



Столыпинский

вестник

Научная статья

Original article

УДК 62

**ВОЗМОЖНЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ  
ЭНЕРГОСИСТЕМЫ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ  
СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**POSSIBLE PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE EXISTING  
ENERGY SYSTEM IN THE RUSSIAN FEDERATION BASED ON MODERN  
TECHNOLOGIES**

**Цветков Александр Сергеевич**, студент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г Москва, Красноказарменная ул., 14

**Сивеев Тихон Максимович**, студент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г Москва, Красноказарменная ул., 14

**Груздов Андрей Геннадьевич**, магистрант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г Москва, Красноказарменная ул., 14

**Пашковская Екатерина Евгеньевна**, магистрант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего

образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г Москва, Красноказарменная ул., 14

**Tsvetkov Aleksandr Sergeevich**, Student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research University "MEI", Moscow, Krasnokazarmennaya st., 14

**Siveev Tikhon Maksimovich**, Student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research University "MEI", Moscow, Krasnokazarmennaya st., 14

**Gruzdov Andrey Gennadievich**, Master's student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research University "MEI", Moscow, Krasnokazarmennaya st., 14

**Pashkovskaya Ekaterina Evgenievna**, Master's student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research University "MEI", Moscow, Krasnokazarmennaya st., 14

**Аннотация:** В современном мире для человечества становится все более очевидной проблема истощения запасов полезных ископаемых. В первую очередь это касается полезных ископаемых, которые служат энергетическим топливом для работы электрических станций, производящих электрическую энергию. Необходимость использования электроэнергии в любой сфере человеческой деятельности является очевидной, как и необходимость ее генерации, ведь процесс производства и передачи электрической энергии потребителю является непрерывным. Для решения данной проблемы применяется два различных способа. К первому относится более эффективное использование имеющихся энергоресурсов, к примеру, ядерной энергии распада атома, энергии воды, всевозможных видов горючего топлива. Ко второму способу относится более широкое использование возобновляемых источников энергии: солнечного света, ветра, воды. В статье рассматриваются

возможные способы усовершенствования существующей энергосистемы РФ, которые позволят использовать имеющиеся энергоресурсы более эффективно.

**Abstract:** In the modern world, the problem of depletion of mineral reserves is becoming more and more obvious to mankind. First of all, this concerns minerals that serve as energy fuel for the operation of electric power plants that produce electric energy. The need to use electricity in any sphere of human activity is obvious, as is the need for its generation, because the process of production and transmission of electric energy to the consumer is continuous. Two different methods are used to solve this problem. The first one includes more efficient use of available energy resources, for example, nuclear energy of atomic decay, water energy, and all kinds of combustible fuels. The second method includes the wider use of renewable energy sources: sunlight, wind, tides. The article discusses possible ways to improve the existing power system of the Russian Federation, which will allow using

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии (ВИЭ), фотоэлемент, интеллектуальная сеть, электрооборудование (ЭО).

**Keywords:** renewable energy sources, solar cell, smart grid, electric equipment.

Для совершенствования существующей энергосистемы рассмотрим возможность внедрения активно развивающейся во всем мире концепции интеллектуальных сетей электроснабжения – Smart Grid. Необходимо подробно разобраться в данной концепции и установить, как она изменит функционирование существующей системы энергоснабжения.

Интеллектуальная электроэнергетическая система (ИЭС) — объединение генерации электроэнергии (крупной и малой), электрических сетей (магистральных, распределительных) и устройств потребителей в единую систему, осуществляющую мониторинг и автоматизированное управление работой всех участников процесса производства, передачи, сбыта и потребления электроэнергии, во всех режимах (включая аварийные), на

основе двустороннего информационного обмена. ИЭС позволяет решить следующие задачи:

- более широкое применение возобновляемых источников энергии, а так же улучшение экологической обстановки;
- улучшение качества и уменьшение стоимости производства и передачи электроэнергии;
- повышение эффективности использования энергетических ресурсов;
- увеличение надежности и безопасности функционирования электроэнергетической системы;
- поддержание нормальной работоспособности энергосистемы и автоматическое регулирование параметров работы сети в различных режимах (особенно в аварийных);
- обеспечение информационной безопасности;
- Данные задачи заложены в основу работы системы Smart Grid.

