

УДК 621.86

**Е.М. Гордиевский, А.А. Мирошниченко,
А.З. Кулганатов, Е.В. Соломин**

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ МОБИЛЬНОГО ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА НА БАЗЕ ВИЭ В ПРОГРАММЕ MATLAB

Рассматривается проблема качественного и бесперебойного энергоснабжения децентрализованных зон Российской Федерации. На сегодняшний день эта проблема является одной из самых важных и приоритетных задач отечественной энергетики. Авторами данной статьи рассмотрен вопрос обеспечения электроэнергией таких потребителей с помощью мобильного масштабируемого энергокомплекса на базе возобновляемых источников питания. Данное решение является наиболее целесообразным. «Отдельная перспективная задача – это развитие возобновляемых источников энергии, особенно в отдалённых, труднодоступных районах нашей страны, таких как Восточная Сибирь, Дальний Восток. Для нашей обширной, самой большой в мире по территории страны с её разнообразными природными, климатическими условиями здесь открывается действительно огромная возможность», отметил В.В. Путин на международном форуме «Российская энергетическая неделя», который состоялся 3 октября 2018 г. в Москве. Основное содержание статьи направлено на создание и анализ модели мобильного энергокомплекса в программной среде MatLab. Модель энергокомплекса будет состоять из нескольких элементов: ветрогенератора, фотоэлектрических панелей, дизельной электростанции и аккумуляторных батарей, которые будут созданы при помощи блок-диаграмм. Для анализа модели были введены произвольные начальные данные: метеорологические параметры; число и емкость аккумуляторных батарей; площадь солнечных модулей; график нагрузок; мощность ветрогенератора. Теоретическим местом испытания модели был принят г. Рощино Приморского края. Результатом испытаний являются графики, снятые с осциллографов. Исследовав данные графики, можно сделать заключение, что модель построена верно. Практической значимостью разработки данной модели является не только ускорение процесса создания реальной модели мобильного энергокомплекса, но и появление возможности для разработчиков подобрать наиболее оптимальные параметры источников питания.

Ключевые слова: мобильный энергокомплекс, MatLab, ВИЭ, децентрализованное электроснабжение.

**E.M. Gordievsky, A.A. Miroshnichenko,
A.Z. Kulganatov, E.V. Solomin**

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

DEVELOPMENT OF AN IMITATION MODEL OF A MOBILE ENERGY COMPLEX ON THE BASIS OF RES IN MATLAB PROGRAM

In article the problem of high-quality and uninterrupted power supply of the decentralized zones of the Russian Federation rises. Today, this problem is one of the most important and priority problems of domestic power. Authors of this article considered a question of electricity supply of such consumers by means of a mobile scalable energokompleksan on the basis of renewable power sources. Given solutions is the most reasonable, "The separate perspective task is a development of renewable energy resources, especially in the remote, hardly accessible regions of our country, such as Eastern Siberia, the Far East. For our extensive, the biggest in the world on the territory of the country with its various natural, climatic conditions really huge opportunity opens here" – V.V. Putin at the International forum "Russian Power Week" which took place on October 3, 2018 in Moscow noted. The main contents of article are directed to creation and the analysis of model of a mobile power complex in software environment of MatLab. The model of a power complex will consist of several elements: the wind generator, photo-electric panels, diesel power station and rechargeable batteries which will be created by means of block maps. For the analysis of model random initial data were entered: meteorological parameters; number and capacity of rechargeable batteries; area of solar modules; diagram of loadings; wind generator power. The theoretical place of testing of model it was accepted by Roshchino of Primorsky Krai. The diagrams removed from oscillographs are result of tests. Having investigated, these diagrams can be made the conclusion that the model is constructed truly. The practical importance of creation of this model is not only acceleration of process of creation of real model of a mobile energokompleks, but also will help developers to pick up the most optimum parameters of power sources.

Keywords: mobile power complex, MatLab, RES, the Decentralized power supply.

Введение. Постоянный рост энергопотребления, увеличение стоимости электроэнергии, ограниченность запасов органического топлива и негативное влияние на экологию работающих на органическом топливе электростанций, – все это приводит к постановке вопроса о необходимости перехода на возобновляемые источники энергии. Особенно актуально решение данного вопроса для России, энергетическая система которой имеет высокую степень централизации. Почти 85 % от суммарного объема электроэнергии генерируются крупными электростанциями, после чего электроэнергия поступает в общую разветвленную электрическую сеть. Такой уровень централизации энергосистемы характерен для густонаселенных районов европейской части страны и некоторых областей Сибири, а малонаселенные территории Сибири и целый ряд регионов Дальнего Востока (в совокупности образующие значительную часть территории РФ) характеризуются низким уровнем подключения к централизованным энергосистемам. При этом прокла-

дывать высоковольтные ЛЭП для электроснабжения отдаленных и малонаселенных сёл, городов и производств не представляется возможным с экономической и технической точек зрения. Одним из возможных решений данной проблемы является использование дизельных или бензиновых генераторов, которые обладают рядом преимуществ и позволяют добиться поставленных целей по бесперебойному электроснабжению отдаленных потребителей. Однако при рассмотрении вопроса обеспечения электроэнергией потребителей, имеющих первую (или первую особую) категорию по надежности электроснабжения, нельзя ограничиваться только одним источником энергии. При выходе из строя дизель-генератора могут возникнуть существенный финансовый ущерб, опасность для жизни людей и угроза безопасности страны. Затрагивая экологическую сторону вопроса электроснабжения удаленных потребителей, отметим, что использование дизель-генераторов создает условия для ухудшения окружающей среды (выхлопные газы, громкий шум, риск разлива топлива и нефтепродуктов), поэтому при решении данной задачи необходимо свести использование дизель-генераторов к минимуму [1].

Также отрицательным моментом использования дизельных электростанций являются большие затраты на транспортировку топлива и значительные потери электроэнергии при её передаче на большие расстояния. Эти и другие особенности энергосистемы Дальнего Востока стали причиной серьёзного дефицита электроэнергии в некоторых районах, в то время как другие районы являются энергоизбыточными. Негативным последствием такой проблемы стало упразднение более 11 тыс. поселений в России за последние 10 лет [2]. При этом из-за такой обособленности территорий осуществление перетоков электроэнергии становится практически невозможным. Энергосистема данного региона просто не в состоянии охватить обширные и многочисленные районы, с учетом всеобщего старения и износа действующих электросетей. Такое состояние энергетической инфраструктуры приводит к огромным потерям при передаче даже на небольшие промежутки пути [3]. Зоны автономного и централизованного энергоснабжения Дальнего Востока наглядно показаны на рис. 1.

В целом область децентрализованного энергоснабжения Дальнего Востока включает в себя 987 тыс. человек и 360 поселений. При этом суммарная установленная мощность дизельных электростанций

составляет 670 МВт. Реальный кризис энергоснабжения Дальневосточного федерального округа привел к постановке вопроса о необходимости использования возобновляемых источников энергии [4]. Но чтобы иметь достаточное представление об эффективности ВИЭ в данном регионе, рассмотрим сводные данные о потенциале Дальневосточного региона в сфере возобновляемой энергетики (таблица).

