

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТРАДИЦИОННЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ВЫЗЫВАЕМОГО ИМИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА

А. Д. МАТЮШЕНКО¹⁾, Т. Г. ЗОРИНА^{1), 2)}

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

²⁾Институт энергетики НАН Беларуси, ул. Академическая, 15, корп. 2, 220072, г. Минск, Беларусь

В условиях глобализации и повышения уровня информированности потребителей об экологических проблемах внедрение экологически чистых и устойчивых установок является важным фактором снижения негативного воздействия человеческой деятельности на окружающую среду. Поворотным моментом в стремлении к чистой планете стали использование возобновляемых источников энергии и увеличение их доли в общем объеме потребления электроэнергии. Однако стоит обосновать необходимость применения зеленых установок вместо традиционных, способных наносить более значительный ущерб экологии. Целью данной статьи является сравнительный анализ невозобновляемых и возобновляемых источников энергии с учетом экономической эффективности и экологических ущербов.

Ключевые слова: энергетика; традиционные источники энергии; возобновляемые источники энергии; экономическая эффективность; экологический ущерб.

COMPARATIVE CHARACTERISTIC OF CONVENTIONAL AND RENEWABLE ENERGY SOURCES IN TERMS OF ECONOMIC EFFICIENCY AND THEIR ENVIRONMENTAL DAMAGE

A. D. MATYUSHENKO^a, T. G. ZORYNA^{a, b}

^aBelarusian State University, 4 Niezaliezhnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

^bInstitute of Power Engineering, National Academy of Sciences of Belarus,
15 Akademichnaja Street, 2 building, Minsk 220072, Belarus

Corresponding author: A. D. Matyushenko (admatyushenko@gmail.com)

In the context of globalisation and increased consumer awareness of environmental issues, the introduction of clean and sustainable installations is an important factor in reducing the negative impact of human activity on the environment.

Образец цитирования:

Матюшенко АД, Зорина ТГ. Сравнительная характеристика традиционных и возобновляемых источников энергии с точки зрения экономической эффективности и вызываемого ими экологического ущерба. *Журнал Белорусского государственного университета. Экономика*. 2023;2:92–99. EDN: CXNJCC

For citation:

Matyushenko AD, Zoryna TG. Comparative characteristic of conventional and renewable energy sources in terms of economic efficiency and their environmental damage. *Journal of the Belarusian State University. Economics*. 2023;2:92–99. Russian. EDN: CXNJCC

Авторы:

Ангелина Дмитриевна Матюшенко – преподаватель кафедры аналитической экономики и эконометрики экономического факультета.

Татьяна Геннадьевна Зорина – доктор экономических наук, профессор; профессор кафедры экономической безопасности экономического факультета¹⁾, заведующий сектором экономики энергетики²⁾.

Authors:

Angelina D. Matyushenko, lecturer at the department of analytical economics and econometrics, faculty of economics. admatyushenko@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-4279-2420>

Tatsiana G. Zoryna, doctor of science (economics), full professor; professor at the department of economy security, faculty of economics^a, and head of the department of energy economy^b. tanyazorina@tut.by

<https://orcid.org/0000-0001-9665-2756>

A turning point in this interest in a clean planet is the use of renewable energy sources and their growing share in total electricity consumption. However, it is worth determining the feasibility of using green installations in relation to conventional ones, which can be more environmentally damaging. The purpose of this article is to compare non-renewable and renewable energy sources in terms of economic efficiency and environmental damage.

Keywords: energy; conventional energy sources; renewable energy sources; economic efficiency; environmental damage.

Введение

Энергетика является одним из наиболее важных секторов экономики, от которого во многом зависят экономический рост, технологическое развитие и в итоге наличие средств к существованию и качество жизни общества. Большинство потребляемой населением энергии на сегодняшний день получается из невозобновляемых источников. Прогнозы показывают, что значительная их часть будет исчерпана в течение нескольких десятков или сотен лет. В настоящее время население находится в состоянии абсолютной зависимости от доступа к энергетическим ресурсам для обеспечения своей повседневной жизнедеятельности. Спрос на энергию неуклонно растет и, по имеющимся оценкам, будет продолжать расти в ближайшие годы¹. Эта информация заставила международное сообщество искать возможные решения данной проблемы. Одним из таких решений являются получение и использование энергии из возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

В настоящей статье используются технико-экономические и экологические показатели традиционных и альтернативных энергетических установок независимого агентства «Управление энергетической информации» (*Energy Information Administration, EIA*)² [1].

