

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 9.035
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2021 Issue: 10 Volume: 102

Published: 28.10.2021 <http://T-Science.org>

QR – Issue



QR – Article



Valery Aleksandrovich Vauchok

Yanka Kupala state university of Grodno
Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor at the Department of
Electrical Engineering and Electronics
Grodno, Republic of Belarus

Anastasia Cheslavovna Bobnis

Yanka Kupala state university of Grodno
Student
Grodno, Republic of Belarus

APPLICATION OF A SYSTEM APPROACH TO THE FORMATION OF CONCEPTUAL ELEMENTS OF VIRTUAL POWER PLANTS

Abstract: This article discusses the application of a systematic approach to the formation of conceptual elements of virtual power plants. The main definitions and models of the functioning of virtual power plants are identified. The structure and development prospects of virtual power plants are determined.

Key words: energy, system approach, digitalization, virtual power plant, conceptual elements.

Language: Russian

Citation: Vauchok, V. A., & Bobnis, A. Ch. (2021). Application of a system approach to the formation of conceptual elements of virtual power plants. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 10 (102), 901-907.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-10-102-100> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2021.10.102.100>

Scopus ASCC: 2207.

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К ФОРМИРОВАНИЮ КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВИРТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Аннотация: В данной статье рассматривается применение системного подхода к формированию концептуальных элементов виртуальных электростанций. Выявляются основные определения и модели функционирования ВЭС. Определяются структура и перспектива развития ВЭС.

Ключевые слова: энергетика, системный подход, цифровизация, виртуальная электростанция, концептуальные элементы.

Введение

Информационные технологии имеют существенное влияние на современном этапе мирового социального и экономического развития. Во всех сферах человеческой деятельности имеет место тенденция цифровой трансформации. Вместе с тем энергетика, как базовая отрасль промышленности, является пионером цифровизации.

Современная энергетика – основа любого промышленного комплекса, которая требует многоаспектного системного изучения,

постоянного поиска и решения проблем будущего [1, с. 189].

В целом тематику системных исследований в энергетике можно считать неисчерпаемой, т.к. в процессе ее развития и трансформаций в экономике возникают новые задачи [2, с. 584]. Почти все они потребуют применения системного подхода и использования средств системного анализа.

В соответствии с концепцией национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь до

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 9.035
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

2035 года акцент в развитии энергетики будет сделан на оптимальное вовлечение в топливноэнергетический баланс возобновляемых источников энергии, включая их активную интеграцию в энергосистему за счет развития «умных» сетей, применения технологий аккумулирования электрической и тепловой энергии, распространения использования возобновляемых источников энергии для собственных нужд [3, с. 50]. Продолжится цифровизация и внедрение перспективных технологий в сфере энергетики. [3, с. 51].

Цифровые технологии уже являются важным элементом мира энергетики, и их актуальность будет только расти. Цифровые технологии открывают новые возможности для связи и обмена, а также инновационные способы анализа информации. Результатом являются улучшенные прогнозы и возможность автоматизировать использование энергопроизводящих и энергопотребляющих агрегатов, эффективно и выгодно используя их гибкость на рынке энергии.

Управление массивом крупномасштабных централизованных электростанций само по себе является достаточно сложной задачей, но что происходит, когда есть сотни тысяч или даже миллионы небольших генераторов? За последнее десятилетие цифровизация распределенных энергетических ресурсов, наряду с внедрением интеллектуальных счетчиков и ростом экономически эффективных датчиков Интернета вещей, позволяет интегрировать их и управлять ими в то, что теперь известно как виртуальная электростанция (ВЭС).

Концепция виртуальных электростанций была введена более 20 лет назад, но до сих пор активно исследуется. Данная статья основана на системном подходе к формированию концептуальных элементов ВЭС.

Цифровизация и цифровая энергетика

Мир переходит от традиционной односторонней модели распределения электроэнергии к новой двусторонней модели распределения электроэнергии с миллионами потенциальных контрольных точек, которые можно контролировать и управлять. Широкомасштабное внедрение технологии Интернета вещей, которая обеспечит управление миллионами устройств и источников информации и их подключение, станет центральным элементом революции в области цифровой энергетики [4].