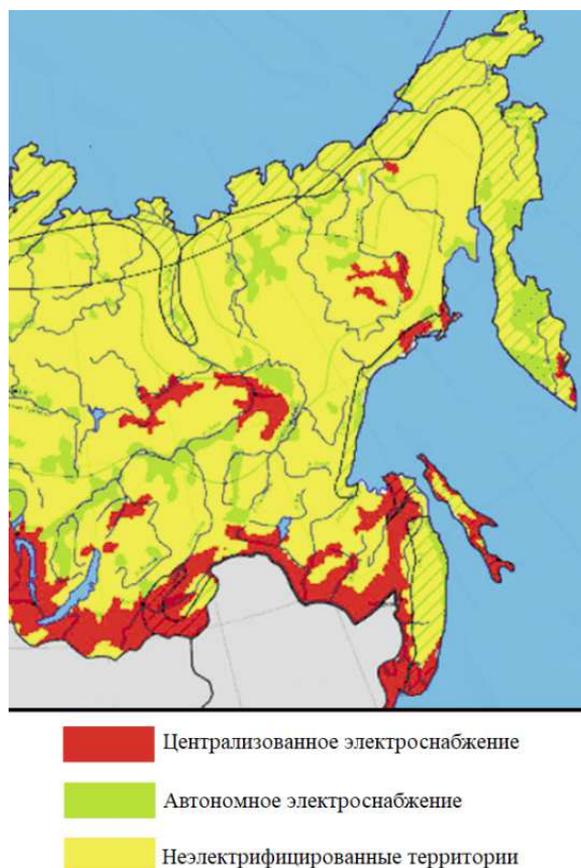


Рис. 1. Карта энергообеспеченности Дальнего Востока

Оценка потенциала ветро-солнечной энергетики Дальнего Востока

Вид ВИЭ	Тип ресурса		
	Валовый ресурс, млн т у. т./год	Технический ресурс, млн т у. т./год	Экономический ресурс, млн т у. т./год
Солнечная энергия	813 200	3224,4	0,132
Энергия ветра	335 839	839,6	4,2
Всего, млн т у. т./год	1 149 039	4064	4,332

Приморский край (самая южная часть Дальнего Востока) – самый солнечный регион России, по данным NASA, уровень солнечной иррадиации в данном районе составляет около 1,6 тыс. кВт·ч на м² в год или 4,4 кВт·ч на м² в день, что является весьма неплохим показателем [5].

В большей части изолированных поселений Якутии уровень солнечной активности варьируется от 750 до 1,1 тыс. кВт·ч на м² в год. Для сравнения в Германии (мировом лидере по использованию солнечных электростанций) уровень солнечной иррадиации в течение года колеблется в районе 0,9–1,2 тыс. кВт·ч на м² в год [6]. Сравнение показателей демонстрирует выгодное расположение Дальневосточного федерального округа с точки зрения общей инсоляции. Карта инсоляции России представлена на рис. 2.

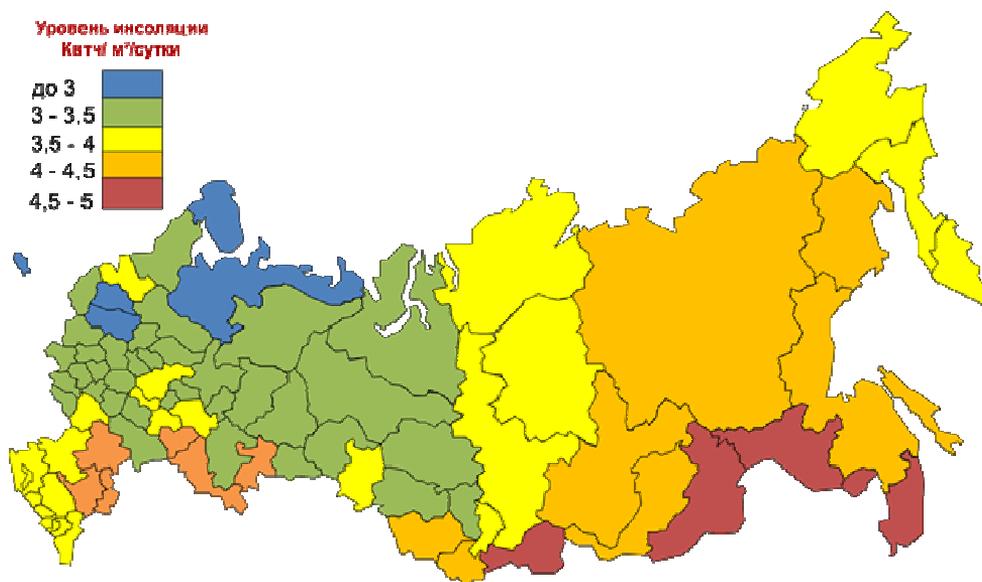


Рис. 2. Карта инсоляции России

Анализируя данный регион с точки зрения ветроэнергетики, можем заметить, что в прибрежных районах Дальнего Востока среднегодовая скорость ветра достигает 6–7 м/с. Для сравнения, в Дании (мировой лидер по использованию ветроустановок) этот показатель достигает чуть больше 5 м/с, что также свидетельствует о достаточном ветроэнергетическом потенциале региона [7]. Карта ветроэнергетического потенциала России представлена на рис. 3.

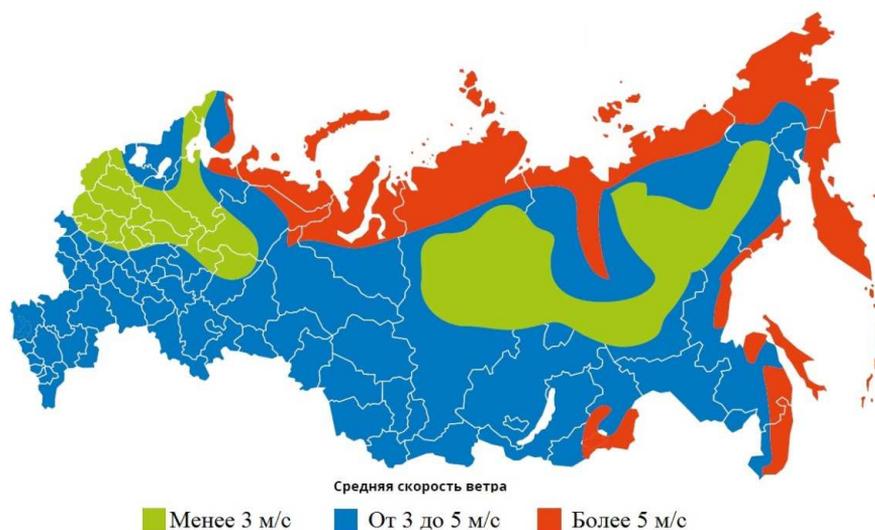


Рис. 3. Карта ветроэнергетического потенциала России

Делаем вывод, что ресурсов солнца и ветра в Дальневосточном федеральном округе достаточно для электроснабжения децентрализованных потребителей. Учитывая большую сложность прокладки линий электропередач в данном регионе и стремление свести к минимуму использование дизельных генераторов, встает вопрос обеспечения электрической энергией отдаленных потребителей с использованием возобновляемых источников энергии [8]. Этим вопросом занялись ученые Южно-Уральского государственного университета, начав разработку мобильного энергокомплекса на основе ВИЭ. Все элементы мобильной электростанции располагаются в транспортном контейнере на прицепе, буксируемом автомобилем, или в кузове-фургоне военного мобильного комплекса. Перед создателями данного комплекса помимо обеспечения компактности основных компонентов электростанции (ветроэнергетической установки, солнечных панелей и дизельной электростанции) в качестве резервного источника питания встает задача моделирования всего энергокомплекса в пакете MatLab.

