

ИНТЕГРАЦИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В СТРУКТУРУ ЭНЕРГОПРОИЗВОДСТВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: СЦЕНАРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Зорина Татьяна Геннадьевна

д.э.н., зав. сектором «Экономика энергетики», e-mail: tanyazorina@tut.by,

Институт энергетики НАН Беларуси,
220072 г. Минск, ул. Академическая, 15/2.

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы развития возобновляемой энергетики в Республике Беларусь. Построена формализованная модель энергетической системы Республики Беларусь, собрана база исходных данных для моделирования энергопроизводства электрической энергии на среднесрочный период в программе MESSAGE. Построены три сценария развития возобновляемой энергетики в Республике Беларусь, которые предусматривают разную долю возобновляемых источников в общей структуре энергопроизводства. Выполнены прогнозы производства электрической энергии в энергетической системе Республики Беларусь на период до 2030 г. согласно выбранным сценариям. Проведен сравнительный анализ результатов моделирования по следующим критериям: структура энергопроизводства, объемы и структура вводимых мощностей, производственная себестоимость электрической энергии.

Ключевые слова: структура энергопроизводства, возобновляемые источники энергии, MESSAGE, сценарное моделирование, энергетическая система Республики Беларусь, производственная себестоимость электрической энергии.

Цитирование: Зорина Т. Г. Интеграция возобновляемых источников энергии в структуру энергопроизводства республики Беларусь: сценарное моделирование // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 1 (21). С 66-79. DOI:10.38028/ESI.2021.21.1.006

Введение. За десять лет в мире установленная мощность источников, использующих ВИЭ, увеличилась в два раза. Несмотря на столь активное развитие, возобновляемые источники энергии все еще не способны покрыть прирост потребления энергии за аналогичный промежуток времени. Если за прошедшее десятилетие прирост выработки электроэнергии из ВИЭ составил 2,5 ТВт·ч, то прирост потребления электроэнергии в мире – почти 7 ТВт·ч. Этот факт свидетельствует о неизбежном росте потребления невозобновляемых источников энергии, что будет способствовать увеличению скорости их истощения, еще большему загрязнению окружающей среды и повышению прочих рисков, связанных с обеспечением населения планеты энергией. Чтобы сохранить уровень потребления невозобновляемых источников энергии на прежнем уровне, необходимо более активное строительство источников ВИЭ, которые увеличат долю производства энергии из ВИЭ в 2,5–3 раза. По мнению экспертов, для достижения поставленных в рамках борьбы с изменениями климата глобальных целей прирост мощностей возобновляемой энергетики должен увеличиться в шесть раз.

Интенсивность развития возобновляемой энергетики в Республике Беларусь уступает общемировому темпу почти в три раза. Прирост электроэнергии, произведенной ВИЭ, в размере 0,7 ТВт·ч намного меньше изменения потребления электроэнергии в стране, рост которого за тот же десятилетний промежуток составил 5,3 ТВт·ч [1].

Создание базы данных для моделирования. Для моделирования сценариев энергопроизводства Республики Беларусь в период с 2021 по 2030 гг. использовалась программа MESSAGE. Критерием, определяющим процесс расчета, в программе MESSAGE является функция оптимизации эксплуатационных затрат.

Для моделирования сценариев функционирования рынка была собрана база данных, включающая:

- 1) установленную мощность всех энергогенерирующих источников в Республике Беларусь;
- 2) инвестиционные затраты, переменные и постоянные издержки основных производителей электроэнергии в Республике Беларусь (табл. 1, по данным Министерства энергетики Республики Беларусь);
- 3) цены на основные энергоресурсы в Республике Беларусь (табл.2, по данным Министерства энергетики Республики Беларусь);
- 4) прогнозируемый объем потребления электроэнергии на период до 2030 года (рис. 1, по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь).