В термины «цифровая энергетика», «цифровизация» вложено свое уникальное смысловое наполнение. Во-первых, эти термины появились в контексте формирования цифровой экономики, и стоит рассматривать их только с применением системного подхода. Согласно

многим определениям цифровой экономики, ее конкретным предметом является экономическая деятельность, коммерческие операции и профессиональные взаимодействия, построенные на новых принципах с использованием информационных и коммуникационных технологий. Следовательно, сущность цифровой энергетики заключается в изменении и развитии всех производственных и экономических отношений в энергетике на основе цифровых подходов и мер. Во-вторых, стоит рассмотреть главную задачу цифровой энергетики - снизить растущие затраты на интеграцию распределенной энергии и рыночных транзакций [5, с.11].

Цифровизация – это системный подход к использованию цифровых ресурсов для повышения производительности труда, конкурентоспособности и получения реального экономического эффекта [6, с.30]. Эти результаты достигаются за счет создания цифровой платформы – среды, в которой они взаимодействуют, а не за счет копирования автоматизированных систем, дающих положительный эффект.

Главной особенностью цифровой энергетики заключается в том, что регулирование энергопотребления в нагрузке для обеспечения баланса мощности осуществляется не путем изменения частоты переменного тока, а путем цифрового управления нагрузкой [7].

Другая особенность цифровой энергетики – это возможность реализовать полностью децентрализованную систему управления. Следует отметить, что при необходимости цифровую энергию можно контролировать централизованно. Но реализовать полностью децентрализованное управление может быть реализовано только на основе цифровых технологий [7].

Определение виртуальных электростанций

Мелкие производители электроэнергии не могут строить отдельные сети для снабжения потребителей электроэнергией, поэтому они поставляют избыточную электроэнергию в энергосистему своей страны или своего региона. С другой стороны, большинство потребителей также подключены к этой сети, которая имеет естественную монополию на рынке. Обеспечить конкуренцию и возможность выбора для потребителя и позволяет виртуальная электростанция.

Виртуальная электростанция – управление множеством распределенных генераторов, подключенных к одной сети [8, с.16].

Виртуальная электростанция – высокотехнологичная система, которая агрегирует электроэнергию сразу от нескольких

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 9.035
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

производителей и /или потребителей [9]. Можно сказать, что ВЭС фактически управляет поведением как производителей, так и потребителей. В этом случае производителями могут быть объекты распределенной генерации, солнечные коллекторы, биогазовые станции, ветровые станции, когенерационные установки, малые гидроустановки и т.п. Потребителями могут быть потребители электроэнергии, владеющие холодильными установками, системами кондиционирования, теплицами, дренажными насосами, дробильными установками, прокатными станами, электролизерами и многим другим.

Виртуальная электростанция – система, обеспечивающая интеграцию объектов распределенной генерации, потребителей с управляемой нагрузкой и накопителей электроэнергии для их совместного участия в рынках электроэнергии, оказания системных услуг и взаимного резервирования [10, с.130].

Виртуальная электростанция – информационная система, в которой в режиме реального (или почти реального) времени циркулируют сведения о доступной генерации и/или спросе на подключенной территории, настоящем и прогнозируемом, возможностях разгрузки/гибкой мощности потребителей, желаемом графике нагрузки системы [11]. Такая система обеспечивает гибкость использования генерации или доступной мощности потребителя, автоматически определяя наиболее эффективный источник в данный момент времени, принимая во внимание различные факторы.

Виртуальная электростанция – это совокупность диспетчерской и недиспетчерской распределенной генерации, элементов хранения энергии и управляемых нагрузок, сопровождаемых информационно-коммуникационными технологиями, чтобы сформировать единую воображаемую электростанцию, которая планирует, контролирует работу и координирует потоки энергии между ее компонентами, чтобы минимизировать затраты на генерацию, минимизировать производство парниковых газов, максимизировать прибыль и расширить торговлю на рынке электроэнергии [12].

Виртуальные электростанции – программно-аппаратные комплексы, которые позволяют управлять огромным количеством разрозненных установок генерации энергии, будто это одна электростанция [13]. Программное обеспечение, созданное с помощью технологии машинного обучения, распределяет электроэнергию среди потребителей, а также резервирует излишки, используя их для компенсации суточных спадов. И особенно важны встроенные в код самообучающиеся элементы

искусственного интеллекта, которые учатся предсказывать спады производства и пики потребления, оптимизируя движение энергии в системе.