Технологически интеллектуальная сеть представляет собой следующие изменения, вносимые в существующую энергосистему:

- цифровые системы мониторинга с функцией дистанционного управления, встроенные датчики, отслеживающие параметры работы сети и осуществляющие их автоматическое регулирование. К подобным системам можно отнести автоматизированные информационно-измерительные системы (АИИС). Примером может служить автоматизированная система управления, которая позволяет промышленным предприятиям отключать низкоприоритетных потребителей, когда это возможно;
- установка у потребителей электроэнергии умных счетчиков, регистрирующих потребление электроэнергии с интервалом в один час и передающих информацию о потреблении не реже одного раза в день в энергетическую компанию. Данная связь позволяет производителю регулировать потребление энергии, путем снижения тарифной платы

потребителя в необходимое время. Подобное согласование во времени позволит обеспечить потребителя дешевой энергией от возобновляемых источников, например, солнечной энергией, которая напрямую зависит от времени суток. Передача данных осуществляется через телефонный модем, соединения GSM, ADSL (стандарты цифровой мобильной связи).

- создание распространенной сети объединенных коммуникаций между объектами энергосистемы на базе разнообразных линий связи. К таким линиям связи следует отнести: высокочастотный сигнал ЛЭП, GPRS – технология спутниковой передачи данных, волоконно-оптическая линия передачи;

- создание объединенных автоматизированных пунктов управления, так называемых цифровых подстанций, осуществляющих постоянный мониторинг функционирования объектов ЭЭС.



**Рисунок 1. Интеллектуальный счетчик электроэнергии**

Обращаясь к отчету комиссии по сравнительному анализу внедрения интеллектуального учета в ЕС-27 с акцентом на электроэнергию[1], стоит заметить, что в 3 государствах Евросоюза (Финляндии, Италии и Швеции) уже установлено 45 миллионов интеллектуальных счетчиков. Это позволило

снизить расход на электроэнергию в Финляндии и Швеции, на 3%. В будущем планируется, что интеллектуальные системы учета принесут выгоду на одного потребителя в размере 309 евро.

Активное продвижение концепции Smart Grid в европейских странах позволило значительно увеличить вклад ВИЭ в производимую электроэнергию. Согласно отчету британского аналитического центра «Ember» и немецкого института «Agora Energiewende» в 2020 году [2], доля возобновляемых источников энергии, по сравнению с общей генерированной энергией в Европе, составила 38% и превысила тем самым долю энергии, полученной посредством ископаемого топлива.

Необходимость внедрения концепции интеллектуальных сетей в Российской Федерации подтверждают исследования ИНЭИ РАН. Согласно данным исследованиям, внедрение концепции Smart Grid позволит увеличить производство электроэнергии с использованием ВИЭ в 2,5-3,7 раза за период с 2015 до 2040 гг.[3], за счет многократного увеличения мощностей солнечной и ветрогенерации.

Однако, существует несколько причин, препятствующих широкомасштабному внедрению интеллектуальных сетей энергоснабжения в существующую энергосистему [4]. К данным причинам можно отнести:

- высокий износ эксплуатируемого электрооборудования;
- низкий уровень инновационного прогресса в данном направлении;
- недостаточная инвестиционная активность энергетических предприятий, связанная с преобладанием частных интересов над общественными;
- зависимость большинства энергетических предприятий от импортируемого электрооборудования;
- большая доля потребителей электроэнергии находится за пределами централизованной системы электроснабжения;

- несоответствующий уровень компетентности технического персонала;
- низкая экономическая эффективность энергосистемы;

Несмотря на данные проблемы, в России уже существует несколько реализованных проектов по внедрению концепции Smart Grid. К примеру, в 2014 году в городе Уфа в эксплуатацию был введен новый координационный центр управления электроэнергетической сетью. Система работы центра позволяет полностью контролировать нагрузку, потокораспределение мощностей и режимы работы электрооборудования. Новые технологии позволили снизить уровень потерь примерно на 7%, за счет повышения эффективности энергосистемы, увеличилась пропускная способность и надежность электрооборудования. Дальнейшее развитие проекта позволит: снизить затраты на ремонт, эксплуатацию и обслуживание ЭО, оптимизировать работу энергосистемы, увеличить надежность электроснабжения потребителей и уменьшить себестоимость производства и передачи электроэнергии.