Создание модели. Моделирование – один из важнейших этапов конструирования мобильного энергокомплекса для децентрализованного электроснабжения, в процессе которого необходимо рассмотреть множество факторов и параметров, перед тем как определиться с устройством независимой системы электроснабжения, включающей компоненты генерации и накопления энергии [9]. Наиболее важные для

проектирования моменты – это тип используемых возобновляемых источников энергии, объемы энергии, которые они смогут сгенерировать, природно-климатические, топографические и географические параметры местности, вид нагрузок и специфика потребности в электроэнергии [10]. Структурная схема предлагаемого мобильного энергокомплекса представлена на рис. 4.

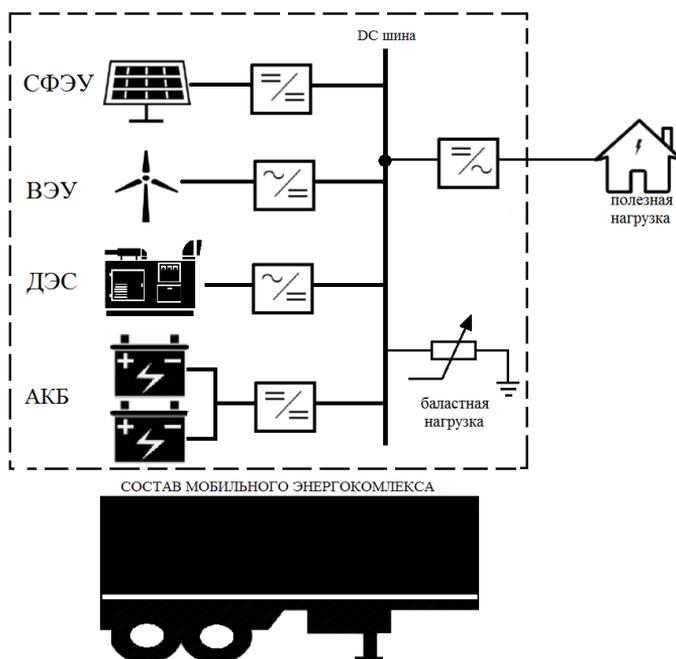


Рис. 4. Схема гибридного энергокомплекса на основе ВИЭ и ДЭС

Энергокомплекс состоит из следующих компонентов: солнечной фотоэлектрической установки (СФЭУ), ветровой энергоустановки (ВЭУ), дизельной электростанции (ДЭС) и накопителей энергии (аккумуляторных батарей), которые соединены с шиной постоянного тока для согласования режимов работы компонентов энергокомплекса между собой и подключены к полезной и балластной нагрузке. Комплекс должен обеспечить потребителя непрерывной подачей электроэнергии, при этом он должен по максимуму использовать потенциал возобновляемых источников энергии, а в том случае, если их будет недостаточно, начать энергоснабжение потребителя от дизель-генератора. В случае кратковременной нехватки электроэнергии необходимо использовать установленный накопитель энергии (блок аккумуляторных батарей), переключаемых между собой (один включен на заряд, а второй – на разряд) [11].

Возможна ситуация, когда нагрузка потребителя будет небольшой, а накопитель энергии полностью заряжен, дизель-генератор выключен, а возобновляемые источники генерируют энергии больше, чем необходимо, тогда необходимо применить балластную нагрузку для потребления избытка электроэнергии. В любой другой ситуации балластная нагрузка должна быть отключена.

Платформой для моделирования будет служить пакет MatLab/Simulink – это графическая среда имитационного моделирования, позволяющая при помощи блок-диаграмм строить динамические модели. Разработку модели начнем с постановки задачи: требуется построить максимально приближенную к действительности модель гибридного масштабируемого энергокомплекса на основе возобновляемых источников энергии [12]. На данный момент построить модель, полностью соответствующую действительности, не представляется возможным из-за отсутствия конкретных данных о компонентах комплекса. Модель гибридного энергокомплекса представлена на рис. 5.

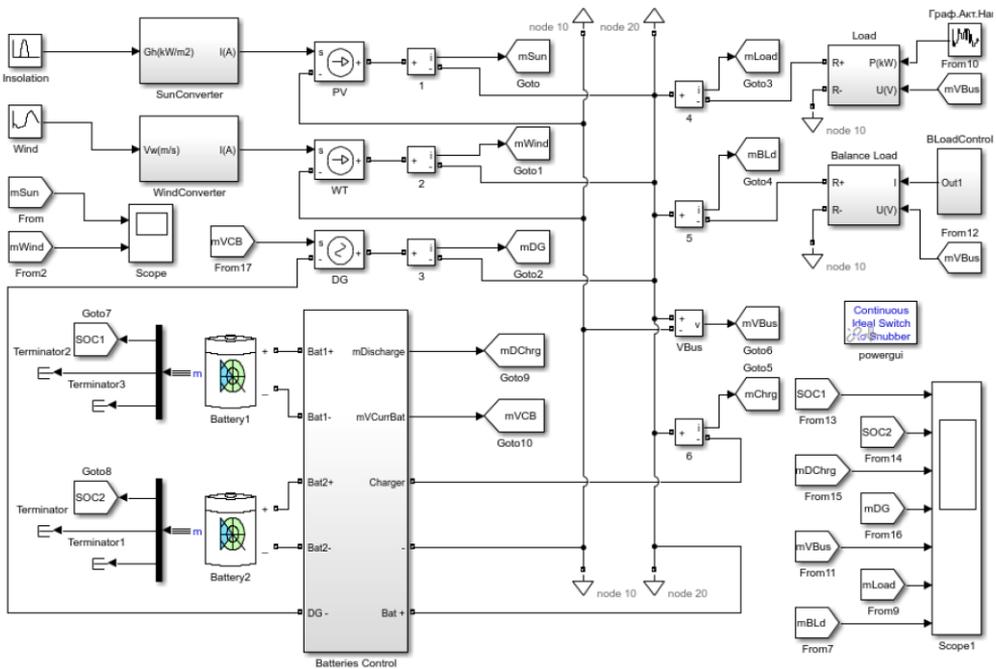


Рис. 5. Модель масштабируемого гибридного энергокомплекса в MatLab

Краткое описание: шина постоянного тока представлена в виде отрицательного (node 10) и положительного (node 20) потенциалов, расположенных в середине модели. В левой части модели расположе-

ны источники возобновляемой энергии (солнечная фотоэлектрическая установка, ветровая энергоустановка) и дизель-генератор, подключенные к шине постоянного тока, в правой части модели размещены полезная и балластная нагрузки [13].

