

<https://doi.org/10.21122/1029-7448-2023-66-2-169-185>

УДК 338.28

Анализ энергетического комплекса стран – участниц ЕАЭС и формирование групп-технологий его цифровизации

М. И. Русецкая¹⁾, Т. Ф. Манцерава²⁾, Е. П. Корсак²⁾

¹⁾ОАО «Белгорхимпром» (Минск, Республика Беларусь),

²⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2023
Belarusian National Technical University, 2023

Реферат. В связи с нарастающей интернационализацией стран – участниц Евразийского экономического союза (ЕАЭС) предполагается создание общего рынка энергоресурсов и электроэнергетического рынка. Для обеспечения надежного функционирования энергосистем отдельных государств союза и их общего энергорынка необходимо повышать энергоэффективность и снижать издержки на каждом этапе производства, передачи, распределения и сбыта электроэнергии с помощью оптимизации процессов в отрасли посредством внедрения цифровых технологий. Цель данной работы – проанализировать электроэнергетические комплексы стран-участниц, рассмотреть групп-технологии цифровизации данной отрасли, сформировать алгоритм их классификации и на его основе создать саму классификацию. В статье дан обзор в динамике основных экономических показателей стран союза и основных показателей их электроэнергетических отраслей, исследованы структура производства электроэнергии, топливно-энергетический баланс, средние цены на электроэнергию, общее потребление электроэнергии по секторам. Проанализирован импортно-экспортный потенциал, а также уровень потерь электроэнергии в сетях. Произведена интерпретация цифровых технологий электроэнергетического комплекса в разрезе существующих групп-технологий цифровизации, выделены компоненты взаимосвязи цифровых технологий, разработана их классификация по стадиям производства. Выдвинуты рекомендации по дальнейшему использованию классификации для формирования индикативной системы оценки уровня цифровизации электроэнергетического комплекса. Сделан вывод о том, что цифровизация электроэнергетической системы с технической стороны повышает энергобезопасность государства и конкурентоспособность энергосистемы на мировом рынке, а с экономической – способствует снижению затрат на всех этапах технологического цикла.

Ключевые слова: установленная мощность, выработка, структура производства, потребление, потери, единый рынок электроэнергии, единый рынок энергоресурсов, цифровизация, технологический цикл, интернет вещей, искусственный интеллект, система распределенного реестра, виртуальная и дополненная реальность, поддерживающие функции и технологии

Для цитирования: Русецкая, М. И. Анализ энергетического комплекса стран – участниц ЕАЭС и формирование групп-технологий его цифровизации / М. И. Русецкая, Т. Ф. Манцерава, Е. П. Корсак // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2023. Т. 66, № 2. С. 169–185. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2023-66-2-169-185>

Адрес для переписки

Русецкая Мария Игоревна
ОАО «Белгорхимпром»
просп. Машерова, 17,
220029, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 29 373-74-37
marirusetskaya03@gmail.com

Address for correspondence

Rusetskaya Maria I.
JSC “Belgorkhimprom”
17, Masherova Ave.,
220029, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 29 373-74-37
marirusetskaya03@gmail.com

Analysis of the Energy Complex Member of the EAEU Countries and the Formation of Groups-Technologies of its Digitalization

M. I. Rusetskaya¹⁾, T. F. Mancerova²⁾, E. P. Korsak²⁾

¹⁾JSC “Belgorkhimprom” (Minsk, Republic of Belarus),

²⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. Due to the increasing internationalization of the member countries of the Eurasian Economic Union (EAEU), it is planned to create a common energy market and an electric energy market. To ensure the reliable functioning of the energy systems of individual states of the Union and their common energy market, it is necessary to increase energy efficiency and reduce costs at each stage of production, transmission, distribution and sale of electricity by optimizing processes in the industry through the introduction of digital technologies. The purpose of this work is to analyze the electric power complexes of the EAEU member states and to consider groups of digitalization technologies of industries in the context of the electric power industry, to form an algorithm for creating a classification of digitalization technologies of the electric power industry and on the basis of the latter to create the classification itself. The article provides an overview of the dynamics of the main economic indicators of the Union countries and the main indicators of their electric power industries, examines the structure of electricity production, energy portfolio, average electricity prices, total electricity consumption by sector. The import-export potential and the level of electricity losses in the networks have been analyzed. The interpretation of digital technologies of the electric power complex in the context of existing groups-digitalization technologies was made, the components of the interconnection of digital technologies were identified; the classification of the above components by production stages has been developed. Recommendations on the further use of the classification for the formation of an indicative system for assessing the level of digitalization of the electric power complex are put forward. It is concluded that digitalization of the electric power system on the technical side increases the energy security of the state and the competitiveness of the energy system on the world market, and on the economic side it helps to reduce costs at all stages of the entire technological cycle.

Keywords: installed capacity, generation, production structure, consumption, losses, united electricity market, united energy market, digitalization, technological cycle, Internet of things, artificial intelligence, distributed registry system, virtual and augmented reality, supporting functions and technologies

For citation: Rusetskaya M. I., Mancerova T. F., Korsak E. P. (2023) Analysis of the Energy Complex Member of the EAEU Countries and the Formation of Groups-Technologies of its Digitalization. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 66 (2), 169–185. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2023-66-2-169-185>

Введение

Интеграционное объединение соседних стран позволяет выйти на глобальные рынки сбыта, обеспечить бесперебойность поставок товаров и снижение издержек на всех этапах производства. Сотрудничество Республики Армения, Республики Беларусь, Республики Казахстан, Кыргызской Республики и Российской Федерации в рамках Евразийского экономического союза (ЕАЭС) обусловлено территориальными и историческими факторами, а также схожим уровнем социально-экономического развития (табл. 1) [1–6].