Концепция развития интеллектуальных сетей электроснабжения, помимо модернизированных систем учета электроэнергии, подразумевает также повышение доли энергии, вырабатываемой возобновляемыми источниками. Необходимо подвергнуть анализу наиболее перспективные направления в данной сфере и рассмотреть аспекты дальнейшего развития энергосистемы.

Основной проблемой ВИЭ является нестабильность выработки энергии генераторной установкой. Разумеется, это касается в большей степени ветряных и солнечных установок, которые в отличие от гидроэнергетики имеют существенно меньшие масштабы генерации, однако могут использоваться для снабжения автономных, наиболее удаленных от централизованной системы электроснабжения, потребителей.

Гидроэнергетика достигла широкого распространения в России благодаря огромному количеству крупных и малых рек, высокому

коэффициенту полезного действия (КПД) гидроэлектростанций и масштабам производства электроэнергии. Выработка энергии ГЭС составляет основную часть ВИЭ.

Геотермальные источники электроэнергии, использующие энергию недр земли, жестко привязаны к местам своего образования и могут снабжать энергией только близкорасположенных потребителей, в связи с чем, развитие данной отрасли весьма ограничено.

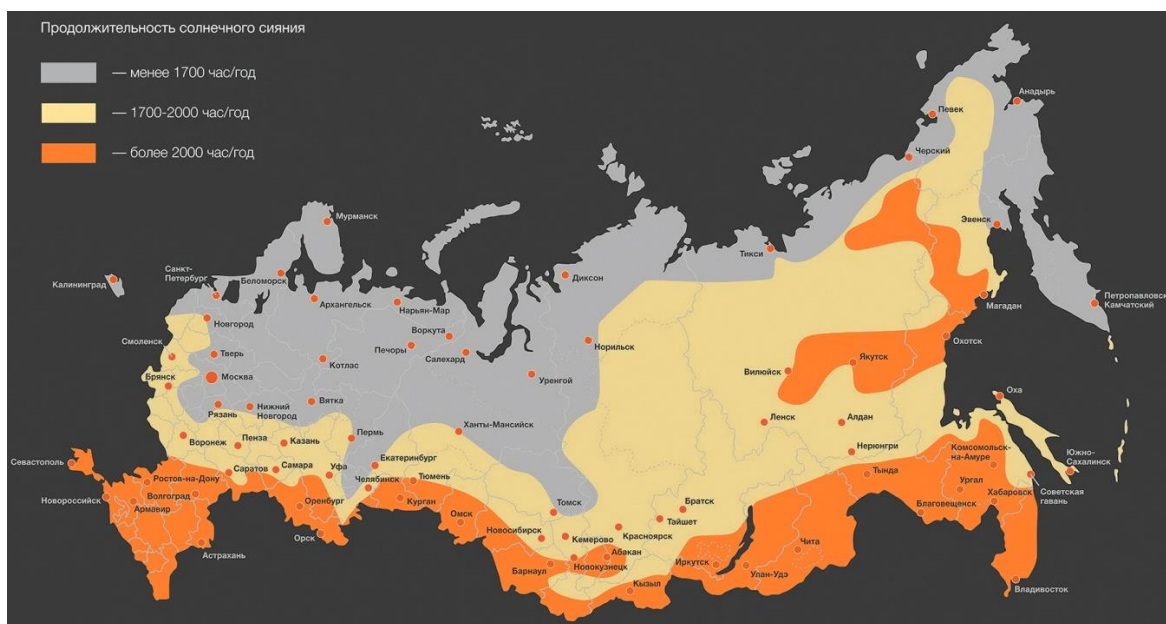
Использование в качестве топлива древесного угля, который так же можно считать возобновляемым источником, ограничивается количеством лесозаготовок, и экологическими требованиями к вырубке леса.