На бытовом уровне электростанция воспринимается как некоторое предприятие, вырабатывающее электричество [7]. Однако с точки зрения электроэнергетики, электростанция – это только средство, с помощью которого обеспечивается баланс мощности в энергосистеме. Наиболее распространенным случаем поддержания такого равновесия является генерация с контролируруемыми параметрами, как в случае с обычной электростанцией. Однако баланса можно еще достичь, контролируя энергопотребление. Благодаря цифровой энергии могут быть созданы виртуальные электростанции, которые не производят электричество, а только контролируют потребление энергии.

Такая электростанция, например, действует в Финляндии. Компания Fortum Corporation объединила в нее 70 частных домохозяйств, в которых горячая вода и тепло обеспечиваются электрическими котлами. Когда в энергосистеме наблюдается дефицит мощности, температура воды в котлах немного уменьшается, но при этом не падает ниже установленных национальных стандартов [7].

Модели функционирования ВЭС

Формально модели функционирования ВЭС можно разделить на следующие:

1. Модель агрегатора: на рынке создается независимая энергосервисная организация (Агрегатор), которая является оператором ВЭС. Агрегатор активно подключает потребителей к своей ВЭС, при этом участникам выплачивается вознаграждение за участие в так называемых программах «Управления Потреблением», которое зависит от условий Системного оператора конкретного рынка [9].

2. Традиционная модель/модель энергосбытовой компании: компания, работающая на энергетическом рынке, создает сеть, контролирующую различные объекты распределенной генерации и гибкой мощности своих потребителей [9].

3. Клиентоориентированная модель: потребители устанавливают на своей базе технологию ВЭС для обеспечения своих нужд. В этом случае ВЭС используется для контроля собственного потребления [9]. Например, крупные супермаркеты, такие как Wal-Mart в Америке, используют аналогичные системы для мониторинга потребления электроэнергии различными объектами в магазинах по всей стране: холодильники, кондиционеры, освещение и т.п. Когда система обнаруживает, что какое-либо устройство потребляет слишком много

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 9.035
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

энергии, она подает сигнал менеджеру данного магазина об устройстве.

В действительности, в мире не существует «правильной» модели функционирования ВЭС, т. к. это напрямую зависит от существующего энергетического рынка и его развития, а также от того, кто инициирует внедрение ВЭС в систему и какие задачи он пытается решить. Оператором ВЭС может быть сетевая компания, системный оператор, сбытовая компания или группа сбытовых компаний, потребитель или группа потребителей.

Системный подход к разработке ВЭС

Ускоренный переход к будущему в области возобновляемых источников энергии требует целостного, общесистемного подхода, включая меры по повышению энергоэффективности для сокращения общего спроса на энергию. Возобновляемые источники энергии должны использоваться для удовлетворения энергетических потребностей всех секторов. Это означает, что поставщики возобновляемой энергии должны лучше понимать мышление, проблемы и возможности в каждом секторе конечного потребления. Важное значение имеет также местное участие всех заинтересованных сторон и местной собственности.

Системный подход заключается, прежде всего, в осознании, что подлежащий исследованию объект является системой – составным объектом, свойства которого не сводятся к сумме свойств его частей [1, с.189].

Системный подход в энергетике характеризуется комплексностью исследований, т.е. всесторонним рассмотрением изучаемой системы и проблемы с учетом ее внешних или внутренних взаимосвязей, разнообразных ограничений и последствий принимаемых решений [2, с.581].

Системный подход к энергетике нужен, чтобы предусматривалось:

- взаимодействие секторов электроэнергетики, отопления, охлаждения и транспорта;
- связь возобновляемой энергетики с энергоэффективностью;
- согласование национальной, региональной и муниципальной политики политическую волю и

рациональное управление, которые должны быть на первом плане прекращения субсидий на ископаемые топлива и атомную энергетику, введения углеродного ценообразования, и обеспечения одинаковых условий [14, с.9].

Базируясь на принципах аналогии энергетических систем, системный подход позволяет приводить все децентрализованные системы, независимо от вида используемых в них энергоносителей, к универсальной структуре, описываемой в общем случае одинаковой системой уравнений [15, с.1].

Чрезвычайно важно, чтобы исследовательская деятельность и практика, касающаяся проектирования виртуальных электростанций, учитывали все киберфизические взаимодействия системы и, таким образом, опирались на широкое применение системного подхода, способного рассматривать вопросы мониторинга, управления, контроля, связи, безопасности и разработки в целом для достижения лучшей организации и оптимизации [16, с.3].