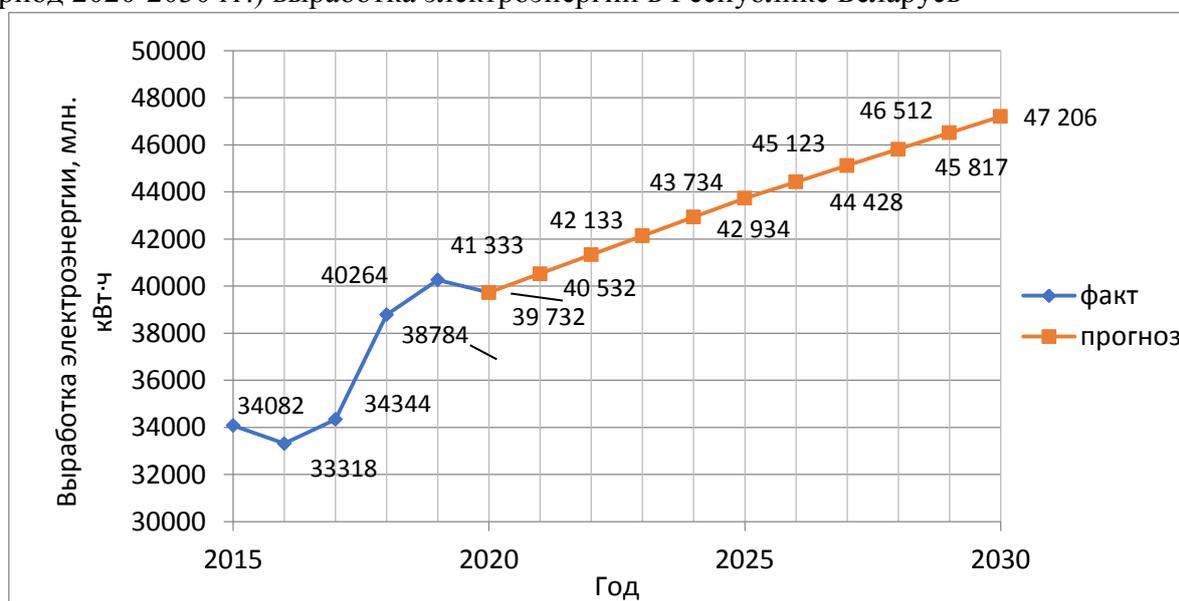
Таблица 1. Инвестиционные затраты, постоянные и переменные издержки основных производителей электроэнергии в Республике Беларусь.

Энергоисточник	Инвестиционные затраты, долл. США/кВт	Постоянные издержки, долл. США/кВт/год	Переменные издержки, долл. США/ГВт·час
Лукомльская ГРЭС	700	10,34	2,39
Березовская ГРЭС	700	15,42	6,89
Минская ТЭЦ-5	1000	27,74	5,62
БелАЭС	5000	52	3
КЭС ПГУ большой мощности	750	14	28,4
Блок-станции	1400	24	10,5
Новые блок-станции	2289	73	44
ТЭЦ на МВТ	1200	24	10,5
ВЭУ	1740	57	0
СЭС	2366	15	0
Биогазовые блок-станции	3700	167	35
Минская ТЭЦ-4	800	32,83	15,66
Гомельская ТЭЦ	700	19,76	14,12
Бобруйская ТЭЦ-2	700	46,17	31,04
Гродненская ТЭЦ-2	700	61,01	38,89
Минская ТЭЦ-3	700	38,62	25,53
Могилевская ТЭЦ-2	800	27,61	27,16
Новополоцкая ТЭЦ	800	18,06	30,71
Мозырьская ТЭЦ	700	33,91	40,1
Светлогорская ТЭЦ	700	31,36	32,38
Витебская ТЭЦ	700	45,92	39,28
Жодинская ТЭЦ	800	35,27	49,76
Оршанская ТЭЦ	800	48,89	34,31
Малые ТЭЦ	700	63,27	92,35
ГЭС	1508	30	3,5
ПГУ Минской ТЭЦ-3	900	12	24,5
Лидская ТЭЦ	750	18	42
Жлобинская ТЭЦ	1200	22	9,1
Блоки в ремонтном резерве	750	14,5	55,2

Таблица 2. Стоимость топлива в период 2015-2030 гг. в Республике Беларусь

Вид топлива	Газ природный, долл. США /тыс. м ³	Газ сжиженный, долл. США /тыс. м ³	Мазут топочный, долл. США /т	Мазут топочный (для населения), долл. США /т	Ядерное топливо, долл. США /кг	Древесина, долл. США /плотный м ³	Торф, долл. США /т
2015	196,80	235,05	312,74	219,18	37,31	20,62	26,34
2016	190,34	183,77	185,71	209,31	39,16	21,32	27,24
2017	183,13	162,58	186,98	207,89	41,12	21,95	28,04
2018	186,01	176,49	188,27	206,48	43,16	22,61	28,88
2019	183,13	182,51	189,55	205,07	45,32	23,26	29,73
2020	187,45	188,74	190,84	203,70	57,49	23,95	30,61
2021	201,53	195,19	192,13	202,34	47,59	24,54	31,36
2022	212,52	201,86	193,40	201,00	49,67	24,54	31,36
2023	221,98	208,76	194,46	199,90	49,67	24,54	31,36
2024	228,80	215,90	195,76	198,58	49,67	24,54	31,36
2025	234,47	223,28	197,04	197,29	49,67	24,54	31,36
2026	239,02	215,98	195,75	198,58	49,67	24,54	31,36
2027	243,18	218,38	196,18	198,15	49,67	24,54	31,36
2028	245,45	219,21	196,32	198,01	49,67	24,54	31,36
2029	246,26	217,86	196,08	198,25	49,67	24,54	31,36
2030	247,00	218,49	196,20	198,13	49,67	24,54	31,36