Таблица 1

Основные социально-экономические показатели**The main socio-economic indicators**

Показатель	Армения	Беларусь	Казахстан	Кыргызстан	Россия
Площадь, тыс. км ²	30	208	2700	300	17125
Численность населения, млн чел.	2,963	9,393	18,750	6,592	144,100
Валовой внутренний продукт на душу населения, дол.	4267,45	6411,23	9055,75	1173,61	10126,72
Индекс человеческого развития	0,776	0,823	0,825	0,697	0,824
Уровень безработицы, %	14,8	3,9	4,9	2,9	3,9

Во всех анализируемых государствах в постсоветское время изменились организационная и технологическая составляющие электроэнергетической отрасли. Ввиду отсутствия общих стандартов и центров координации были сформированы свои модели управления электроэнергетической отраслью (табл. 2). Энергосистемы стран – участниц ЕАЭС, за исключением Кыргызстана, на данный момент являются избыточными. При этом в Беларуси ведется строительство первой АЭС, а в Армении к 2026 г. ожидается вывод из эксплуатации второго блока АЭС, что приведет к дефицитности энергосистемы.

Таблица 2

Основные показатели электроэнергетической отрасли (2021 г.)**Key indicators of the electric power industry (2021)**

Показатель	Армения	Беларусь	Казахстан	Кыргызстан	Россия	ЕАЭС
Установленная мощность	3,4	10,1	22,9	3,9	252,03	292,3
Выработка, млрд кВт·ч	7,6	40,3	106,03	14,9	1096,5	1265,3
Потребление, млрд кВт·ч	6,6	37,9	105,2	14,9	1075,2	1239,8

Основная часть

Анализ структуры производства электроэнергии (рис. 1) показывает следующее. В Армении оно достаточно диверсифицировано: на теплоэлектростанциях (ТЭС), работающих на газу, вырабатывается 40,26 % электроэнергии, АЭС – 36,36 %, гидроэлектростанциях (ГЭС выше 25 МВт) – 11,69 %, солнечных (СЭВ), ветряных (ВЭС) электростанциях и ГЭС до 25 МВт – 11,69 %. В Беларуси практически вся электроэнергия производится на ТЭС (97,17 % на 01.01.2020), работающих на газу. В январе 2021 г. первый блок БелАЭС выведен на номинальный уровень мощности, ведется строительство второго энергоблока. В Казахстане производство электроэнергии осуществляется в основном на ТЭС (83,78 %), работающих на угле, а также на ГЭС (11,59 %). В Кыргызстане высоким потенциалом обладают водные ресурсы, в связи с этим основное производство электроэнергии осуществляется на ГЭС (81,03 %), ТЭС принадлежит около 19 %. В Российской Федерации преобладающая доля производства электроэнергии принадлежит ТЭС (59,27 %), АЭС (20,60 %) и ГЭС (19,81 %), наименьший процент производства приходится на СЭС (3,44 %) и ВЭС (0,13 %).

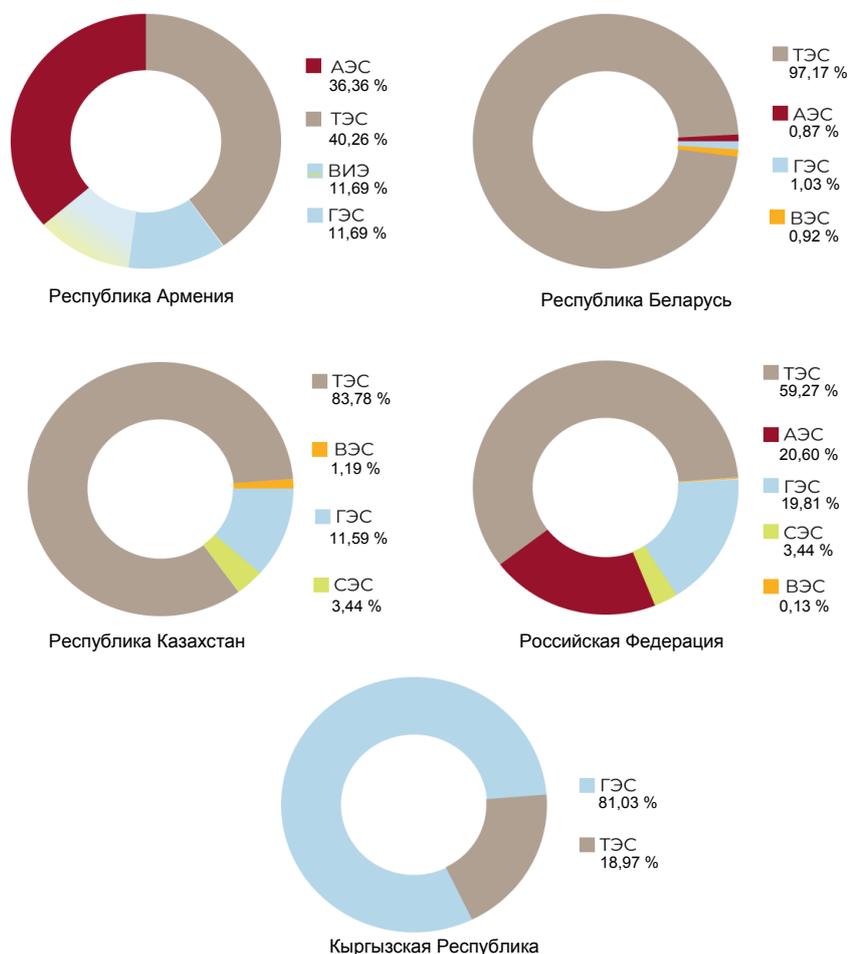


Рис. 1. Структура производства электроэнергии

Fig. 1. The structure of electricity production

Себестоимость электроэнергии определяют используемые топливно-энергетические ресурсы (ТЭР) (рис. 2).

В Армении, Беларуси и России преобладает доля природного газа в производстве электроэнергии. В России, имеющей значительные запасы газа, данный фактор не оказывает существенного влияния на формирование стоимости электроэнергии; в свою очередь для Беларуси и Армении, зависящих от импортного российского газа, стоимость этого ресурса играет важную роль. В Армении не ведется добыча нефти и газа, есть залежи каменного угля (однако этот ресурс является низкокачественным и может использоваться только в местных целях) и месторождения торфа. В Беларуси порядка 90 месторождений нефти, из них 2 нефтегазоконденсатных, 65 эксплуатируются, 18 законсервированы, 7 в стадии разведки, но данные месторождения покрывают только местные нужды и не могут быть использованы в промышленных масштабах.

