcid.org/0009-0004-0580-8604). ORCID: [0009-0004-0580-8604](https://orcid.org/0009-0004-0580-8604).

### Authors about

**Evgenii V. Zhilin** – Cand. of Tech. Sciences (PhD), Associate Professor at the Department of Energy and Energy Efficiency of the Mining Industry of the University of Science and Technology MISIS, e-mail: [zhilin.ev@misis.ru](mailto:zhilin.ev@misis.ru). ORCID: [0000-0002-2076-6463](https://orcid.org/0000-0002-2076-6463).

**Daniil D. Levin** – postgraduate Student at the Department of Energy and Energy Efficiency of the Mining Industry of the University of Science and Technology MISIS, e-mail: [m1805181@edu.misis.ru](mailto:m1805181@edu.misis.ru). ORCID: [0009-0004-0580-8604](https://orcid.org/0009-0004-0580-8604).

### Ссылки для цитирования

Жилин Е.В., Лёвин Д.Д. Моделирование динамической мощности участка системы электроснабжения // Энергетические системы. 2025. – № 1. – С. 35–41.

Zhilin, E. V., & Levin, D. D. (2025). Dynamic power modelling for an electrical power supply system section. *Energy Systems*, 1, 35–41. <https://doi.org/10.34031/es.2025.1.05>