На рис. 1 представлена фактическая (период 2015-2019 гг.) и прогнозная согласно [2] (период 2020-2030 гг.) выработка электроэнергии в Республике Беларусь

**Рис.1.** Выработка электроэнергии в период 2015-2030 гг. в Республике Беларусь

Для прогнозирования структуры энергопроизводства была построена формализованная модель энергетической системы Республики Беларусь, которая схематично представлена на рис. 2.

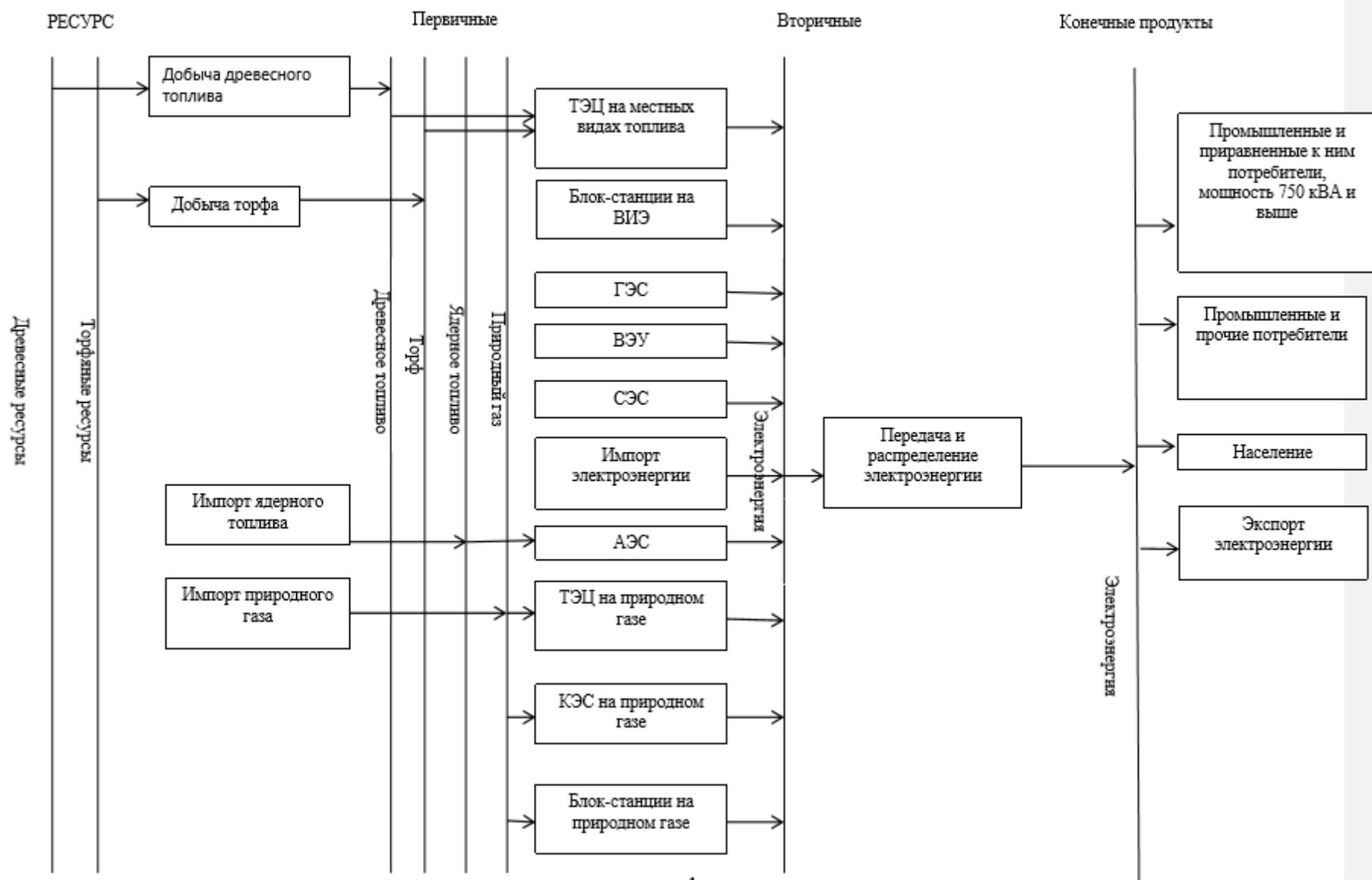


Рис. 2. Формализованная модель энергетической системы Республики Беларусь

Объем централизованного и нецентрализованного производства тепловой энергии в стране относительно постоянен и обычно не превышает 70 млн. Гкал ежегодно [3]. Динамика производства тепловой энергии больше обусловлена климатическими факторами, чем особенностями развития энергосистемы и экономики.