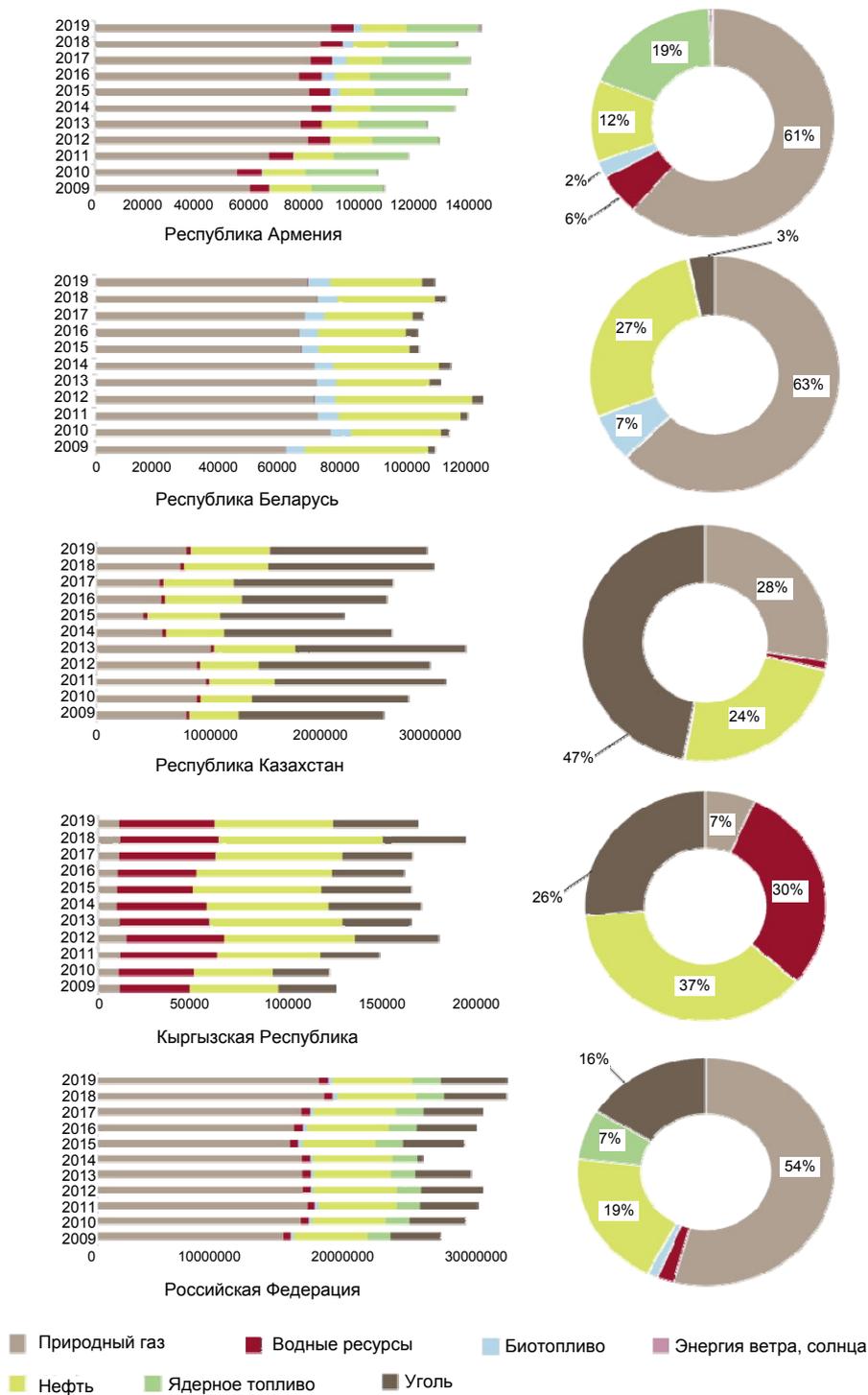


Рис. 2. Топливо-энергетический баланс, ТДж

Fig. 2. Energy portfolio, TJ

В Казахстане наблюдается меньшая зависимость от газа, его заменителем выступает добываемый в стране уголь. В Кыргызстане доля используемого природного газа наименьшая, так как имеются значительные балансовые запасы угля (1,3 млрд т) и широко применяются водные ресурсы. В целом Кыргызстан слабо обеспечен топливно-энергетическими полезными ископаемыми: запасы нефти составляют 13 млн т (ежегодная добыча 0,3 млн т), природного газа 6,5 млрд м³ (добыча 0,4 млн м³).

Россия занимает первое место в мире по запасам газа (32 % мировых запасов, 30 % мировой добычи); второе – по уровню добычи нефти (10 %); третье – по запасам угля (22 угольных бассейна, 115 месторождений, в том числе в Европейской части около 15,6 %, в Сибири 66,8 %, на Дальнем Востоке 12,9 %, на Урале 4,3 %). Таким образом, это основной экспортер ТЭР для стран – участниц ЕАЭС.

Стоимость электроэнергии определяется степенью зависимости от импорта ТЭР, наличием собственных ТЭР и уровнем развития возобновляемой энергетики (рис. 3).

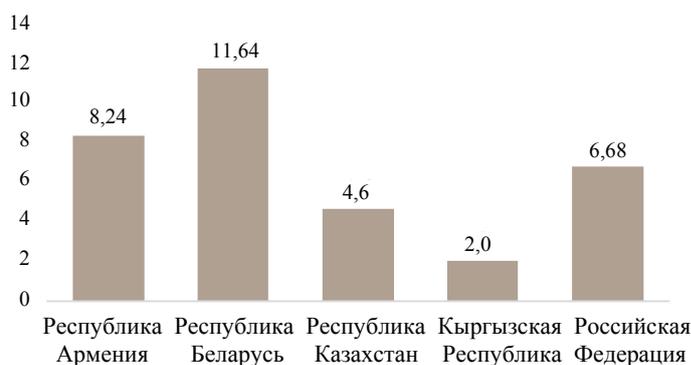


Рис. 3. Средние цены (тарифы) на электроэнергию по всем категориям потребителей, цент/(кВт·ч)

Fig. 3. Average prices (tariffs) for electricity for all categories of consumers, cent/(kW·h)

Проанализируем уровень потребления электроэнергии по секторам (рис. 4).

В Армении жилищный сектор и промышленность потребляют 33 и 27 % соответственно, коммерческие и государственные услуги 4 %, сельское и лесное хозяйство – 2 %.