Анализ модели. В роли блоков возобновляемых источников энергии будем использовать управляемые источники тока, а в качестве генератора – источник напряжения [14]. Управление данными элементами можно описать следующими зависимостями:

$$I_{S.P} = f(G_i, S, U_{DC}), \quad (1)$$

где $I_{S.P}$ – ток, получаемый от солнечных панелей; G_i – текущий поток солнечной радиации на поверхность солнечного модуля; S – суммарная площадь солнечных панелей; U_{DC} – напряжение шины постоянно тока.

$$I_{W.T} = f(V_w, P_{ном}, U_{DC}), \quad (2)$$

где $I_{W.T}$ – ток, получаемый от ветроустановки; V_w – текущая скорость ветра; $P_{ном}$ – номинальная мощность ветроустановки; U_{DC} – напряжение шины постоянно тока.

$$U_{DG} = f(U_{bat}), \quad (3)$$

где U_{DG} – напряжение дизель-генератора; U_{bat} – напряжение батареи в режиме заряда.

Превращение солнечной радиации в силу тока осуществляется согласно формулам:

$$P_S = \eta \cdot S \cdot G_i, \quad (4)$$

где P_S – мощность, вырабатываемая солнечными модулями; η – КПД солнечных модулей; S – суммарная площадь солнечных модулей.

$$I_S = \frac{P_S}{U_{DC}}, \quad (5)$$

где I_S – ток, вырабатываемый солнечными модулями; U_{DC} – напряжение шины постоянно тока.

Зависимость $I_{SUN} = f(G_h, S, U_{DC})$ данной модели представлена на рис. 6.

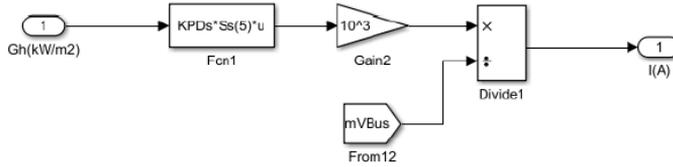


Рис. 6. Моделирование зависимости $I_{СУН} = f(G_h, S, U_{DC})$

Ветроустановка описывается следующим образом: одним из способов задания ветроустановки является задание зависимости генерируемой мощности ветроустановки от скорости ветра: $P_V = f(V_W)$. Основываясь на параметрах конкретного агрегата, можно описать данную зависимость согласно формулам:

$$\begin{aligned}
 P_V &= 0 & V_W < V_{\min} \\
 P_V &= a \cdot V_W^3 - b \cdot P_{\text{ном}V} & V_{\min} \leq V_W < V_{\text{ном}} \\
 P_V &= P_{\text{ном}V} & V_W \geq V_{\text{ном}} \\
 P_V &= 0 & V_W \geq V_{\max}
 \end{aligned}$$

$$a = \frac{P_{\text{ном}V}}{V_{\text{ном}}^3 - V_{\min}^3}, \quad b = \frac{V_{\min}^3}{V_{\text{ном}}^3 - V_{\min}^3},$$

где $P_{\text{ном}V}$ – номинальная мощность ветротрубины с учетом КПД; V_W – текущая скорость ветра; $V_{\min}, V_{\text{ном}}, V_{\max}$ – минимальная, номинальная и максимальная скорости ветра, определяющие режим работы ветротрубины, a, b – поправочные коэффициенты [15].

Зависимость $I_{W.P} = f(V_W, P_{\text{ном}}, U_{DC})$ данной модели представлена на рис. 7. Моделирование дизель-генератора осуществляется созданием источника напряжения бесконечной мощности, подразумевая, что реальный агрегат будет рассчитан на то, чтобы с запасом обеспечить потребности электропотребителей, а также покрыть расходы на собственные нужды [16]. Полезная нагрузка представлена в виде модели на рис. 8.

График нагрузки как элемент Simulink создается в Excel-документе, где строится реальный или произвольный график нагрузки (кВт). Создав в среде Simulink график нагрузки, нужно преобразовать его в график тока, который потребляется в течение суток, для чего необходимо ввести в схему переменный резистор. К сожалению, данный элемент отсутствует в библиотеке, поэтому построим подсистему полезной нагрузки самостоятельно (рис. 9).