Исследованием воздействия различных типов электростанций на окружающую среду занимались отечественные и зарубежные ученые [2–10].

Основная часть

Электричество традиционно получают путем сжигания ископаемых видов топлива, таких как уголь, бурый уголь, нефть и природный газ, содержащих углерод и его соединения. Эти виды топлива имеют органическое происхождение: образуются из останков растений, находившихся в течение многих миллионов лет под поверхностью земли. В анаэробных условиях под огромным давлением они приобрели ту форму, в которой мы видим их сегодня. Такие источники энергии называются традиционными и относятся к категории невозобновляемых природных ресурсов [11].

Производство энергии из ВИЭ основывается на естественных циклических природных процессах и имеет ряд очень важных преимуществ, благодаря которым значение данной энергии неуклонно возрастает, а названные источники находят признание в обществе. К ВИЭ относятся такие природные ресурсы, как солнечный свет, водные потоки, ветер, приливы, геотермальная теплота, растительные и животные отходы (биомасса). Эти ресурсы не иссякнут, поскольку дающие энергию процессы систематически повторяются. Принято считать, что извлечение энергии из этих источников и ее последующее использование оказывают лишь незначительное воздействие на окружающую среду и климат или вовсе его не оказывают, однако это утверждение спорно. ВИЭ, по оценкам специалистов, одинаково доступны для общества, хотя следует подчеркнуть, что в основном такая доступность обусловлена географическими и климатическими условиями. Использование ВИЭ открывает возможности для получения энергии в регионах с недостаточным количеством невозобновляемых источников энергии (ископаемого топлива) [12].

Для анализа экономических факторов были выбраны различные виды электростанций: атомная электростанция (АЭС) с малым модульным реактором, АЭС, тепловая электростанция (ТЭС) на угле, мини-ТЭС на базе двигателя внутреннего сгорания, мини-ТЭС на базе двигателя внутреннего сгорания на свалочном газе, электростанция на топливном элементе, электростанции на биомассе (древесная щепа, древесная щепа (10 %) и уголь), геотермальная электростанция, гидроэлектростанция, наземная ветроэлектростанция, прибрежная ветроэлектростанция, солнечная электростанция башенного типа, солнечная фотоэлектрическая станция.

Технико-экономические показатели работы электростанций представлены в табл. 1.

¹Electricity market report – 2023 / Int. Energy Agency. Paris, 2023. 133 p.

²Capital cost and performance characteristic estimates for utility scale electric power generating technologies / Energy Inf. Adm. Washington, 2020. 212 p. ; Electric power annual – 2021 / Energy Inf. Adm. Washington, 2022. 237 p.

Технико-экономические показатели работы электростанций

Table 1

Technical and economic indicators of power plant operation

Виды электростанций	Коэффициент использования установленной мощности, %	Коэффициент полезного действия, %	Номинальная мощность, МВт	Годовая выработка электроэнергии, МВт · ч	Инвестиционные затраты, долл. США за 1 кВт	Постоянные операционные затраты, долл. США за 1 кВт в год	Переменные операционные затраты, долл. США за 1 МВт · ч	Срок эксплуатации, лет
АЭС с малым модульным реактором	92,6	20–25	600	4 867 056,0	6191	36,40	3,0	40
ТЭС на угле	49,1	46	650	2 795 754,0	4558	54,30	7,08	40
Мини-ТЭС на базе двигателя внутреннего сгорания	18,2	33–40	21	33 480,7	1810	35,16	5,69	30
Электростанция на топливном элементе	92,6	60–75	10	81 117,6	6700	30,78	0,59	20
АЭС	92,6	20–25	2156	17 488 954,6	6041	46,61	2,37	40
Электростанция на биомассе (древесная щепа)	61,2	75–80	50	268 056,0	4097	125,72	4,83	40
Электростанция на биомассе (древесная щепа (10 %) и уголь)	61,2	75–80	30	160 833,6	705	25,57	1,90	20
Геотермальная электростанция	73,4	7–10	50	321 492,0	2521	128,55	1,16	40
Мини-ТЭС на базе двигателя внутреннего сгорания на сжальном газе	61,7	40	35,6	192 415,2	1563	20,10	6,20	30
Гидроэлектростанция	37,4	90–93	100	327 624,0	5316	29,86	–	50
Наземная ветроэлектростанция	36,1	20–35	200	632 472,0	1265	26,34	–	25
Прибрежная ветроэлектростанция	36,1	20–35	400	1 264 944,0	4375	110,0	–	25
Солнечная электростанция башенного типа	23,1	10–20	115	232 709,4	7221	85,40	–	30
Солнечная фотоэлектрическая станция	24,8	10–20	150	325 872,0	1755	31,27	–	30