В Беларуси основная доля потребления принадлежит промышленности – 43 %, что связано с энергоемкостью развитой обрабатывающей промышленности в стране; 27 % приходится на коммерческие и государственные услуги, 21 % занимает жилищный сектор.

В Казахстане промышленность потребляет 61 % электроэнергии (это самый высокий показатель среди исследуемых стран), жилищный сектор – 22 %, коммерческие и государственные услуги – 11 %.

В Кыргызстане основная часть потребляемой электроэнергии приходится на жилищный сектор – 71 %, 18 % принадлежит промышленности, 9 % – коммерческим и государственным услугам, 1 % приходится на сельское и лесное хозяйство.

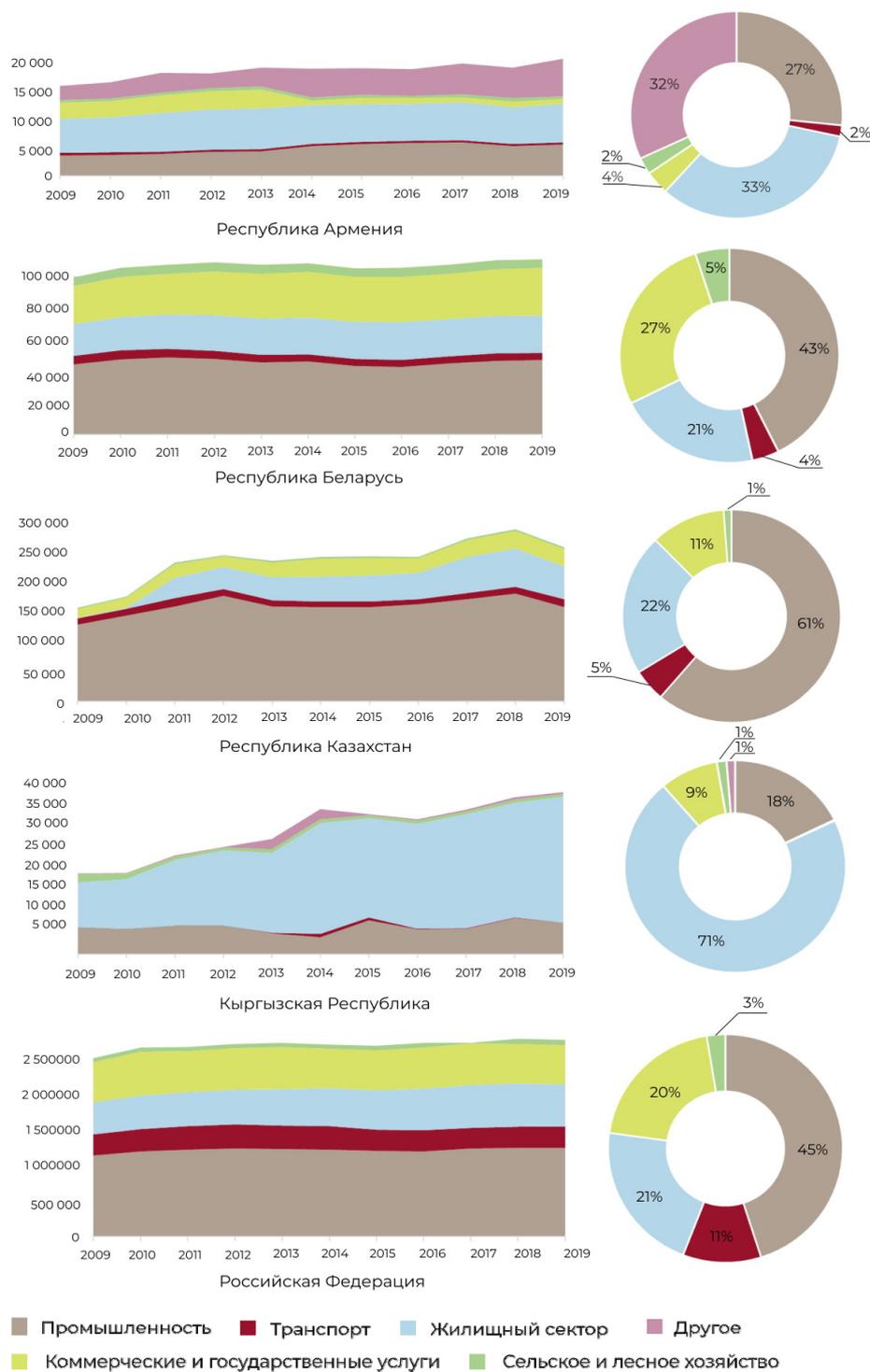


Рис. 4. Общее (конечное) потребление электроэнергии по секторам, ТДж

Fig. 4. Total (final) electricity consumption by sector, TJ

В России 45 % потребления электроэнергии принадлежит промышленному сектору, 21 % – жилищному, 20 % – коммерческим и государственным услугам.

В целом по ЕАЭС наблюдается рост потребления электроэнергии, что обусловлено увеличением доли промышленности и численности населения.

Наличие межсистемных линий электропередачи позволяет осуществлять межгосударственные перетоки электроэнергии из энергоизбыточного региона в энергодефицитный, причем не только между странами – участницами ЕАЭС, но и их соседями. Стоит отметить, что экспорт и импорт электроэнергии в Казахстане, Кыргызстане и России не превышает 1 %, в Беларуси импорт достигает 10 % от общей потребляемой электроэнергии, а в Армении экспорт составляет 10 % от выработанной электроэнергии (рис. 5).