Системный подход к оценке технологий обеспечивается за счет выделения в общем массиве технологий [17, с.6]:

- основной технологии, обеспечивающей главный рабочий процесс, непосредственное получение искомого результата (продукции);
- вспомогательных технологий (или оборудования), обеспечивающих нормальные условия для полноценной, заданной технической и эксплуатационной документацией, реализации основной технологии;
- дополнительных технологий, расширяющих возможности основной технологии, в том числе в том, что касается повышения качества продукции, снижения затрат энергии и ресурсов, удовлетворения экологических требований и т.д.

Структура ВЭС

ВЭС, как структура информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), может быть развернута как автономная или облачная установка.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 1.582	РИИЦ (Russia) = 3.939	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 9.035	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

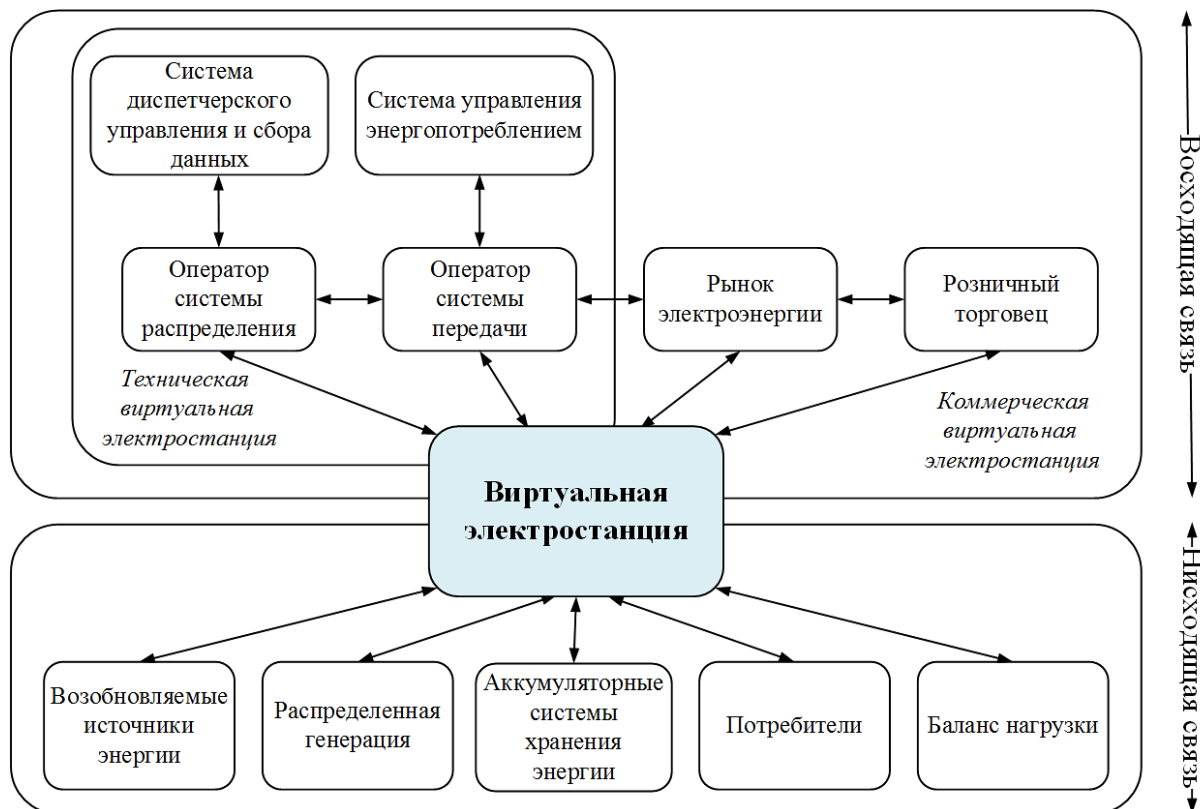


Рисунок 1 – Структура виртуальных электростанций

Коммуникационная система внутри ВЭС имеет иерархическую структуру и использует надежные и безопасные коммуникации, обеспечивающие надежность, производительность и безопасность. Использование инфраструктуры на основе TCP/IP (сетевая модель передачи данных, представленных в цифровом виде. Модель описывает способ передачи данных от источника информации к получателю) является одной из заметных тенденций в области интеллектуальных сетей. Обмен многочисленными оперативными и неоперативными данными между различными уровнями энергосистемы в конкретные временные рамки и разработка новых концепций, основанных на ИКТ, требуют расширения существующих и разработки новых коммуникационных протоколов на основе TCP/IP [18, с.232].