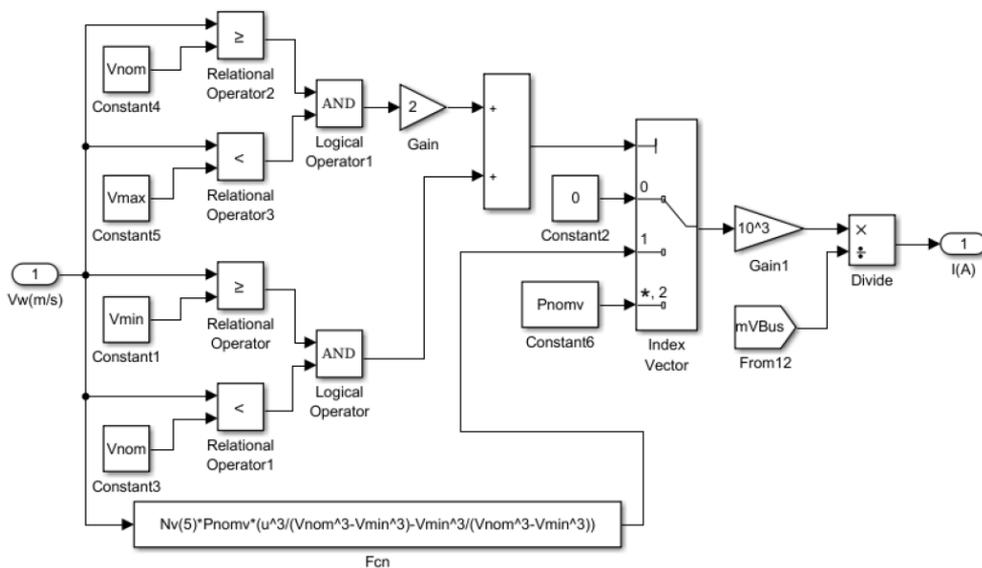


Рис. 7. Моделирование зависимости $I_{W,P} = f(V_W, P_{ном}, U_{DC})$

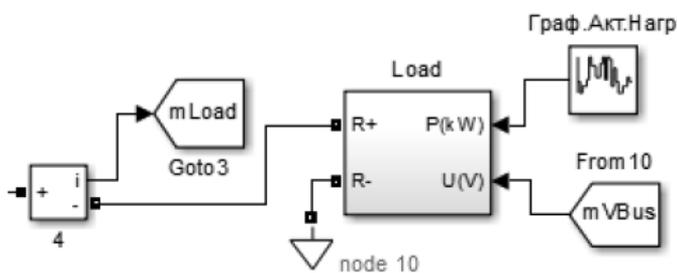


Рис. 8. Моделирование полезной нагрузки

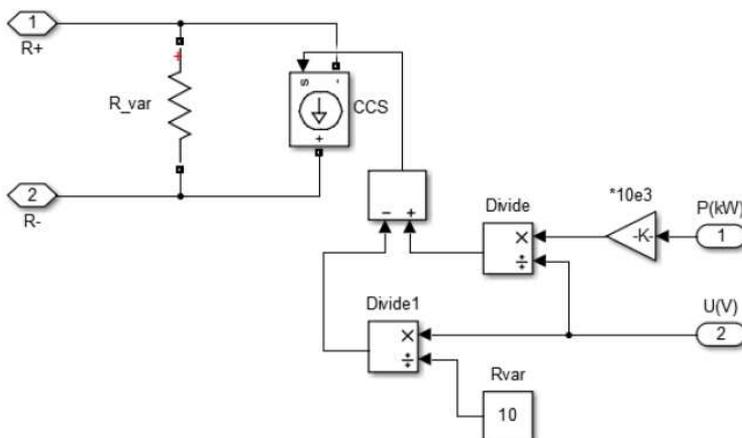


Рис. 9. Подсистема полезной нагрузки

Представленная выше схема является подсистемой Simulink, которая имеет две силовые клеммы и две управляющие. Основным элементом является резистор R_{var} с произвольно заданным сопротивлением 8 Ом [17]. Максимально возможный ток, протекающий через такой резистор (при $U = \text{const}$), равен $U/8$.

Балластная нагрузка представлена в виде модели на рис. 10.

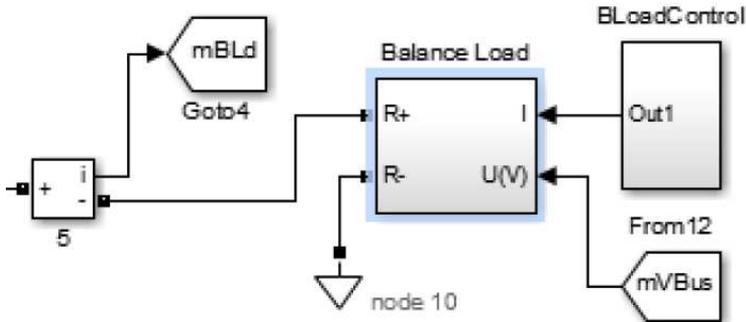


Рис. 10. Моделирование балластной нагрузки

Балластная нагрузка предназначена для компенсации избытка выработанной энергии возобновляемыми источниками. В действительности это переменный резистор, именно поэтому структура этого элемента будет похожа на схему полезной нагрузки, но с другим видом управления [18]. Подсистема балластной нагрузки представлена на рис. 11.

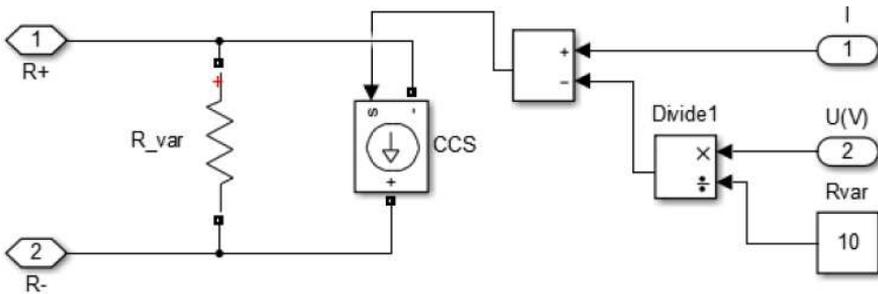


Рис. 11. Подсистема балластной нагрузки

Незаменимым компонентом схемы являются блок с батареями и система их управления. Нужно поддерживать неизменное напряжение на шине постоянного тока и не допускать чрезвычайного разряда батарей, так как это повлечет за собой глубокую просадку по напряжению, для чего и следует их вовремя переключать между собой [19]. Модель блока аккумуляторных батарей представлена на рис. 12.

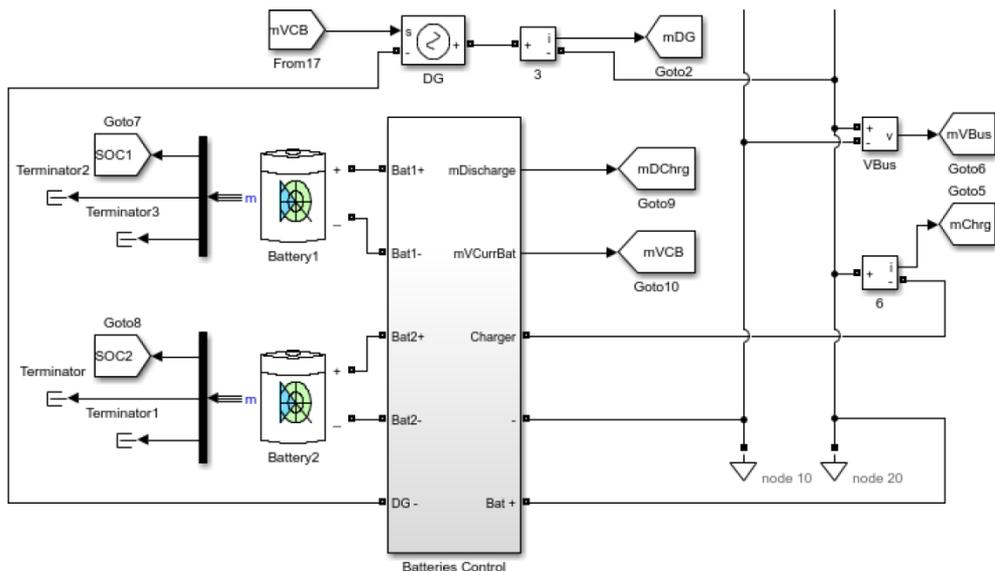


Рис. 12. Модель блока аккумуляторных батарей

Проведение эксперимента. Чтобы испытать данную модель, введем произвольные начальные данные: метеорологические параметры; число и емкость аккумуляторных батарей; площадь солнечных модулей; график нагрузок; мощность ветрогенератора.

Случайный график нагрузки за июнь для г. Рощино (Приморский край) представлен на рис. 13 [20].