Как видно из рис. 1, в процессе развития электроэнергетической системы Республики Беларусь объем выработки электроэнергии ежегодно возрастает. За период 2015-2019 гг. фактическая выработка возросла в 1,18 раза. В среднем ежегодно объем произведенной электроэнергии увеличивается на 1-2%, что свидетельствует о постепенном развитии отрасли. Согласно прогнозам в 2030 г. количество выработанной электроэнергии увеличится в 1,14 раза по отношению к 2019 г. и в 1,39 раза по отношению к 2015 г.

Рассмотрим фактическое производство тепловой энергии (рис. 3) и электрической энергии (рис. 4) с использованием возобновляемых источников энергии в период 2010-2019 гг. Республике Беларусь [4].

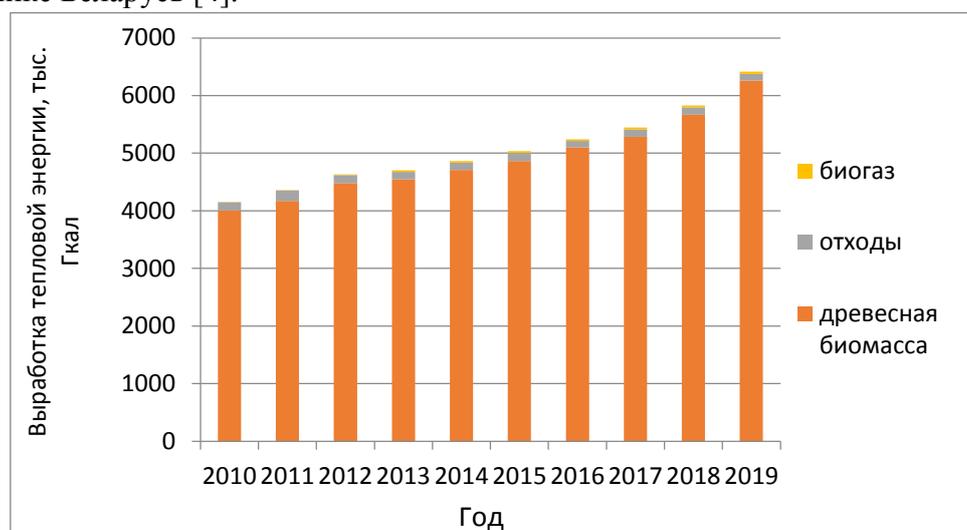


Рис. 3. Производство тепловой энергии с использованием возобновляемых источников энергии в период 2010-2019 гг. в Республике Беларусь

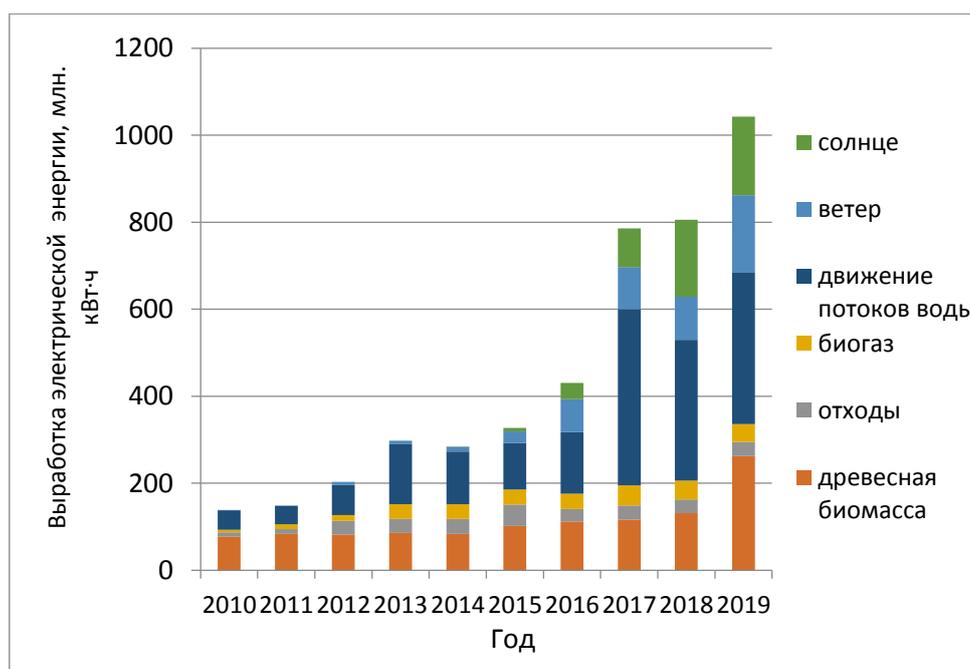


Рис. 4. Производство электрической энергии с использованием возобновляемых источников энергии в период 2010-2019 гг. в Республике Беларусь