Примечание. Разработано на основе данных [1], ежегодника электроэнергии за 2021 г., оценки капитальных затрат и эксплуатационных характеристик технологий производства электроэнергии в коммунальном масштабе.

Для выявления эффективности работы традиционных и альтернативных электростанций был проведен анализ их экономических показателей с помощью прямого ранжирования, представленный в табл. 2.

Таблица 2

Прямое ранжирование экономических показателей электростанций

Table 2

Direct ranking of economic indicators of power plants

Виды электростанций	Инвестиционные затраты	Постоянные операционные затраты	Переменные операционные затраты	Всего
АЭС с малым модульным реактором	3	8	5	16
ТЭС на угле	6	10	9	25
Мини-ТЭС на базе двигателя внутреннего сгорания	10	7	7	24
Электростанция на топливном элементе	2	5	1	8
АЭС	4	9	4	17
Электростанция на биомассе (древесная щепа)	8	13	6	27
Электростанция на биомассе (древесная щепа (10 %) и уголь)	14	2	3	19
Геотермальная электростанция	9	14	2	25
Мини-ТЭС на базе двигателя внутреннего сгорания на свалочном газе	12	1	8	21
Гидроэлектростанция	5	4	–	9
Наземная ветроэлектростанция	13	3	–	16
Прибрежная ветроэлектростанция	7	12	–	19
Солнечная электростанция башенного типа	1	11	–	12
Солнечная фотоэлектрическая станция	11	6	–	17

Примечания: 1. Разработано на основе данных [1], оценки капитальных затрат и эксплуатационных характеристик технологий производства электроэнергии в коммунальном масштабе. 2. Используются обозначения: число 1 соответствует лучшему показателю, число 14 – худшему показателю.

На основе анализа полученных данных можно сделать вывод, что с точки зрения экономики наиболее выгодной является работа электростанции на топливных элементах (8 баллов), гидроэлектростанции (9 баллов) и солнечной электростанции башенного типа (12 баллов), а наиболее затратной – работа электростанции на биомассе (древесная щепа) (27 баллов).

Однако необходимо учитывать негативное воздействие как традиционных, так и альтернативных источников энергии на экосистему и здоровье человека за полный цикл эксплуатации станций.

Стоит отметить, что все виды энергетики наносят окружающей среде одинаковый непоправимый ущерб. Так, во время ввода электростанций в эксплуатацию имеют место загрязнение водных объектов и почвы, размещение отходов, отторжение лесных земель, потеря сельскохозяйственных земель, приводящая к уменьшению объема продовольственной и кормовой продукции, нанесение вреда растительному и животному миру, сжигание существенного количества топлива при транспортировке комплектующих, загрязнение природных сред во время производства материалов станций. При эксплуатации электростанций наблюдаются рост количества загрязняющих веществ, увеличение выбросов парниковых газов. Вывод из эксплуатации электростанций сопровождается загрязнением литосферы при транспортировке энергоносителей и захоронении отходов, а также сжиганием существенного количества топлива при транспортировке деталей до мест утилизации после истечения срока службы.

Рассмотрим все исследуемые в работе виды энергетики, которые наносят непоправимый ущерб окружающей среде (от наиболее до наименее экономически эффективных) (см. табл. 1).