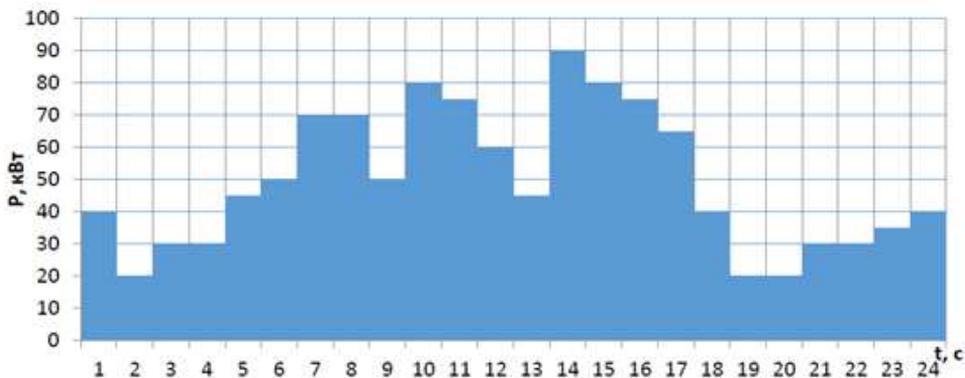


Рис. 13. Произвольный график нагрузки за июнь для г. Рощино

Итогом испытаний будут служить результаты графиков, снятых с осциллографов Score и Score 1 (рис. 14, 15, 16).

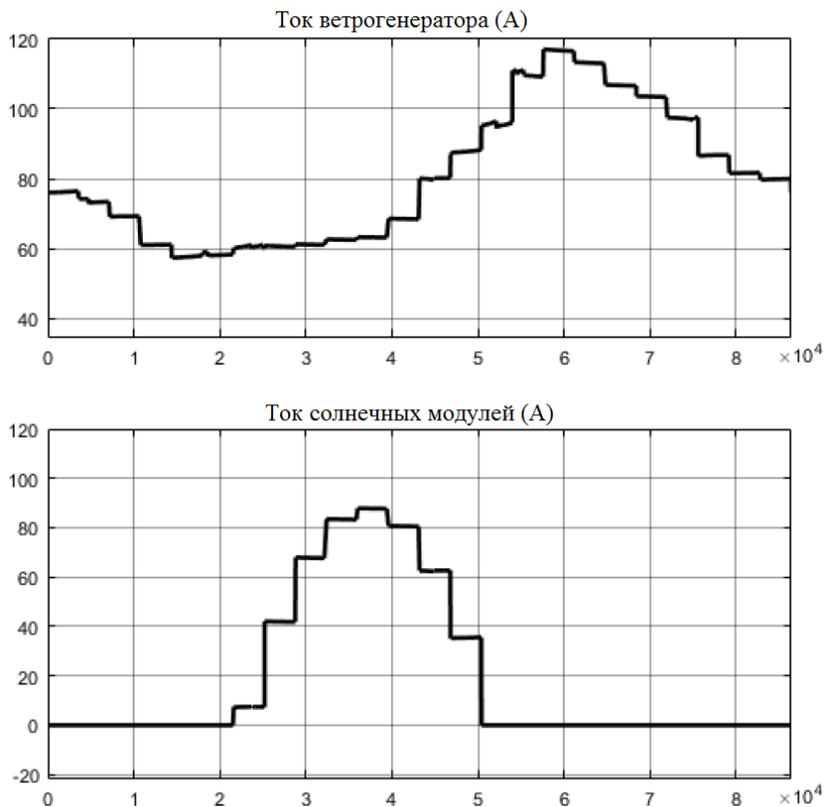


Рис. 14. Графики зависимости тока ветрогенератора и солнечных модулей от времени суток

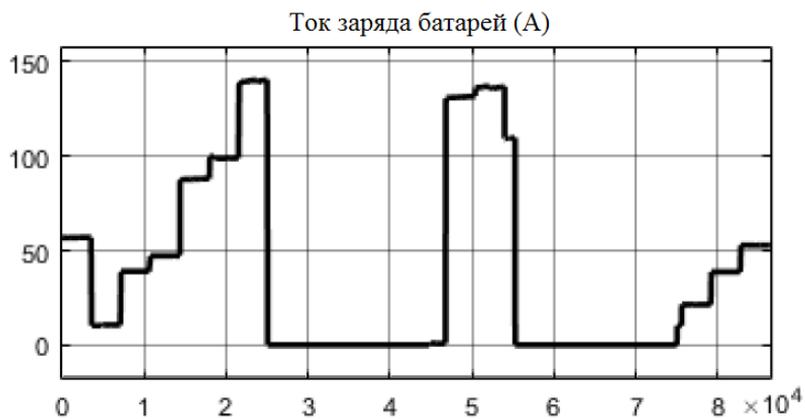


Рис. 15. График зависимости тока заряда батарей от времени суток

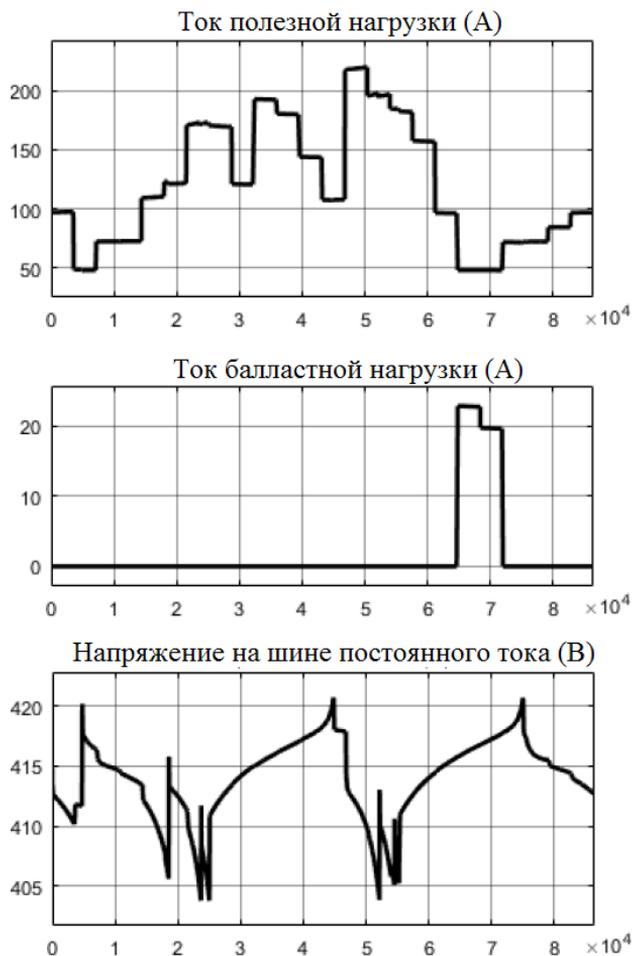


Рис. 16. Графики зависимости тока полезной и балластной нагрузок от времени суток и напряжения на ШПТ от времени суток

Выводы. Проанализировав графики, снятые с осциллографов, можем сделать заключение, что модель функционирует корректно. В моменты излишек сгенерированной энергии в схему включается балластная нагрузка. Напряжение на шине постоянного тока варьируется от 410–423 В, что также свидетельствует о правильности работы системы. Несмотря на то, что в процессе моделирования было принято допущение: моделирование осуществлялось только при постоянном токе, и при этом баланс мощности не был нарушен, данная условность позволила упростить модель, так как уже не было необходимости моделировать массивные преобразователи. Тем не менее, необходимо учитывать большое множество факторов, которые в целом могут

отразиться сказаться на реалистичности модели. Данная модель поможет ускорить проектирование энергокомплекса и повысить эффективность подбора оптимальных параметров, участвующих в генерации электроэнергии, компонентов. Благодаря спроектированной модели появилась возможность организовать более подробный мониторинг за функционированием каждого из компонентов модели.