При анализе графической информации, представленной на рис. 3 и 4, можно сделать заключение об интенсивном развитии возобновляемых источников энергии в 2010-2019 гг., особенно в период с 2015 г. Данное утверждение подтверждают следующие факты: производство тепловой энергии из возобновляемых источников энергии имеет ежегодный прирост в среднем в 4-7%, а средний прирост производства электрической энергии составляет более 25% по отношению к предыдущему году.

Рост производства энергии закономерно на протяжении исследуемого периода сопровождался ростом установленных мощностей. Рассмотрим динамику ввода новых мощностей в энергосистеме Республики Беларусь (рис. 5).

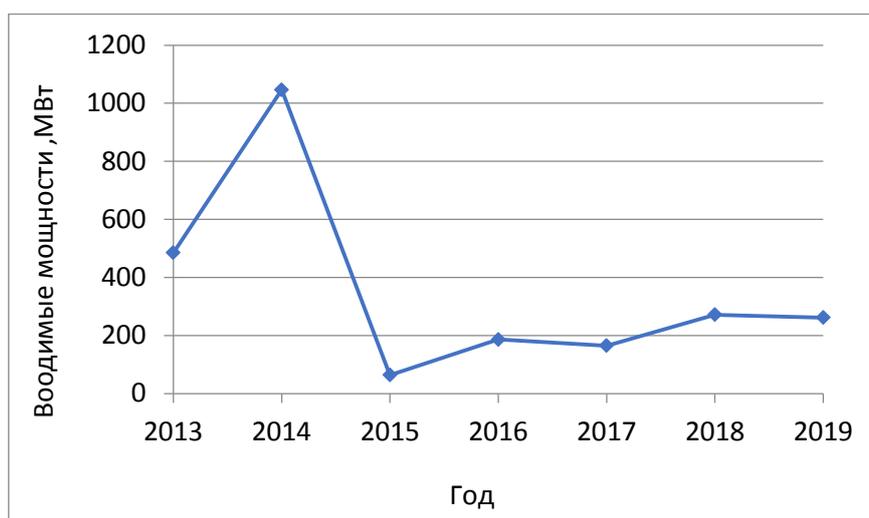


Рис. 5. Фактический ввод новых энергетических мощностей в Республике Беларусь в период 2013-2019 гг., МВт

Пик на рис. 5 соответствует вводу двух парогазовых установок на Лукомльской ГРЭС и Березовской ГРЭС мощностью по 427 МВт. Вводимые мощности в течение последующих лет невелики и составляют в среднем 0,5-2,5% от суммарной установленной мощности энергосистемы, что наряду с отсутствием импорта электроэнергии свидетельствует об отсутствии дефицита генерирующих мощностей в стране.

Рассмотрим ситуацию по возобновляемым источникам энергии. На рис. 6 и 7 представлены данные по приросту установленной мощности установок на различных ВИЭ согласно данным Международного энергетического агентства [4].

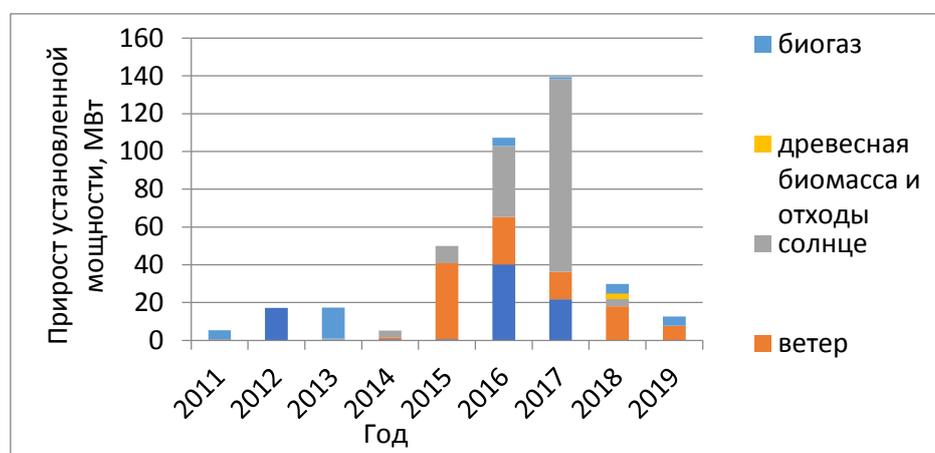


Рис. 6. Фактический прирост электрогенерирующих мощностей на возобновляемых источниках энергии, МВт