Для водородной энергетики характерны рост потребления энергии и увеличение выбросов углерода, появление выбросов парниковых газов, потребление большого количества воды, использование таких дополнительных ресурсов, как платина и иридий, добыча и очистка которых может привести к загрязнению воды и почвы, дополнительным выбросам углерода [2].

В гидроэнергетике негативными последствиями работы являются обострение нехватки пресной воды, неравномерное распределение водных ресурсов (осушение некоторых рек и ручьев, затопление огромных территорий, приводящее к повышению уровня воды, разрушению берегов, возникновению оползней и обвалов), нанесение ущерба биоразнообразию (разрушение среды обитания растений и животных) [2].

При использовании атомной энергетики имеют место выбросы сварочных аэрозолей, сгоревших нефтепродуктов, аэрозолей свинца, углеводородов, радиационное, тепловое, химическое воздействие на окружающую среду, сброс загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, загрязнение почв и недр, размещение отходов производства и потребления, незначительное влияние электромагнитного излучения, шума (в основном от транспорта), выбросов в атмосферу примесей от вспомогательных зданий и сооружений, которые не выходят за границы промышленной площадки АЭС, ионизирующее излучение при выводе станции из эксплуатации с нарушением правил демонтажа и дезактивации, переработка и удаление для последующего захоронения радиоактивных отходов [10].

Тепловая энергетика характеризуется увеличением концентрации углекислого газа в приземном слое, превышением скорости сжигания кислорода над скоростью его образования за счет фотосинтеза земных растений, тепловым загрязнением воды, приводящим к вымиранию флоры и фауны водоемов, усиленному парообразованию с поверхности жидкости, метаморфозам гидрологических характеристик стока, увеличению водорастворимости пород, осложнению их санитарного состояния и преобразованию микроклимата в отдельных районах. Кроме того, при работе различных видов ТЭС отмечаются увеличение звуковой мощности электроустановок и агрегатов, оказывающее влияние на людей, если ТЭС находится в черте города, проявление электромагнитного воздействия в виде электромагнитных полей, генерируемых воздушными линиями высокого напряжения. Косвенными причинами нанесения неправомерного вреда человеку и окружающей среде выступают гравитационное осаждение аэрозолей (под действием силы тяжести частицы аэрозоля осаждаются из газообразных выбросов вредных веществ) и химические реакции вредных веществ, выброшенных в атмосферу и гидросферу [4].

Ветроэнергетика оказывает негативное воздействие на ихтиофауну, вследствие которого происходят нарушения в среде обитания рыбы, приводящие к ее миграции и гибели. Кроме того, при работе ветроэлектростанций наблюдаются эмиссия углекислого газа при получении материалов лопастей ветрогенераторов, возникновение сильного шума вследствие резкого столкновения воздуха с поверхностями лопастей ветроустановки. При работе ветроэлектростанций нередко имеют место инфразвуковое загрязнение, отрицательно влияющее на животных, обитающих в различных слоях почвы, а также на человеческую психику, травмирование и гибель птиц и летучих мышей, попадающих в крутящиеся лопасти ветроустановки, визуальное загрязнение, связанное в большинстве случаев с необходимостью установки крупных ветрогенераторов на высокие мачты, дезориентация животных, возникновение стробоскопического эффекта от мерцания тени при вращении лопастей ветрогенератора, приводящего в определенных условиях к эпилептическим припадкам [5; 7].

Негативными последствиями биоэнергетики являются изменение накоплений углерода выше и ниже поверхности земли, рост цен на продовольствие, влекущий за собой ухудшение качества питания, увеличение количества загрязняющих веществ, изъятие древесины, приводящее к деградации лесных экосистем, снижение качества и плодородия почвы из-за интенсивного выращивания биоэнергетических культур [6].

В гелиоэнергетике (солнечной энергетике) наблюдаются производство чрезвычайно вредных химических веществ при изготовлении фотоэлектрических элементов для солнечных батарей, загрязнение окружающей среды высокотоксичными хлоратами и нитритами при утечке рабочих жидкостей, воздействие на растительность и почвы при их затенении солнечными концентраторами, изменение теплового баланса и влажности в районах расположения станций, тепловое воздействие на среду при охлаждении конденсата, значительный расход воды при очищении зеркальных панелей от пыли для повышения эффективности работы [8].