Библиографический список

1. Обзор идеи по разработке мобильного масштабируемого энергокомплекса на основе возобновляемых источников энергии / А.А. Мирошниченко, Е.М. Гордиевский, А.З. Кулганатов, Е.А. Сироткин // Академический журнал Западной Сибири. – 2018. – Т. 14, № 4(75). – С. 61–66.

2. Гречухина И.А., Кудрявцева О.В. Эффективность развития рынка возобновляемых источников энергии в России // Экономика региона. – 2016. – Т. 12, № 4. – С. 1167–1177.

3. Соснина Е.Н., Маслеева О.В. Экологическое воздействие ветродизельных электростанций на экосистемы и здоровье населения // Экология человека. – 2016. – № 12. – С. 3–9.

4. Демина О.В. Энергетика Дальнего Востока России в перспективе до 2050 г.: технологический аспект // Пространственная экономика. – 2012. – № 2. – С. 67–88.

5. Гайнаров Д.А., Кантор О.Г. Синергетическое моделирование параметров энергетической системы Российской Федерации // Экономика региона. – 2015. – Т. 4, № 4. – С. 357–369.

6. Порфирьев Б.Н. Альтернативная энергетика как фактор эколого-энергетической безопасности: особенности России // Экономика региона. – 2011. – Т. 2, № 2. – С. 138–145.

7. Кирпичникова И.М., Топольская И.Г., Топольский Д.В. Особенности развития теории моделирования возобновляемых источников энергии в России // Альтернативная энергетика и экология. – 2014. – № 5(145). – С. 63–68.

8. Мирошниченко А.А., Кулганатов А.З., Гордиевский Е.М. Сравнительный анализ устройств для выдвижения ротора ветрогенератора в мобильном энергокомплексе на основе возобновляемых источников энергии // Colloquium-journal. – 2018. – № 13–7(24). – С. 24–29.

9. Кирпичникова И.М., Мартьянов А.С. Моделирование генератора ветроэнергетической установки // Вестник Южно-Урал. гос. ун-та. – 2015. – Т. 8. – № 4. – С. 76–82.

10. Михайлов А., Агафонов А., Сайданов В. Малая энергетика России. Классификация, задачи, применение // Новости электротехники: информац.-справ. издание. – СПб., 2005. – № 5.

11. Кулганатов А.З., Мирошниченко А.А., Гордиевский Е.М. Сравнительный анализ приводов для поднятия ротора ветроэнергетической установки в мобильном энергокомплексе // Вестник современных исследований. – 2018. – № 11–7(26). – С. 460–465.

12. О недостатке использования дизельных генераторов при электроснабжении автономных потребителей / А.А. Мирошниченко, Е.М. Гордиевский, А.З. Кулганатов, Е.А. Сироткин, А.А. Ковалёв // Интеграция наук. – 2018. – № 8(23). – С. 599–600.

13. Martyanov A.S., Solomin E.V. Development of control algorithms in MatLab/Simulink // Procedia Engineering. – 2015. – Vol. 129. – P. 922–926.

14. Соснина Е.Н., Кечкин А.Ю., Филатов Д.А. Вопрос электроснабжения потребителей, удаленных от сетевой инфраструктуры // Труды Нижегород. гос. техн. ун-та им. Р.Е. Алексеева. – 2014. – № 5(107). – С. 100–105.

15. Иванова И.Ю., Тугузова Т.Ф., Попов С.П. Развитие малой энергетики на северо-востоке России: проблемы, эффективность, приоритеты // Малая энергетика – 2006: материалы междунар. науч.-практ. конф. (г. Москва, 21–24 ноября 2006 г.). – М.: Малая энергетика, 2006. – С. 1–6.

16. ГОСТ 34045-2017. Электроэнергетические системы. Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования. – М.: Стандартинформ, 2017. – 24 с.

17. Мозговая Е.С. Развитие альтернативной энергетики как направление устойчивого развития ТЭК России // Вестник Саратов. гос. социал.-эконом. ун-та. – 2009. – № 2. – С. 99–101.

18. Гасникова А.А. Роль традиционной и альтернативной энергетики в регионах Севера // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2013. – № 5. – С. 77–88.

19. Ковальчук Ю.Л. Состояние и перспективы использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии в топливно-энергетическом комплексе России // *Энергетика*. – 2006. – № 7. – С. 37–42.

20. Гительман Л.Д., Кожевников М.В. Электрификация как драйвер развития «умных городов» // *Экономика региона*. – 2017. – Т. 13. – № 4. – С. 1199–1210.

References

1. Miroshnichenko A.A., Gordievskii E.M., Kulganatov A.Z., Sirotkin E.A. Obzor idei po razrabotke mobil'nogo masshtabiruемого energokompleksa na osnove vozobnovliaemykh istochnikov energii [Overview of ideas for developing a mobile scalable energy complex based on renewable energy sources]. *Akademicheskii zhurnal Zapadnoi Sibiri*, 2018, vol. 14, no. 4(75), pp. 61-66.

2. Grechukhina I.A., Kudriavtseva O.V. Effektivnost' razvitiia rynka vozobnovliaemykh istochnikov energii v Rossii [Development Efficiency of the Renewable Energy Market in Russia]. *Ekonomika regiona*, 2016, vol. 12, no 4, pp. 1167-1177.

3. Sosnina E.N., Masleeva O.V. Ekologicheskoe vozdeistvie vetrodizel'nykh elektrostantsii na ekosistemy i zdorov'e naseleniia [Ecological impact of wind-diesel power plants on ecosystems and public health]. *Ekologiya cheloveka*, 2016, no. 12, pp. 3-9.

4. Demina O.V. Energetika Dal'nego Vostoka Rossii v perspektive do 2050 g.: tekhnologicheskii aspekt [The power industry of the Russian Far East in perspective until 2050: technological aspect]. *Prostranstvennaia ekonomika*, 2012, no. 2, pp. 67-88.

5. Gainarov D.A., Kantor O.G. Sinergeticheskoe modelirovanie parametrov energeticheskoi sistemy Rossiiskoi Federatsii [Synergetic modeling of the parameters of the energy system of the Russian Federation]. *Ekonomika regiona*, 2015, vol. 4, no. 4, p. 357-369.

6. Porfir'ev B.N. Al'ternativnaia energetika kak faktor ekologo-energeticheskoi bezopasnosti: osobennosti Rossii [Alternative energy as a factor of environmental and energy security: Russia's characteristics]. *Ekonomika regiona*, 2011, vol. 2, no. 2, pp. 138-145.