В нисходящем направлении ВЭС взаимодействует с многочисленными блоками, что позволяет своевременно реагировать распределенным энергетическим ресурсам для обеспечения необходимой мощности вспомогательных служб. ВЭС как независимая организация также взаимодействует в восходящем направлении, к розничным торговцам электроэнергией, агрегаторам, операторам систем передачи и распределения и рынку

электроэнергии, интегрируя ВЭС в работу сети энергосистемы.

ВЭС может быть коммерческой или технической. Коммерческая ВЭС облегчает торговлю распределенным энергетическим ресурсам в качестве гибкого ресурса на различных энергетических рынках – например, предлагая предложения на рынках вспомогательных услуг, – в то время как технические ВЭС объединяют распределенные энергетические ресурсы из одного и того же географического района для технических целей, сосредоточив внимание на решении локальных ограничений сети [18, с.232-233]. Поскольку техническая ВЭС влияет на состояние сети, она взаимодействует с системой диспетчерского управления и сбора данных (SCADA) и системой управления энергопотреблением (EMS) DSO для получения рабочих параметров и данных (поток мощности, уровни напряжения, состояние сети, измерения и т. д.).

В случае коммерческой ВЭС агрегатор или розничный торговец предлагает гибкие мощности на рынке электроэнергии. Однако техническая ВЭС, как правило, служит оператору распределительной системы для управления локальной системой. Используя возможности технической ВЭС, оператор распределительной системы может включить активное управление распределительной сетью в число своих функций.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 9.035
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

Перспективы развития ВЭС

В связи с тем, что потребление энергии становится все более сложной задачей в мире, который становится все более электрическим, ВЭС имеет потенциал стать идеальным прототипом городской генерации электроэнергии. Предоставляя властям возможность решать сложные экологические задачи, потребителям экономить и зарабатывать деньги, а также обеспечивая более быстрый переход на более чистые источники энергии, которые могут расширить возможности местных сообществ, можно с уверенностью сказать, что в цифровую эпоху ВЭС будут играть важную роль.

Созданные в основном из возобновляемых источников энергии ВЭС действительно отражают современную гонку за более чистыми источниками энергии, делая их широкое внедрение более возможным, чем когда-либо. Относительно новая концепция, не случайно появление ВЭС совпало с доступностью и сложностью современных облачных платформ.

До создания ВЭС острым вопросом для отрасли был вопрос о том, как лучше всего использовать возобновляемые источники энергии и поддерживать существующую сетевую инфраструктуру. Однако, связав все в единую сеть, операторы теперь имеют возможность внимательно отслеживать, анализировать, прогнозировать и планировать потребление таким образом, чтобы свести к минимуму избыточное производство и тщательно удовлетворять потребности в энергии. Данные, используемые операторами, могут включать информацию о погоде, мониторинг состояния оборудования, угол

наклона фотоэлектрических модулей и многое другое. В сочетании с батарейными накопителями энергетические узкие места - где избыток энергии создает неиспользуемую отработанную энергию - могут быть рассеяны, а избыток используется в часы пик для поддержания стабильного обслуживания [19, с.26].

Поскольку облачные и другие технологии, связанные с ВЭС (анализ данных, интернет вещей, сети 5G и т.д.) продолжают совершенствоваться, вполне вероятно, что рыночный спрос будет следовать за ними. Оцениваемая в 1,3 млрд долларов США в 2019 году, эта цифра, по оценкам, вырастет на 354% до 5,9 млрд долларов к 2027 году, согласно исследованию рынка Allied [19, с.29]. Поэтому можно с уверенностью предположить, что самые захватывающие итерации ВЭС еще впереди.

Заключение

Внедрение виртуальных электростанций приведет к улучшению сетевой инфраструктуры и модернизации процессов, что облегчит подключение распределенных источников электроэнергии к основной сети. Использование виртуальных электростанций также будет способствовать созданию систем производства экологически чистой электрической энергии, состоящих из больших и малых систем, объединяющих возобновляемые источники энергии.

В свою очередь без всестороннего рассмотрения виртуальных электростанций невозможно создать единую стабильно работающую систему.