Геотермальная энергетика влияет на геологическую среду посредством повышения сейсмичности и оседания земной поверхности, загрязнения атмосферного воздуха, приводящего к глобальному потеплению и выпадению кислотных дождей. Также при работе соответствующих электростанций наблюдаются изменение стабильности грунтов, загрязнение поверхностных вод при сбросе сточных вод, загрязнение подземных вод при протечке резервуаров и трубопроводов, воздействие на животный мир через поверхностные воды, изменение климата на прилегающих территориях, тепловое загрязнение окружающей среды за счет использования большого количества охлаждающей воды при конденсации пара [9].

Основной экологический ущерб принято оценивать по выбросам в атмосферу углекислого газа (CO_2), оксида азота (NO_x) и диоксида серы (SO_2).

Сравнение уровня выбросов традиционных и возобновляемых источников энергии приводится в табл. 3.

Таблица 3

**Уровень выбросов загрязняющих веществ в атмосферу
различными типами электростанций, мг/м³**

Table 3

Level of air pollutant emissions from different types of power plants, mg/m³

Виды электростанций	Выбросы		
	NO _x	SO ₂	CO ₂
АЭС с малым модульным реактором	—	—	—
ТЭС на угле	548,95	141,58	316 798,4
Мини-ТЭС на базе двигателя внутреннего сгорания	20,56	—	288 585,6
Электростанция на топливном элементе	0,19	—	2 738 446,6
АЭС	—	—	—
Электростанция на биомассе (древесная щепа)	82,25	47,19	508 107,9
Электростанция на биомассе (древесная (10 %) и уголь)	65,79	43,41	467 458,4
Геотермальная электростанция	—	—	—
Мини-ТЭС на базе двигателя внутреннего сгорания на свалочном газе	20,56	—	288 585,6
Гидроэлектростанция	—	—	—
Наземная ветроэлектростанция	—	—	—
Прибрежная ветроэлектростанция	—	—	—
Солнечная электростанция башенного типа	—	—	—
Солнечная фотоэлектрическая станция	—	—	—

Примечание. Разработано на основе оценки капитальных затрат и эксплуатационных характеристик технологий производства электроэнергии в коммунальном масштабе.

Значительное количество выбросов углекислого газа в атмосферу производит электростанция на топливном элементе, при этом выброс оксида азота незначительный.

Для оценки экологического ущерба, наносимого экосистеме и здоровью человека, определим негативное воздействие на трех этапах жизненного цикла электростанций (ввод, эксплуатация и вывод), а также наличие выбросов загрязняющих веществ (табл. 4).

Таблица 4

Экологический ущерб различных типов электростанций

Table 4

Environmental damage of different types of power plants

Виды электростанций	Ввод	Эксплуатация	Вывод	Выбросы			Всего
				NO _x	SO ₂	CO ₂	
АЭС с малым модульным реактором	9	5	2	0	0	0	16
ТЭС на угле	8	3	2	1	1	1	16
Мини-ТЭС на базе двигателя внутреннего сгорания	8	3	2	1	0	1	15
Электростанция на топливном элементе	8	5	2	1	0	1	17
АЭС	9	5	2	0	0	0	16
Электростанция на биомассе (древесная щепа)	8	7	2	1	1	1	20
Электростанция на биомассе (древесная (10 %) и уголь)	8	7	2	1	1	1	20

Окончание табл. 4
Ending of the table 4

Виды электростанций	Ввод	Эксплуатация	Вывод	Выбросы			Всего
				NO _x	SO ₂	CO ₂	
Геотермальная электростанция	10	6	2	0	0	0	18
Мини-ТЭС на базе двигателя внутреннего сгорания на свалочном газе	8	7	2	1	0	1	19
Гидроэлектростанция	7	3	2	0	0	0	12
Наземная ветроэлектростанция	9	5	2	0	0	0	16
Прибрежная ветроэлектростанция	9	5	2	0	0	0	16
Солнечная электростанция башенного типа	9	5	2	0	0	0	16
Солнечная фотоэлектрическая станция	9	5	2	0	0	0	16

Примечания: 1. Разработано на основе оценки капитальных затрат и эксплуатационных характеристик технологий производства электроэнергии в коммунальном масштабе. 2. Используются обозначения: число 1 соответствует наличию ущерба, число 0 – отсутствию значительного ущерба. 3. В колонках «ввод», «эксплуатация», «вывод» приведены суммарные значения (в баллах) вышеперечисленных видов воздействия.