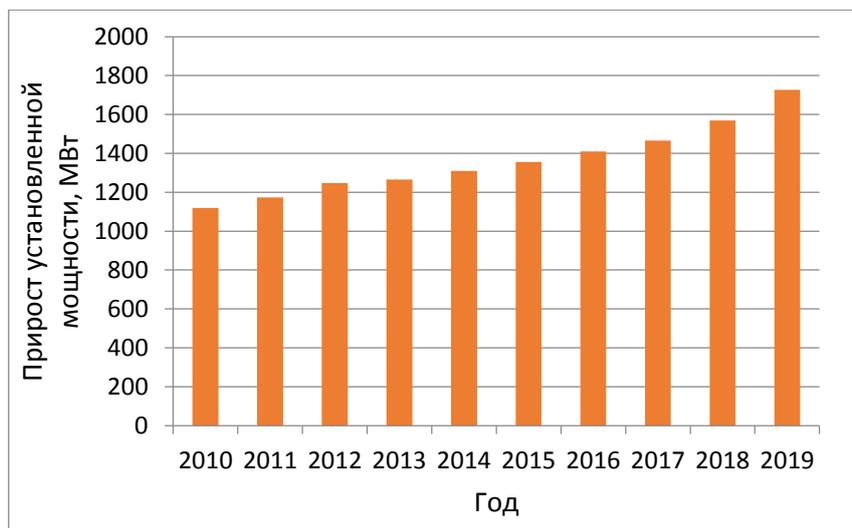


Рис. 7. Фактический прирост теплогенерирующих мощностей на возобновляемых источниках энергии, МВт

Построение сценариев.

Цель моделирования энергосистемы – спрогнозировать нагрузку каждого типа энергогенерирующих мощностей таким образом, чтобы минимизировать совокупные эксплуатационные затраты.

Введем следующие переменные:

Z_{nmlt} - количество сырья m , потребленного станцией n для производства энергии вида l в период t ;

U_{nmlt} - производство энергии вида l станцией n на сырье вида m в период t ;

R_{mt} - добыча ресурса вида m в период t ;

I_{mt} - импорт ресурса вида m в период t ;

I_{et} - импорт энергии в период t ;

vom_{nm} - переменные затраты станции n при работе на ресурсе m ;

c_{lt} - стоимость ресурса l в период t ;

c_{lt}^i - стоимость импортируемого ресурса l в период t ;

k_{nmlt} - КИУМ n –станции, работающей на m –виде ресурсов, производящей l вид энергии в период t ;

pow_{nt} - мощность n - ой станции в период t ;

U_{lt} - величина спроса на энергию l в период t ;

\bar{R}_{lt} - ограничения по добыче ресурса l в период t .

Критерием оптимальности модели являются суммарные эксплуатационные затраты. Они включают в себя: капитальные, постоянные и переменные затраты. Итак, целевая функция включает переменные затраты, затраты на ресурсы и затраты на импорт электроэнергии. Первое слагаемое целевой функции описывает затраты на закупку ресурсов, второе – переменные затраты на обслуживание станций, третье – затраты на импорт электроэнергии. Суммирование по t задает динамику по годам:

$$f = \sum_l \sum_t (R_{mt} c_{mt} + I_{mt} c_{i_{mt}}) + \sum_n \left(\sum_m \sum_t \left(\sum_l U_{nmlt} \right) \text{vom}_{mt} \right) + \sum_t \sum_l I_{el} c_{i_{el}} \rightarrow \min \quad (1)$$

Ограничения можно разделить на несколько групп:

1. Балансовые соотношения по распределению ресурсов показывают объемы потребленного ресурса с учетом ограничений по их добычи. Такие соотношения в модели описывают балансы по мазуту, торфу, дровам, ядерному топливу. По условию, ограничений на закупку газа не установлено. Кроме того, учитывается, что каждый ресурс поступает из одного источника – либо собственная добыча либо импорт.

$$\sum_{n,l} z_{nmlt} \leq R_{mt} + I_{mt} \quad (2)$$

2. Ограничения по мощности станций. Это ограничение показывает максимальные объемы производимой энергии каждой из станций.

$$\sum_{m,l} U_{nmlt} \leq pov_{nt} \quad (3)$$

Здесь необходимо учесть взаимосвязь между параметрами:

$$U_{nmlt} = k_{nmlt} z_{nmlt} \quad (4)$$

Это уравнение показывает взаимосвязь между потребленным количеством ресурса и произведенной энергией.