Анализируя вышеперечисленные аспекты, следует предположить, что наиболее перспективными для развития являются солнечная и ветроэнергетика. Однако, динамическое развитие данных видов ВИЭ на территории РФ ограничено следующими факторами:

- сложность прогнозирования выработки электроэнергии;
- зависимость количества выработанной энергии от географического положения;
- необходимость дополнения генераторов преобразователями и инверторами, аккумулирующими устройствами, как следствие уменьшение качества электроэнергии;
- достаточно низкий КПД;
- возможности регулирования производимой электроэнергии напрямую зависят от количества включенных в работу генерирующих устройств;
- необходимость строительства электроустановок в непосредственной близости от потребителя;
- низкая категория надежности снабжаемого потребителя;
- невысокие производственные возможности;



- удаленность наиболее перспективных географических районов для развития отрасли от централизованной системы электроснабжения;



**Рисунок 2. Карта солнечной инсоляции РФ**

Количество солнечной энергии зависит от наличия или отсутствия облачности, а также от угла наклона поверхности к солнцу, что в свою очередь определяется временем суток и временем года. Как правило, большая часть энергии в солнечных батареях вырабатывается в полдень, когда угол падения солнечных лучей на землю приближается к  $90^\circ$ , длина прохождения солнечных лучей через атмосферу уменьшается, следовательно, меньшее количество лучей отражается и преломляется. При нагревании фотоэлемента, а именно кремниевой пластины, из нее высвобождаются электроны (эффект полупроводников), которые затем, приходя в движение, образуют ток, поступающий в аккумуляторы. При необходимости, постоянный ток аккумулятора преобразуется в переменный и поступает к потребителю. Следовательно, чем больше солнечной энергии перейдет в кремниевую пластину, тем больше будет ток. Анализируя карту солнечной инсоляции РФ, можно сделать следующий вывод: самое высокое излучение наблюдается на юге, юго-востоке и дальнем востоке страны, где наиболее целесообразно строительство масштабных «солнечных полей». Однако, такие факторы как:

расположение в климатических поясах, неравномерная плотность населения, протяженность страны, определяют низкую перспективность развития данной отрасли.