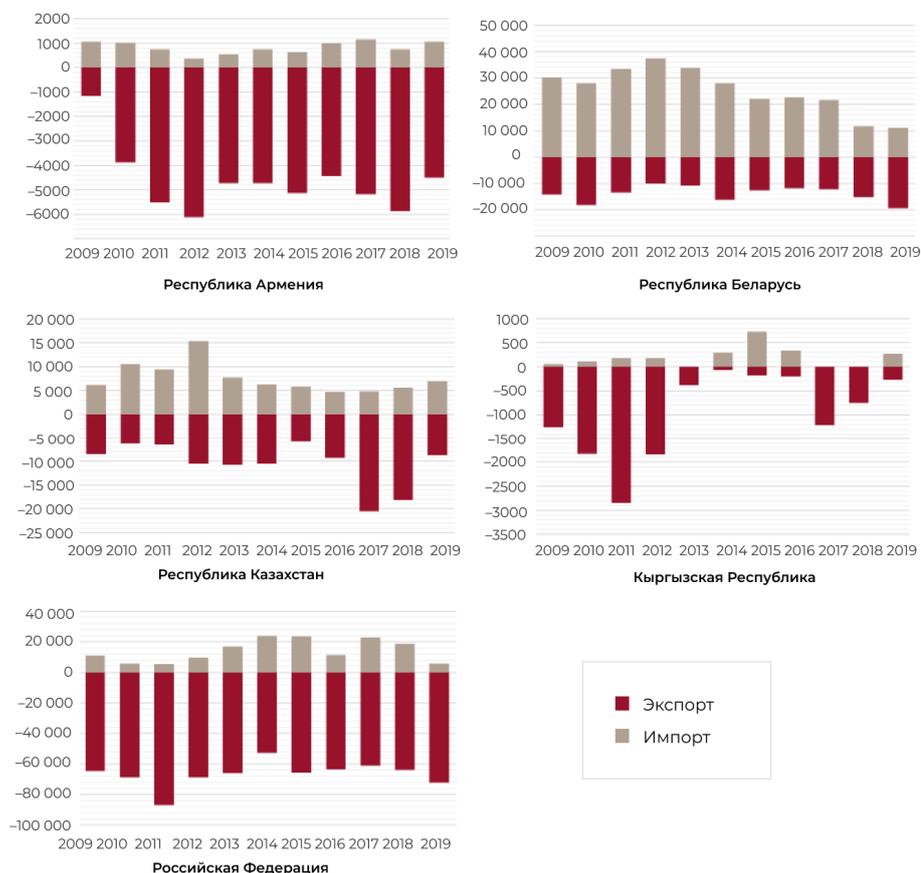


Рис. 5. Анализ экспортного и импортного потенциалов

Fig. 5. Analysis of the export and import potential

Передача электроэнергии возможна лишь в условиях синхронизации энергосистем и повышения надежности электрических сетей (рис. 6).



Рис. 6. Потери электроэнергии в сетях, %
 Fig. 6. Electricity losses in the networks, %

В целом положительная тенденция снижения уровня потерь электроэнергии наблюдается во всех исследуемых государствах, за исключением Казахстана (рис. 6). Самый низкий уровень потерь зафиксирован в Беларуси (7,09 %). В Армении он составил 7,46 %, Казахстане – 9,65, России – 9,42 %. Самый высокий уровень потерь в сетях – в Кыргызстане (16,81 %).

В связи с нарастающей интернационализацией стран – участниц ЕАЭС в электроэнергетической сфере, обусловленной принятием в 2015 г. Концепции формирования общего электроэнергетического рынка Союза, предполагается создание общего рынка энергоресурсов и общего электроэнергетического рынка. Данное объединение позволит повысить эффективность использования существующих генерирующих мощностей путем уравнивания дефицитных и профицитных энергосистем, наладить торговлю электроэнергией и энергоносителями как внутри ЕАЭС, так и с соседями, а также повысить экономическую эффективность, надежность и безопасность электроэнергетического комплекса. Для обеспечения надежного функционирования энергосистем отдельных стран-участниц и общего энергорынка необходимо повышать энергоэффективность и снижать издержки на каждом этапе производства, передачи, распределения и сбыта электроэнергии с помощью оптимизации процессов в отрасли [7].

Ключом к интеграции рынков электроэнергии стран – участниц ЕАЭС является цифровизация электроэнергетической отрасли. Ее цель – повышение эффективности и безопасности топливно-энергетического комплекса посредством внедрения цифровых технологий в процесс производства, передачи, распределения и сбыта электроэнергии, а также адаптация новых бизнес-процессов в отрасли [8–10].

Задачи цифровизации: сокращение затрат с помощью автоматизации повторяющихся рутинных действий; повышение качества обслуживания;

снижение травматизма на предприятиях и трудозатрат на всем цикле жизнедеятельности отрасли; повышение гибкости электроэнергетического комплекса путем интеграции возобновляемых источников электроэнергии с дальнейшим упрощением регулирования суточного графика нагрузки.

Выделяют следующие группы цифровых технологий: интернет вещей, искусственный интеллект, системы распределенного реестра, квантовые технологии, новые производственные технологии, робототехника и сенсорика, технология виртуальной и дополненной реальности (рис. 7).

Интернет вещей представляет собой систему взаимодействия объектов (оборудования в цифровом и натуральном выражении и человека) с возможностью передачи данных по сети без необходимости связи человек – человек. В электроэнергетическом комплексе данная технология позволяет перейти от централизованной системы к распределенной.

Искусственный интеллект – это имитация человеческого мышления (поведения) с дальнейшим выполнением конкретных поставленных задач. Используется для оптимизации энергосетей путем управления потоками поставки электроэнергии во всем цикле.

Система распределенного реестра, в отличие от привычного централизованного хранения данных, позволяет применять независимые компьютеры для записи данных, общего их использования и синхронизации сделок в соответствующих электронных реестрах. Примером реализации распределенного реестра является блокчейн [11]. Для электроэнергетического комплекса можно выделить следующие технологии в рамках данной группы: цифровые платежи; сертификацию энергетических продуктов, внедрение возобновляемых источников энергии, развитие микросетей, образование единой платформы жилищно-коммунального хозяйства, оптовую торговлю электроэнергией, использование смарт-контрактов для взаимодействия с потребителем, систему векторных измерений.

Среди квантовых технологий выделяют квантовые вычисления и квантовые коммуникации. Последние обеспечивают более быструю и безопасную передачу данных, а квантовые вычисления позволяют упростить принятие стратегически важных решений в будущем, таких как строительство дополнительных блоков станций, формирование суточной нагрузки и т. д.

Новые производственные технологии – это производство элементов оборудования без физического присутствия человека при непосредственном их создании (машина создает машину). Такие технологии значительно снижают уровень брака на производстве и трудозатраты.

Робототехника и сенсорика – группа технологий по проектированию, строительству и эксплуатации роботов. В электроэнергетическом комплексе это роботизированная диагностика инфраструктуры, позволяющая упростить эксплуатацию и техническое обслуживание оборудования.