Таким образом, абсолютное преимущество с точки зрения экологичности принадлежит гидроэлектростанции, средние значения зафиксированы для электростанции на топливном элементе, солнечной электростанции башенного типа и солнечной фотоэлектрической станции, наземной и прибрежной ветроэлектростанциях, АЭС и АЭС с малым модульным реактором.

Целесообразность строительства и использования мини-ТЭС на базе двигателя внутреннего сгорания, мини-ТЭС на базе двигателя внутреннего сгорания на свалочном газе, ТЭС на угле, электростанции на биомассе требует дополнительной оценки с точки зрения рациональности расходования денежных средств и наличия факторов, влияющих на экологию. Кроме того, стоит учитывать социальный аспект согласно концепции устойчивого развития.

Заключение

Энергетика играет ключевую роль в экономике промышленности, также она оказывает сильное влияние и на повседневную жизнь населения. Современная энергетика основывается на традиционных и альтернативных источниках энергии. К традиционным источникам относятся водородная, атомная и тепловая энергетика, к альтернативным – гидроэнергетика, ветроэнергетика, гелиоэнергетика, биоэнергетика, геотермальная энергетика. Таким образом, в статье были рассмотрены различные виды энергетических установок с точки зрения их экономической эффективности и нанесения экологического ущерба окружающей среде и здоровью человека. Проведенное исследование показало преимущество гидроэлектростанции по экологическому (наименьшее негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека по сравнению со всеми рассмотренными способами генерации электроэнергии) и по экономическому (одно из наименьших суммарных значений инвестиционных, постоянных и переменных операционных затрат) факторам, а также уязвимость геотермальной электростанции и электростанции на биомассе (древесная щепа), однако для точного анализа стоит принимать во внимание и социальный фактор.

Библиографические ссылки

1. Prah M, Aralica J. Comparison of operation costs of US NPP's and Krsko NPP. In: Knapp V, Calvina N, editors. *Nuclear option in countries with small and medium electricity. Materials of International conference; 1996 October 7–9; Opatija, Croatia*. Zagreb: Croatian Nuclear Society; 1996. p. 106–114.
2. Ahmed Hamza, Adebayo Pelumi, Ahmed Mousab, Arbab I Arbab. Life cycle assessment of hydrogen fuel cells: environmental impact and sustainability. *Journal of Energy Technology and Policy*. 2023;13(1):57–67. DOI: 10.7176/JETP/13-1-07.
3. Макаренко ДВ, Паршина СЛ, Снежко АА. Влияние гидроэлектростанций на окружающую среду. *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. 2015;11(2):181–182.
4. Ядутов ВВ, Петров ТИ, Зацаринная ЮН. Воздействие ТЭС на окружающую среду. *Вестник Казанского технологического университета*. 2013;19:78–79.
5. Молоков ЛК, Рукавишников ИВ. Факторы негативного воздействия ветроэнергетики на окружающую среду. В: Магарил ЕР, Рукавишников ИВ, Березюк МВ, Платинина ЮВ, Румянцева АВ, Теслюк ЛМ, редакторы. *Система управления экологической безопасностью. Сборник трудов XV Международной научно-практической конференции; 20–21 мая 2021 г.; Екатеринбург, Россия*. Екатеринбург: УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина; 2021. с. 143–149.