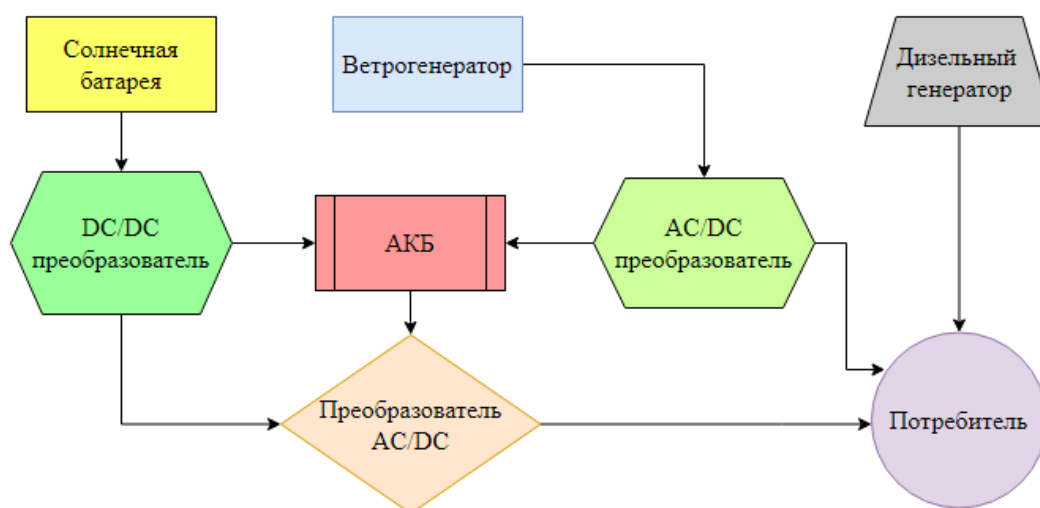


Рисунок 3. Карта распределения среднегодовой скорости РФ

Ветроэнергетика, по сравнению, с солнечной, имеет такие преимущества, как: независимость генерации от времени суток и времени года, большой КПД, больше производительность, однако и существенно больше стоимость строительства и обслуживания. Ветрогенератор представляет собой генератор с постоянными магнитами, и работает следующим образом: ветер вращает лопасти, которые передают вращение на ротор генератора. Ротор, вращаясь в статоре, наводит в нем переменное электромагнитное поле, благодаря которому образуется переменный ток. Переменный ток невозможно аккумулировать, поэтому на выходе генератора устанавливают AC/DC преобразователь, после которого постоянный ток поступает в аккумулятор. Мощность ветроустановки пропорциональна скорости ветра в кубе, поэтому при малом увеличении скорости, вырабатываемая мощность существенно увеличивается. Анализируя карту распределения средней скорости ветра на территории России можно сделать

следующий вывод: наиболее перспективными для строительства ветроустановок являются: северные, северо-восточные и дальневосточные регионы страны.

С целью взаимоисключения недостатков обоих типов электроустановок, они могут использоваться совместно, образуя гибридную схему электроснабжения. Гибридные автономные электростанции могут использоваться круглогодично, однако при нехватке солнечной энергии в зимний период, ее необходимо компенсировать дизельным генератором. Электростанция, построенная по данной схеме, в зависимости от своих масштабов, может обеспечивать электричеством как жилое помещение, так и служить основным источником энергии малых электростанций, например ГЭС, тем самым повышая общую эффективность работы последней. Логическую схему гибридной электростанции можно представить с помощью блоков, обозначающих тип электрооборудования, а стрелками обозначить процессы преобразования электроэнергии до уровня, необходимого потребителю.



**Рисунок 4. Блок-схема гибридной электростанции**

В современном мире проектирование подобных типов электростанций целесообразно осуществлять, используя программы компьютерного

моделирования, в основу которых заложено огромное количество различных функций, способных производить сложные вычислительные операции, тем самым значительно упрощая процесс проектирования.

Одной из таких программ является Matlab Simulink. MATLAB (Matrix Laboratory) – это систем прикладных программ, предназначенных для решения задач с множеством технических вычислений, практически в любой области науки и техники. Отличительной особенностью программы является оперирование с векторами и матрицами. Огромная библиотека встроенных функций позволяет решать инженерные задачи разного уровня сложности. Обработку данных в данной программе можно производить без составления программы, а при необходимости составления программы воспользоваться автоматической генерацией кода на языках C, C++, CUDA, VHDL, Verilog.

Simulink – это среда блочного моделирования (подсистема Matlab), основанная на графическом интерфейсе пользователя, который с помощью визуально-ориентированного программирования может проектировать системы объектов различного уровня сложности [5]. Данная среда позволяет выполнять проектирование на основе графических моделей, производить расчет параметров работы системы, составлять программы функционирования и анализ работы спроектированной системы объектов в реальном времени.

В качестве примера рассмотрим структурную схему солнечной электростанции, составленную в программе Matlab Simulink.