К технологиям виртуальной и дополненной реальности относятся BIM-технологии и VR-тестировочные базы.

Кросс-отраслевая экосистема – это механизм координации субъектов отрасли. Выделяют следующие технологии в экосистеме: моделирование и прогнозирование параметров энергообъектов с помощью цифровых двойников, распределительную систему накопителей энергии, управление спросом и нагрузкой, защиту данных и оборудования от киберугроз, автоматизацию и стандартизацию процессов, повышение эффективности производственного персонала.



Рис. 7. Интерпретация цифровых технологий электроэнергетического комплекса в разрезе групп-технологий

Fig. 7. Interpretation of digital technologies of the electric power complex in the context of group-technologies

Для создания классификации цифровых технологий электроэнергетического комплекса сформируем группы компонентов данных технологий (рис. 8).



Рис. 8. Компоненты взаимосвязи цифровых технологий в контексте электроэнергетического комплекса

Fig. 8. Components of the interconnection of digital technologies in the context of the electric power complex

Выделим основные компоненты цифровизации электроэнергетического комплекса [12].

1. Данные. Интерпретация получаемой информации на каждом этапе должна отвечать принципам достоверности, надежности, возможности последующей их апробации и предиктивного анализа.

2. Активы, или физические объекты электроэнергетического комплекса, которые непосредственно участвуют в производстве и передачи электроэнергии.

3. Взаимодействие на протяжении всего цикла производства, передачи, распределения и сбыта электроэнергии.

4. Гибкость энергосистемы позволяет упростить интеграцию активов, а также отслеживать ценообразование конечного продукта.

Таким образом, объединив все вышеперечисленное, получаем группы компонентов цифровых технологий, которые характерны для электроэнергетического комплекса. Рассмотрим данные компоненты в контексте цикла жизнедеятельности энергосистемы, т. е. производства, передачи, распределения и сбыта электроэнергии (рис. 9).

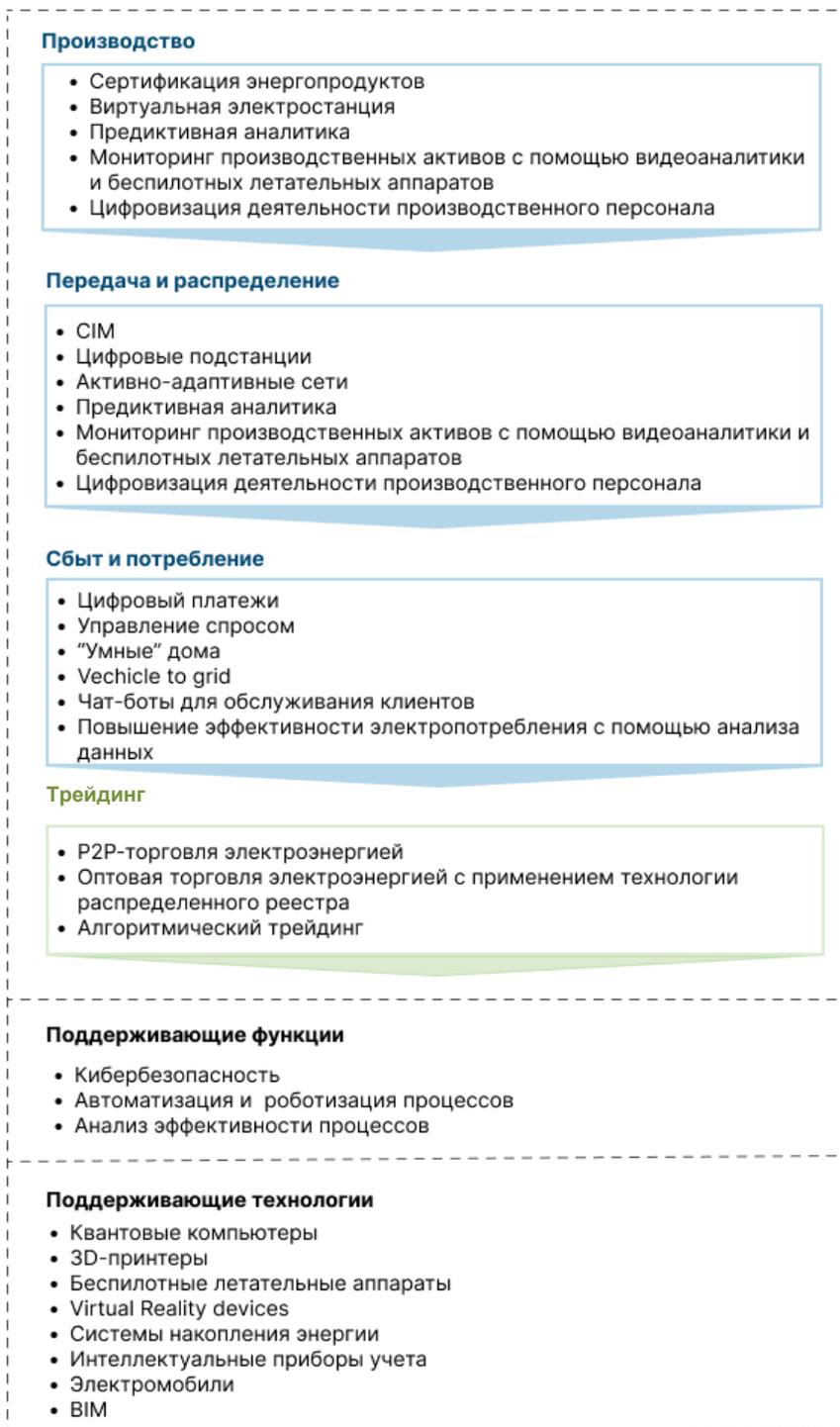


Рис. 9. Классификация цифровых технологий электроэнергетического комплекса по стадиям производства электроэнергии

Fig. 9. Classification of digital technologies of the electric power complex by stages of electricity production

В группу «Производство» входят следующие технологии: сертификация конечного продукта, т. е. обеспечение его качества; виртуальная электростанция – распределенная энергосистема, а именно объединение децентрализованных поставщиков-потребителей; предиктивная аналитика – прогнозирование спроса на электроэнергию на основе Big Data и формирование графиков нагрузки, а также автоматизированная система мониторинга и диагностики активов; цифровизация деятельности производственного персонала.