3. Ограничения по потреблению сырья.

$$R_{mt} \leq \bar{R}_{mt} \quad (5)$$

4. Ограничение по спросу на энергию.

$$\sum_n \sum_m U_{nmlt} E_{lt} + I_{lt} \geq U_{lt} \quad (6)$$

Левая часть ограничения описывает количество произведенной и закупленной энергии, правая – прогнозируемый спрос на энергию (электрическую либо тепловую) [8].

Для прогнозирования структуры энергопроизводства в программе MESSAGE были выбраны три сценария развития возобновляемой энергетики на период 2021-2030 г. Производство энергии из возобновляемых источников энергии по трем сценариям представлено в Таблице 3.

Таблица 3. Планируемое производство электрической энергии из ВИЭ в период 2011-2030 гг. в Республике Беларусь, ГВт·ч

Год	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Сценарий 1	863	965	1015	1048	1095	1145	1194	1244	1294	1344
Сценарий 2	1242	1300	1359	1417	1475	1600	1725	1850	1975	2100
Сценарий 3	1292	1410	1538	1677	1828	1987	2159	2346	2548	2767

Первый сценарий опирается на значения Индикатора №2 «Отношение объема производства (добычи) первичной энергии из возобновляемых источников энергии к валовому потреблению ТЭР» согласно Концепции энергетической безопасности Республики Беларусь [5], а также прогноз топливно-энергетического баланса Республики Беларусь до 2030 г. [6]. На основе указанных выше документов был составлен прогноз ввода новых мощностей возобновляемых источников энергии, представленный на рис. 8.

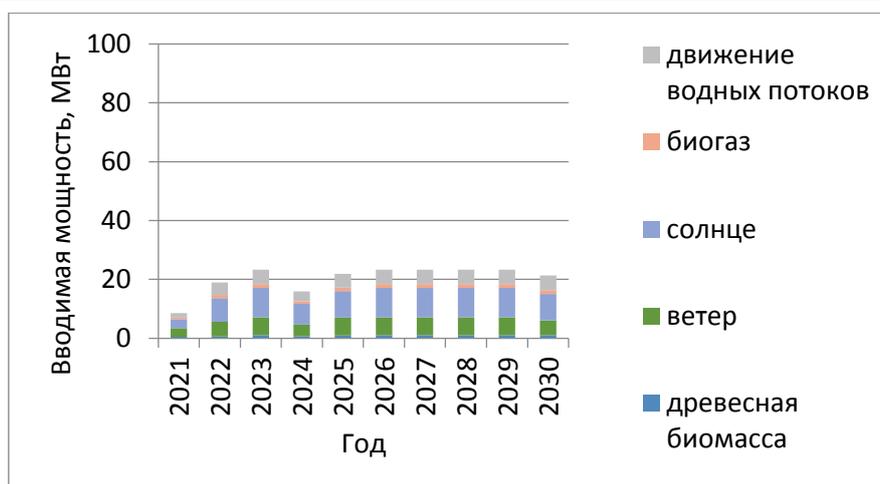


Рис. 8. Структура ввода новых энергетических мощностей возобновляемых источников энергии в Республике Беларусь в период 2021-2030 гг. согласно сценарию 1, МВт

Второй сценарий соответствует Концепции развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 года, одобренной Постановлением Министерства энергетики Республики Беларусь от 25 февраля 2020 г. № 7. В данной Концепции представлены фактические балансы производства электрической и тепловой энергии в Республике Беларусь с 2010 г. и прогнозы балансов энергоресурсов, включая возобновляемые источники энергии до 2030 года [2]. На основе прогнозных значений объемов производства энергии был выполнен прогноз ввода новых мощностей возобновляемых источников энергии (рис. 9).