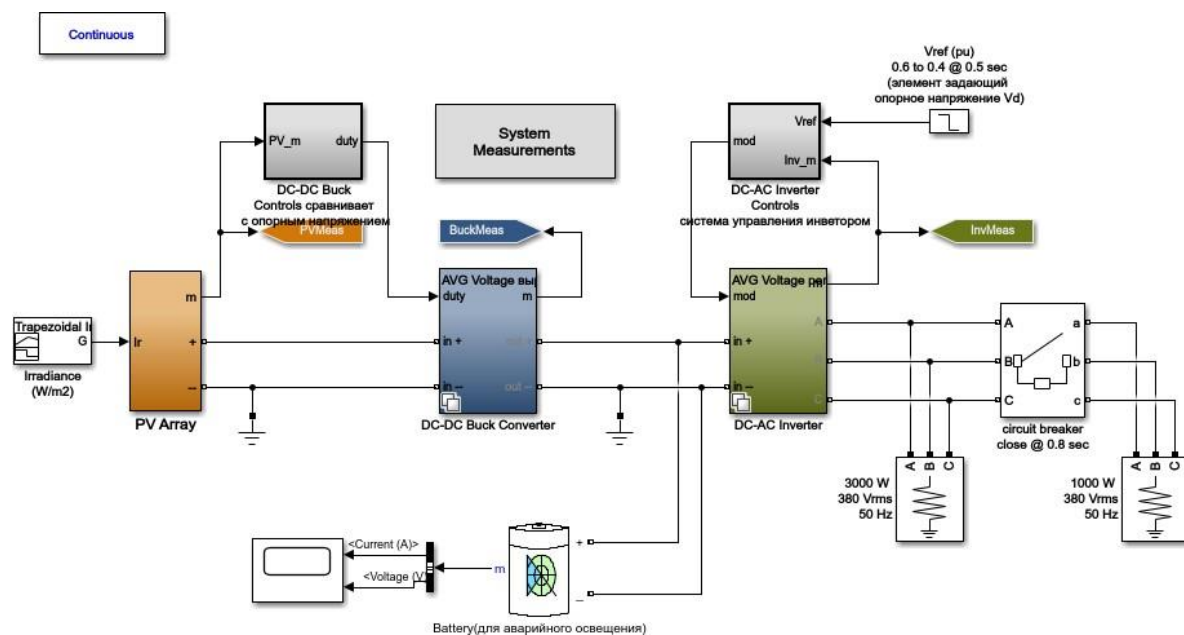


Рисунок 5. Структурная схема солнечной электростанции

- блок *Irradiance* задает значение интенсивности солнечного света;
- блок *PV Array* моделирует солнечные панели;
- блок *DC-DC Buck Controls* - контроллер, управляющий работой DC/DC преобразователя;
- блок *DC-DC Buck Converter* - преобразователь постоянного тока, выравнивающий сигнал;
- блок *Battery* моделирует аккумулятор;
- блок *DC-AC Inverter* моделирует инвертор;
- блок *DC-AC Invertor Controls* - система управления инвертором;
- блок *Circuit breaker* моделирует автоматический выключатель;

Задача блока *PV Array* сформировать выходные параметры солнечных батарей: силу тока, напряжение и мощность, которые определяются значением интенсивности солнечного излучения. Сформированные параметры поступают в блок *DC-DC Buck Controls*, который измеряет максимальную величину активной мощности. Управление модулем измерителя максимальной мощности реализовано с помощью пропорционально-интегрального регулятора, который формирует сигнал и оценивает его

изменение после прохождения схемы. Затем ток, с заданным значением напряжения, поступает в блок *DC-DC Buck Converter*, который преобразует входное напряжение до уровня, обусловленного нормальной работой аккумуляторной батареи (АКБ). Постоянный ток после преобразователя поступает на вход в инвертор - блок *DC-AC Inverter*, (при недостаточном значении выходного тока преобразователя, в работу включается АКБ, так же присутствующий на вход инвертора). Инвертор преобразует постоянный ток в переменный, который может использоваться потребителем. Блок *DC-AC Invertor Controls* служит для регулирования входных параметров инвертора. Для предотвращения последствий коротких замыканий в схеме применяется автоматический выключатель - блок *Circuit breaker*.

В представленной схеме каждый блок имеет составные элементы, позволяющие изменять параметры его работы, тем самым изменяя работу всей системы в целом. Моделируя различные режимы работы электростанции можно определить эффективность и надежность ее функционирования, что является особенно важным при дальнейшем введении электростанции в эксплуатацию. Данное программное обеспечение содержит библиотеки с огромным количеством моделей электрооборудования, что позволяет в кратчайшие сроки создавать масштабные проекты различных электростанций.