7. Kirpichnikova I.M., Topol'skaia I.G., Topol'skii D.V. Ob osobennostiakh razvitiia teorii modelirovaniia vozobnovliaemykh

istochnikov energii v Rossii [On the features of the development of the theory of renewable energy sources in Russia]. *Al'ternativnaia energetika i ekologiia*, 2014, no. 5(145), pp. 63-68.

8. Miroshnichenko A.A., Kulganatov A.Z., Gordievskii E.M. Sravnitel'nyi analiz ustroistv dlia vydvizheniia rotora vetrogeneratora v mobil'nom energokomplekse na osnove vozobnovliaemykh istochnikov energii [Comparative analysis of devices for wind rotor advancement in a mobile power complex based on renewable energy sources]. *Colloquium-journal*, 2018, no. 13-7(24), pp. 24-29.

9. Kirpichnikova I.M., Mart'ianov A.S. Modelirovanie generatora vetroenergeticheskoi ustanovki [Simulation of a wind turbine generator]. *Vestnik Iuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, vol. 8, no. 4, pp. 76-82.

10. Mikhailov A., Agafonov A., Saidanov V. Malaia energetika Rossii. Klassifikatsiia, zadachi, primenenie [Small power of Russia. Classification, tasks, application]. *Novosti elektrotehniki: informatsionno-spravochnoe izdanie*. Saint Petersburg, 2005, no. 5.

11. Kulganatov A.Z., Miroshnichenko A.A., Gordievskii E.M. Sravnitel'nyi analiz privodov dlia podniatiia rotora vetroenergeticheskoi ustanovki v mobil'nom energokomplekse [Comparative analysis of drives to raise the rotor of a wind power installation in a mobile power complex]. *Vestnik sovremennykh issledovaniy*, 2018, no. 11-7(26), pp. 460-465.

12. Miroshnichenko A.A., Gordievskii E.M., Kulganatov A.Z., Sirotkin E.A., Kovalev A.A. O nedostatke ispol'zovaniia dizel'nykh generatorov pri elektrosnabzhenii avtonomnykh potrebitelei [On the lack of use of diesel generators in the supply of autonomous consumers]. *Integratsiia nauk*, 2018, no. 8(23), pp. 599-600.

13. Martyanov A.S., Solomin E.V. Development of control algorithms in MatLab/Simulink. *Procedia Engineering*, 2015, vol. 129, pp. 922-926.

14. Sosnina E.N., Kechkin A.Iu., Filatov D.A. Vopros elektrosnabzheniia potrebitelei, udalennykh ot setevoi infrastruktury [The issue of power supply to consumers remote from the network infrastructure]. *Trudy Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni R.E. Alekseeva*, 2014, no. 5(107), pp. 100-105.

15. Ivanova I.Iu., Tuguzova T.F., Popov S.P. Razvitie maloi energetiki na severo-vostoke Rossii: problemy, effektivnost', priorityty [Development of small energy in the north-east of Russia: problems, efficiency, priorities].

Malaia energetika - 2006. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, Moscow, 21-24 November 2006. Moscow: Malaia energetika, 2006, pp. 1-6.

16. GOST 34045-2017. Elektroenergeticheskie sistemy. Operativno-dispetcherskoe upravlenie. Avtomaticheskoe protivovariinoe upravlenie rezhimami energosistem. Protivovariinaia avtomatika energosistem. Normy i trebovaniia [GOST 34045-2017. Electric power systems. Operational dispatch control. Automatic emergency control of power system modes. Emergency automation of power systems. Norms and requirements]. Moscow: Standartinform, 2017. 24 p.

17. Mozgovaia E.S. Razvitie al'ternativnoi energetiki kak napravlenie ustoichivogo razvitiia TEK Rossii [Development of alternative energy as a direction for sustainable development of the fuel and energy complex of Russia]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo sotsial'noekonomicheskogo universiteta*, 2009, no. 2, pp. 99-101.

18. Gasnikova A.A. Rol' traditsionnoi i al'ternativnoi energetiki v regionakh Severa [The role of traditional and alternative energy in the regions of the North]. *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz*, 2013, no. 5, pp. 77-88.

19. Koval'chuk Iu.L. Sostoianie i perspektivy ispol'zovaniia netraditsionnykh i vozobnovliaemykh istochnikov energii v toplivno-energeticheskom komplekse Rossii [State and prospects of using nontraditional and renewable energy sources in the fuel and energy complex of Russia]. *Energetika*, 2006, no. 7, pp. 37-42.

20. Gitel'man L.D., Kozhevnikov M.V. Elektrifikatsiia kak draiver razvitiia «umnykh gorodov» [Electrification as a driver for the development of "Smart Cities"]. *Ekonomika regiona*, 2017, vol. 13, no. 4, pp. 1199-1210.

Сведения об авторах

Гордиевский Евгений Михайлович (Челябинск, Россия) – магистр кафедры «Электрические станции, сети и системы» Южно-Уральского государственного университета (454080, Челябинск, пр. Ленина, 76, e-mail: gordievskiy@gmail.com).

Мирошниченко Алексей Александрович (Челябинск, Россия) – магистр кафедры «Электрические станции, сети и системы» Южно-

Уральского государственного университета (454080, Челябинск, пр. Ленина, 76, e-mail: alex.miroshnichenko@mail.ru).

Кулганатов Аскар Зайдакбаевич (Челябинск, Россия) – бакалавр кафедры «Теоретические основы электротехники» Южно-Уральского государственного университета (454080, Челябинск, пр. Ленина, 76, e-mail: kulganatov97@gmail.com).

Соломин Евгений Викторович (Челябинск, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Электрические станции, сети и системы» Южно-Уральского государственного университета (454080, Челябинск, пр. Ленина, 76, e-mail: nii-uralmet@mail.ru).

About the authors

Gordiyevsky Evgeny Mikhaylovich (Chelyabinsk, Russian Federation) is the Master of "Power Plants, Networks and Systems" department of the Southern Ural State University (454080, Chelyabinsk, Lenin ave., 76, e-mail: gordievskyi@gmail.com).

Miroshnichenko Alexey Aleksandrovich (Chelyabinsk, Russian Federation) is the Master of "Power Plants, Networks and Systems" department of the Southern Ural State University (454080, Chelyabinsk, Lenin ave., 76, e-mail: alex.miroshnichenko@mail.ru).

Kulganatov Askar Zaydakbayevich (Chelyabinsk, Russian Federation) is the bachelor of Theoretical Bases of Electrical Equipment department of the Southern Ural State University (454080, Chelyabinsk, Lenin ave., 76, e-mail: kulganatov97@gmail.com).

Solomin Evgeny Viktorovich (Chelyabinsk, Russian Federation) is the Doctor of Technical Sciences, Professor of "Power Plants, Networks and Systems" department of the Southern Ural State University (454080, Chelyabinsk, Lenin ave., 76, e-mail: nii-uralmet@mail.ru).

Получено 17.07.2019