6. Yiping Wu, Fubo Zhao, Shuguang Liu, Lijing Wang, Linjing Qiu, Alexandrov G, et al. Bioenergy production and environmental impacts. *Geoscience Letters*. 2018;5:[14]. DOI: 10.1186/s40562-018-0114-y.
7. Говорушко СМ. Воздействие ветровых электростанций на окружающую среду. *Альтернативная энергетика и экология*. 2011;4:38–42.
8. Говорушко СМ. Солнечная энергетика и ее экологические проблемы. *Альтернативная энергетика и экология*. 2011;4:30–33.
9. Говорушко СМ. Геотермальные электростанции и экологические последствия их эксплуатации. *Альтернативная энергетика и экология*. 2011;4:43–47.
10. Raja KS, Pesic B, Misra M. Nuclear energy and environmental impact. In: Wei-Yin Chen, Seiner J, Suzuki T, Lackner M, editors. *Handbook of climate change mitigation*. New York: Springer; 2012. p. 1133–1182. DOI: 10.1007/978-1-4419-7991-9_30.
11. Волчок ВА, Комар ВН. *Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Солнечная энергетика*. Гродно: ГрГУ; 2017. 55 с.
12. Лукутин БВ. *Возобновляемые источники электроэнергии*. Томск: Издательство Томского политехнического университета; 2008. 187 с.

References

1. Prah M, Aralica J. Comparison of operation costs of US NPP's and Krsko NPP. In: Knapp V, Calvina N, editors. *Nuclear option in countries with small and medium electricity. Materials of International conference; 1996 October 7–9; Opatija, Croatia*. Zagreb: Croatian Nuclear Society; 1996. p. 106–114.
2. Ahmed Hamza, Adebayo Pelumi, Ahmed Mousab, Arbab I Arbab. Life cycle assessment of hydrogen fuel cells: environmental impact and sustainability. *Journal of Energy Technology and Policy*. 2023;13(1):57–67. DOI: 10.7176/JETP/13-1-07.
3. Makarenko DV, Parshina SL, Snezhko AA. Influence of hydroelectric power stations on environment. *Actual'nye problemy aviatsii i kosmonavтики*. 2015;11(2):181–182. Russian.
4. Yadutov VV, Petrov TI, Zatsarinaya YuN. [Impact of TPP on the environment]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2013;19:78–79. Russian.
5. Molokov LK, Rukavishnikova IV. [Factors of negative impact of wind energy on the environment]. In: Magaril ER, Rukavishnikova IV, Berezyuk MV, Plastinina YuV, Rumyantseva AV, Teslyuk LM, editors. *Sistema upravleniya ekologicheskoi bezopasnost'yu. Sbornik trudov XV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii; 20–21 maya 2021 g.; Ekaterinburg, Rossiya* [Ecological safety management system. Proceedings of 15th International scientific and practical conference; 2021 May 20–21; Ekaterinburg, Russia]. Ekaterinburg: Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin; 2021. p. 143–149. Russian.
6. Yiping Wu, Fubo Zhao, Shuguang Liu, Lijing Wang, Linjing Qiu, Alexandrov G, et al. Bioenergy production and environmental impacts. *Geoscience Letters*. 2018;5:[14]. DOI: 10.1186/s40562-018-0114-y.
7. Govorushko SM. [Impact of wind power stations on environment]. *ISJAE*. 2011;4:38–42. Russian.
8. Govorushko SM. [Solar energy and its ecological problems]. *ISJAE*. 2011;4:30–33. Russian.
9. Govorushko SM. [Geothermal power stations and ecological consequences of their explosion]. *ISJAE*. 2011;4:43–47. Russian.
10. Raja KS, Pesic B, Misra M. Nuclear energy and environmental impact. In: Wei-Yin Chen, Seiner J, Suzuki T, Lackner M, editors. *Handbook of climate change mitigation*. New York: Springer; 2012. p. 1133–1182. DOI: 10.1007/978-1-4419-7991-9_30.
11. Volchok VA, Komar VN. *Netraditsionnye i obnovlyaemye istochniki energii. Solnechnaya energetika* [Non-traditional and renewable energy sources. Solar energy]. Grodna: Yanka Kupala State University of Grodno; 2017. 55 p. Russian.
12. Lukutin BV. *Vozobnovlyaemye istochniki elektroenergii* [Renewable power sources]. Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University; 2008. 187 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 26.03.2023.
Received by editorial board 26.03.2023.