Таким образом, современные технологии в энергетике направлены на усовершенствование существующей энергосистемы и повышение эффективности ее функционирования. Внедрение концепции Smart Grid сделает процесс электроснабжения более дешевым, но в то же время увеличит его надежность. Повышенный вклад возобновляемых источников энергии позволит уменьшить потребление невозобновляемых топливных ресурсов, находящихся на грани исчерпания. Результаты практического опыта внедрения интеллектуальной сети позволяют сделать вывод об экономической эффективности данной концепции. Однако, слабое развитие технологий в данной сфере, требует от государства повышенных инвестиций в

импортирование иностранного электрооборудования и усиления международных связей.

Как отдельную сферу данной концепции следует выделить повышение генерации электроэнергии ВИЭ. Развитие данной сферы энергосистемы наиболее эффективно при создании гибридных электростанций. Такие станции могут использовать для снабжения энергией автономных, удаленных от централизованной системы электроснабжения, потребителей, а так же для электроснабжения потребителей невысокой мощности в централизованной системе.

Новейшие технологии в сфере проектирования позволяют создавать компьютерные модели различных видов электростанций. Компьютерная программа Matlab и ее подсистема Simulink, используя блочное моделирование и графическое отображение элементов модели с возможностью изменения параметров их работы в реальном времени, значительно упрощают процесс проектирования. Создание проектов гибридных электростанций в подобных программах является отличной перспективой.

#### **Литература:**

1. Отчет комиссии по сравнительному анализу внедрения интеллектуального учета в ЕС-27 с акцентом на электроэнергию [Электронный ресурс]/ Режим доступа: <https://www.eumonitor.eu/9353000/1/j9vvik7m1c3gyxp/vjkuhv3cwgyq>
2. ВИЭ впервые обошли ископаемое топливо по производству энергии в ЕС в 2020 г. [Электронный ресурс]/ Режим доступа: <https://www.interfax.ru/business/746758>
3. Прогноз развития энергетики мира и России 2019/ Под ред. А.А. Макарова, Т.А. Митровой, В.А. Кулагина – ИНЭИ РАН – Московская школа управления СКОЛКОВО – Москва, 2019. – с.67.
4. Годовой отчет ПАО «ФСК ЕЭС» за 2016 г. [Электронный ресурс]/ Режим доступа: [https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/fsk\\_go\\_2016.pdf](https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/fsk_go_2016.pdf)

5. Дьяконов, В. П. MATLAB и SIMULINK для радиоинженеров – М.: ДМК Пресс, 2011. – 60 с.

**References:**

1. Report of the Commission on the comparative analysis of the introduction of intelligent accounting in the EU-27 with an emphasis on electricity [Electronic resource]/ Access mode: <https://www.eumonitor.eu/9353000/1/j9vvik7m1c3gyxp/vjkyxv3cwgyq>
2. Renewable energy sources for the first time bypassed fossil fuels for energy production in the EU in 2020 [Electronic resource]/ Access mode: <https://www.interfax.ru/business/746758>
3. Forecast of world and Russian energy development 2019/ Edited by A.A. Makarov, T.A. Mitrova, V.A. Kulagin – INEI RAS – Moscow School of Management SKOLKOVO – Moscow, 2019. – p.67.
4. Annual Report of PJSC FGC UES for 2016 [Electronic resource]/ Access mode: [https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/fsk\\_go\\_2016.pdf](https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/fsk_go_2016.pdf)
5. Diakonov, V. P. MATLAB and SIMULINK for radio engineers – Moscow: DMK Press, 2011. – 60 p.

© Цветков А.С, Сивеев Т.М., Груздов А.Г., Пашковская Е... Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник», номер 9/2022.

**Для цитирования:** Цветков А.С, Сивеев Т.М., Груздов А.Г., Пашковская Е.Е. ВОЗМОЖНЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ // Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник», номер 9/2022.