Технологии передачи и распределения электроэнергии: CIM, или набор стандартов, принятых Международной электротехнической комиссией (МЭК 61970, МЭК 61968, МЭК 62325) и направленных на регламентацию взаимодействия между элементами электроэнергетического комплекса; цифровые подстанции, благодаря которым происходит существенное сокращение затрат на наладку и монтаж оборудования, сокращение стоимости проектной документации, сокращение трудозатрат, снижение недоотпуска электроэнергии; сокращение затрат на собственные нужды; снижение земельного налога в связи с уменьшением территории; активно-адаптивные сети, благодаря которым активы энергосистемы способны поддерживать непрерывную связь с конечным потребителем; предиктивная аналитика, направленная на техническое обслуживание и ремонт сетей при помощи автоматизированной системы мониторинга и диагностики; мониторинг производственных активов благодаря видеоаналитике; цифровизация деятельности производственного персонала.

Сбыт и потребление включает следующие технологии: цифровые платежи; управление спросом, т. е. в децентрализованной системе потребитель сам выбирает поставщика электроэнергии; «умные» дома (города) с собственными источниками производства электроэнергии; vehicle to grid, или возможность подключение электромобиля в сеть как для подзарядки, так и для обратной отдачи электроэнергии, т. е. управление спросом на электроэнергию; чат-боты для обслуживания клиентов – взаимодействие с потребителем в режиме реального времени; повышение эффективности электропотребления с помощью анализа данных благодаря использованию интеллектуальной системы учета.

При оптовой модели торговли электроэнергией на стадии трейдинга можно выделить такие технологии, как P2P-торговля; оптовая торговля электроэнергией с применением распределенного реестра, т. е. возможность управления рисками; алгоритмический трейдинг.

В контексте цифровизации электроэнергетического комплекса и ее классификации необходимо выделить поддерживающие функции и технологии. Поддерживающие функции – это обеспечение кибербезопасности, автоматизация и роботизация процессов и последующий анализ эффективности. Поддерживающие технологии – квантовые технологии, 3D-принтеры, беспилотные летательные аппараты (БПЛА), система накопления электроэнергии, интеллектуальные приборы учета, электромобили, ВИМ-технологии.

Цифровизация электроэнергетического комплекса с технической стороны позволяет повысить энергобезопасность страны и конкурентоспособность энергосистемы на мировом рынке, а с экономической – ведет к снижению затрат на всех этапах технологического цикла (генерации, передачи и распределения). Таким образом, цифровизация способствует достижению целей устойчивого развития стран – участниц ЕАЭС [13–16].

Для детализированной оценки уровня цифровизации электроэнергетической отрасли целесообразно создание индикатора с субиндексацией по стадиям технологического цикла и учетом оценки поддерживающих функций и технологий.

ВЫВОДЫ

1. Анализ электроэнергетических комплексов стран – участниц Евразийского экономического союза показывает, что создание общего рынка энергоресурсов и общего электроэнергетического рынка будет способствовать повышению эффективности использования существующих генерирующих мощностей посредством уравнивания дефицитных и профицитных энергосистем, а также налаживанию отношений по торговле электроэнергией и энергоносителями.

2. Средством повышения эффективности электроэнергетического комплекса и смежных отраслей национальных экономик является цифровизация. С технической стороны она укрепляет энергобезопасность страны и конкурентоспособность энергосистемы на мировом рынке, с экономической – способствует снижению затрат на всех этапах технологического цикла.

3. Предложен вариант классификации технологий цифровизации в контексте технологического цикла, а также выделены поддерживающие функции и технологии. Выдвинуты рекомендации по дальнейшему использованию классификации для формирования индикативной системы оценки уровня цифровизации электроэнергетического комплекса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корсак, Е. П. Цифровизация и ее роль в управлении топливно-энергетическим комплексом Республики Беларусь / Е. П. Корсак, М. И. Русецкая, А. Д. Полюхович // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия Д. Экономические и юридические науки. 2020. № 13. С. 46–51.
2. Armenia [Electronic Resource] // IEA. Mode of access: <https://www.iea.org/countries/armenia>. Date of access: 25.09.2022.
3. Belarus [Electronic Resource] // IEA. Mode of access: <https://www.iea.org/countries/belarus>. Date of access: 25.09.2022.
4. Russia [Electronic Resource] // IEA. Mode of access: <https://www.iea.org/countries/russia>. Date of access: 25.09.2022.
5. Kazakhstan [Electronic Resource] // IEA. Mode of access: <https://www.iea.org/countries/kazakhstan>. Date of access: 25.09.2022.
6. Kyrgyzstan [Electronic Resource] // IEA. Mode of access: <https://www.iea.org/countries/kyrgyzstan>. Date of access: 25.09.2022.