References:

1. Bobnis, A.Ch. (2021). *A look at energy from the perspective of a systematic approach*. (Date of access: 29.05.2021). Retrieved from <https://ftf.grsu.by/files/News/FKS/2021/Section-3-FKS-2021.pdf>
2. Vauchok, V.A., & Bobnis, A.Ch. (2020). *Brief elements of a systematic approach in the energy sector*. (p.809). Kiev, Ukraine, Open Science Laboratory.
3. (2020). *National Strategy for Sustainable Development of the Republic of Belarus for the period up to 2035: Minutes of the meeting of the Presidium of the Council of Ministers of the Republic of Belarus. № 3 dated February 4, 2020*. (Date of access: 17.05.21). Retrieved from https://www.economy.gov.by/uploads/files/Nat_sionalnaja-strategija-ustojchivogo-razvitiya-Respubliki-Belarus-na-period-do-2035-goda.pdf
4. (2020). *Cleaner, cheaper, more efficient: future of energy*. (Date of access: 24.04.21). Retrieved from <https://www.miragenews.com/cleaner-cheaper-more-efficient-future-of-energy/>
5. Kholkin, D. V. & Chausov, I. S. (2018). *Digital transition in the Russian energy sector: in search of meaning*. (Date of access: 18.05.21). Retrieved from <https://energypolicy.ru/wp-content/uploads/2020/02/05-2018.pdf>
6. (2019). *Digital energy: a new paradigm of functioning and development*. (p.300). Moscow. Publishing House of MEI.

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 9.035
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

7. (2018). *Digital energy and virtual power plants*. (Date of access: 23.04.21). Retrieved from <https://www.elec.ru/articles/cifrovaya-energetika-i-virtualnye-elektrostancii/>
8. Setiawan, E.A. (2007). *Concept and Controllability of Virtual Power Plant*. (Date of access: 21.04.2021). Retrieved from <http://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-309-0.volltext.frei.pdf>
9. (2014). *Virtual Power Plant - Smart Control of Distribution Generation*. (Date of access: 23.02.21). Retrieved from <https://www.eprussia.ru/epr/244/15964.htm>
10. (2016). *The action plan ("road map") of "Energinet" of the National Technological Initiative*. (Date of access: 21.09.21). Retrieved from https://nti2035.ru/markets/docs/DK_energynet.pdf
11. (2018). *Virtual power plants and real kilowatts*. (Date of access: 09.03.21). Retrieved from https://atomicexpert.com/virtual_power_station
12. (2019). *Digital Twin: The Virtual Power Plant*. (Date of access: 24.04.21). Retrieved from <https://www.linkedin.com/pulse/digital-twin-virtual-power-plant-emilio-de-jes%C3%BA-grull%C3%B3n/>
13. (2019). *Virtual power plants. Is it possible to manage the sources of "green" energy?* (Date of access: 23.02.21). Retrieved from <https://habr.com/ru/company/toshibarus/blog/451950/>
14. (2019). *Promoting the global transition to renewable energy*. (Date of access: 03.05.21). Retrieved from https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2018_Highlights-Russian.pdf
15. Shishkin, N. D. (2009). *A systematic approach to the analysis of energy complexes with renewable energy sources*. (Date of access: 29.04.2021). Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemnyy-podhod-k-analizu-energokompleksov-s-vozobnovlyaemyimi-istochnikami-energii/viewer>
16. Ghiani, E. (2018). *A Multidisciplinary Approach for the Development of Smart Distribution Networks*. (Date of access: 07.04.2021). Retrieved from https://www.researchgate.net/figure/Schematization-of-a-virtual-power-plant_fig1_327802865
17. (2016). *Protocol of scientific and technical development of the branches of the fuel and energy complex of Russia for the period up to 2035, dated October 14, 2016*. (Date of access: 17.05.21). Retrieved from <http://rosenergo-import.ru/uploads/documents/knowledge/4e310fae783fd2198540617088808d85.pdf>
18. Zajc, M., & Kolenc, M., & Suljanovi, N. (2019). *Smart Power Distribution Systems. Control, Communication, and Optimization*. (pp. 231-250). (Date of access: 07.04.21). Retrieved from https://www.researchgate.net/figure/Virtual-power-plant-VPP-concept_fig1_322738301
19. (2020). *Digitalisation of the energy sector*. (Date of access: 27.04.21). Retrieved from <https://energydigital.com/magazine/energy-digital-october-2020>