7. Головенчик, Г. Г. Рейтинговый анализ уровня цифровой трансформации экономик стран ЕАЭС и ЕС / Г. Г. Головенчик // Цифровая трансформация. 2018. № 2. С. 5–18.
 8. Русецкая, М. И. Понятие «Цифровизация» / М. И. Русецкая // Современные технологии и экономика энергетики: III Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: СПбПУ Петра Великого, 2020. С. 159–161.
 9. Русецкая, М. И. Перспективы цифровой трансформации / М. И. Русецкая // Актуальные проблемы энергетики 2019: материалы студ. науч.-техн. конф. Минск: БНТУ, 2019. С. 506–509.
 10. Русецкая, М. И. Экономическая целесообразность использования цифровых технологий в электроэнергетическом комплексе / М. И. Русецкая, Е. П. Корсак // Социально-экономическое развитие организаций и регионов в условиях цифровизации экономики: Междунар. науч.-практ. конф. Витебск: ВГТУ, 2020. С. 306–309.
 11. Русецкая, М. И. Blockchain как новый уровень энергетики / М. И. Русецкая, Я. А. Стасул // Модернизация хозяйственного механизма сквозь призму экономических, правовых, социальных и инженерных подходов: сб. материалов XI Междунар. науч.-практ. конф., 23 ноября 2017 г.: в 2 т. Минск: БНТУ, 2017. Т. 2. С. 211.
 12. Цифровая трансформация электроэнергетики России [Электронный ресурс]. 2020. Режим доступа: <https://www.digital-energy.ru/wp-content/uploads/2020/04/strategiya-tsifrovoy-transformatsii-elektroenergetiki.pdf>. Дата доступа: 25.09.2022.
 13. Русецкая, М. И. Анализ развития энергетических рынков мира / М. И. Русецкая, В. Н. Богурин // Актуальные проблемы энергетики: материалы 75-й науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. Секция «Экономика и организация энергетики». Минск: БНТУ, 2019. С. 82–87.
 14. Русецкая, М. И. Энергетическая политика в области энергоэффективности в странах Евразийского экономического союза / М. И. Русецкая // Экономика энергетики и энергосбережение: материалы междунар. науч. конф., 10 апреля 2018 г. СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2018. С. 190–192.
 15. Падалко, Л. П. Реструктуризация Белорусской энергосистемы: проблемы, перспективы / Л. П. Падалко, О. П. Сидляевич // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2001. № 1. С. 95–103.
 16. Pysmenna, U. Ye. Maintaining the Sustainable Energy Systems: Turning from Cost to Value / U. Ye. Pysmenna, G. S. Trypolska // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2020. Т. 63, № 1. С. 14–29. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2020-63-1-14-29>.
- Поступила 20.12.2022 Подписана в печать 21.02.2023 Опубликована онлайн 31.03.2023

REFERENCES

1. Korsak E., Rusetskaya M., Paliukhovich A. (2020) Digitalization and its Role in the Management of the Energy Industry of the Republic of Belarus. *Vestnik Polotskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya D. Ekonomicheskie i Yuridicheskie Nauki = Vestnik of Polotsk State University. Part D. Economic and Legal Sciences*, (13), 46–51 (in Russian).
2. Armenia. *IEA*. Available at: <https://www.iea.org/countries/armenia> (accessed 25 September 2022).
3. Belarus. *IEA*. Available at: <https://www.iea.org/countries/belarus> (accessed 25 September 2022).
4. Russia. *IEA*. Available at: <https://www.iea.org/countries/russia> (accessed 25 September 2022).
5. Kazakhstan. *IEA*. Available at: <https://www.iea.org/countries/kazakhstan> (accessed 25 September 2022).
6. Kyrgyzstan. *IEA*. Available at: <https://www.iea.org/countries/kyrgyzstan> (accessed 25 September 2022).
7. Goloventchik G. G. (2018) Rating Analysis of the Level of Digital Transformation of the Economies of EAEU and EU the Countries. *Tsifrovaya Transformatsiya = Digital Transformation*, (2), 5–18 (in Russian).

8. Rusetskaya M. I. (2020) The Notion of Digitalization. *Sovremennye Tekhnologii i Ekonomika Energetiki: III Mezhdunar. Nauch.-Prakt. Konf.* [Modern Technologies and Energy Economics: III International Scientific and Practical Conference]. St. Petersburg, Peter the Great SPbPU, 159–161 (in Russian).
9. Rusetskaya M. I. (2019) Prospects of Digital Transformation. *Aktual'nye Problemy Energetiki 2019: Materialy Stud. Nauch.-Tekhn. Konf.* [Topical Issues of Power Engineering 2019: Proceedings of Student Scientific and Technical Conference]. Minsk, BNTU, 506–509 (in Russian).
10. Rusetskaya M. I., Korsak E. P. (2020) The Economic Feasibility of Using Digital Technologies in the Electric Power Complex. *Sotsial'no-Ekonomicheskoe Razvitie Organizatsii i Regionov v Usloviyakh Tsifrovizatsii Ekonomiki: Mezhdunar. Nauch.-Prakt. Konf.* [Socio-Economic Development of Organizations and Regions in the Conditions of Digitalization of the Economy: International Scientific and Practical Conference]. Vitebsk, VSTU, 306–309 (in Russian).
11. Rusetskaya M. I., Stasul Ya. A. (2017) Blockchain as a New Level of Power Engineering. *Modernizatsiya Khozyaistvennogo Mekhanizma Skvoz' Prizmu Ekonomicheskikh, Pravovykh, Sotsial'nykh i Inzhenernykh Podkhodov: Sb. Materialov XI Mezhdunar. Nauch.-Prakt. Konf., 23 Noyabrya 2017 g.* [Modernization of the Economic Mechanism through the Prism of Economic, Legal, Social and Engineering Approaches: Collection of Materials of the XI International Scientific and Practical Conference, November 23, 2017. Vol. 2]. Minsk, BNTU, 211 (in Russian).
12. *Digital Transformation of the Russian Electric Power Industry* (2020). Moscow. Available at: <https://www.digital-energy.ru/wp-content/uploads/2020/04/strategiya-tsifrovoy-transformatsii-elektroenergetiki.pdf> (accessed 25 September 2022) (in Russian).
13. Rusetskaya M. I., Bogurina V. N. (2019) Analysis of the Development of the World's Energy Markets. *Aktual'nye Problemy Energetiki: Materialy 75-i Nauch.-Tekhn. Konf. Studentov i Aspirantov. Sektsiya "Ekonomika i Organizatsiya Energetiki"* [Topical Issues of Power Engineering: Materials of the 75th Scientific and Technical Conference of Students and Postgraduates: Section "Economy and Organization of Energy"]. Minsk, BNTU, 82–87 (in Russian).
14. Rusetskaya M. I. (2018) Energy Policy in the Field of Energy Efficiency in the Countries of the Eurasian Economic Union. *Ekonomika Energetiki i Energoberezhenie: Materialy Mezhdunar. Nauch. Konf., 10 Aprelya 2018 g.* [Energy Economics and Energy Conservation: Proceedings of the International Scientific Conference, April 10, 2018]. St. Petersburg, Polytechnic University Publishing House, 190–192 (in Russian).
15. Padalko L. P., Sidlyarevich O. P. (2001) Restructuring of the Belarusian Energy System: Problems, Prospects. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*; (1), 95–103 (in Russian).
16. Pysmenna U. Ye., Trypolska G. S. (2020) Maintaining the Sustainable Energy Systems: Turning from Cost to Value. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, 63 (1), 14–29. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2020-63-1-14-29>.