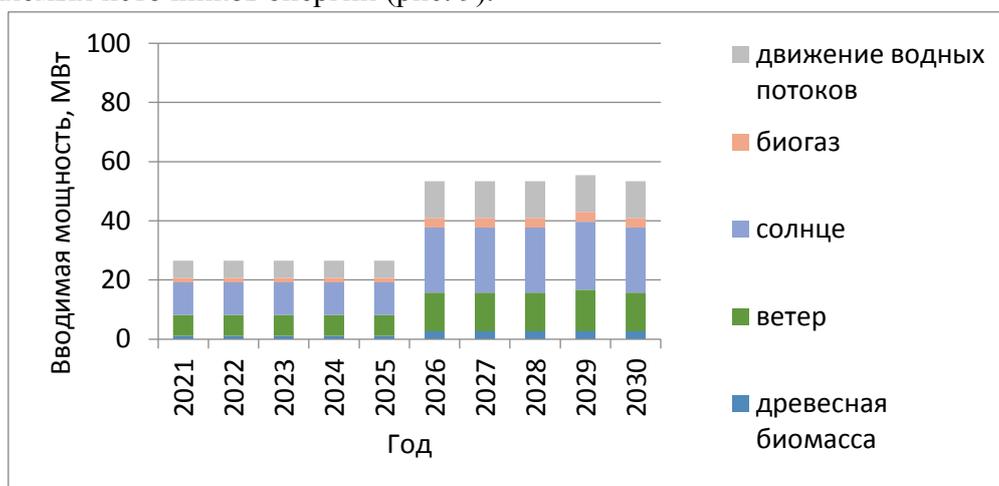


Рис. 9. Структура ввода новых энергетических мощностей возобновляемых источников энергии в Республике Беларусь в период 2021-2030 гг. согласно сценарию 2, МВт

Третий сценарий построен с ориентацией на достижение Целей устойчивого развития к 2030 г. Международное энергетическое агентство произвело расчеты и сделало вывод о необходимости поддержания роста доли возобновляемых источников энергии как минимум на 7 % ежегодно в течение 2019-2030 гг. для достижения поставленных Целей устойчивого развития. Однако рост производства электроэнергии из возобновляемых источников в 2019 г. (6,5 %) был ниже, чем в 2018 г. (7 %), а это означает, что потребуются более активное внедрение технологий возобновляемой энергетики [7]. Таким образом, в основу данного сценария положен рост выработки энергии за счет возобновляемых источников на 7 % ежегодно. Вводимые в период с 2021 по 2030 г. объекты возобновляемой энергетики представлены согласно распределению их мощностей по годам на рис. 10.

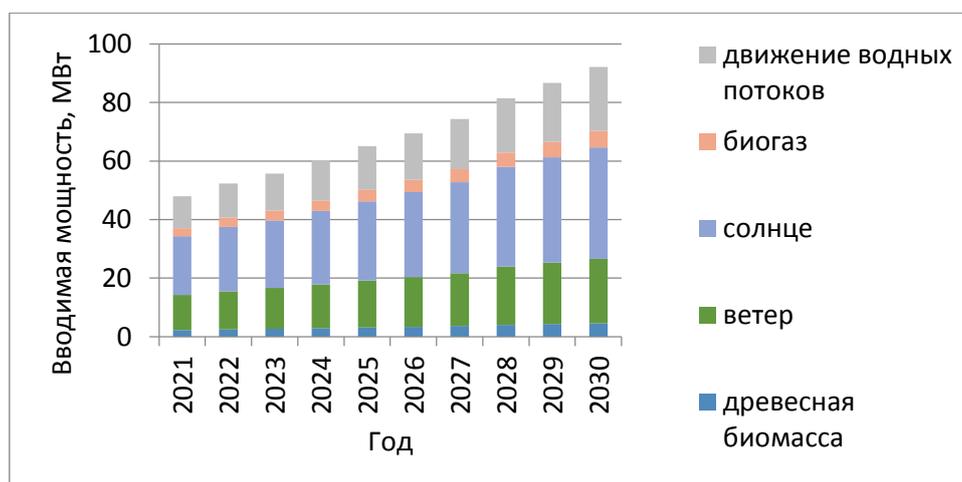


Рис. 10. Структура ввода новых энергетических мощностей возобновляемых источников энергии в Республике Беларусь в период 2021-2030 гг. согласно сценарию 3, МВт

Результаты моделирования. По результатам моделирования прогнозная структура ввода энергетических мощностей в энергосистему Республики Беларусь в 2021-2030 гг. согласно всем сценариям характеризуется вводом второго блока БелАЭС мощностью 1200 МВт и блок-станций – мощностью около 200 МВт.

Относительно возобновляемой энергетики, согласно сценарию 1 наиболее активно и стабильно вводятся объекты солнечной энергетики, чуть менее активно и с изменениями по мощности – гидро- и ветровой энергетики. Источники, производящие энергию из биогаза и древесной биомассы, прогнозируются к вводу в незначительном объеме, что объясняется в том числе и ограниченностью потенциала.

Структура производства электрической энергии в Республике Беларусь в период 2021-2030 гг. согласно сценарию 1 представлена на рис. 11.

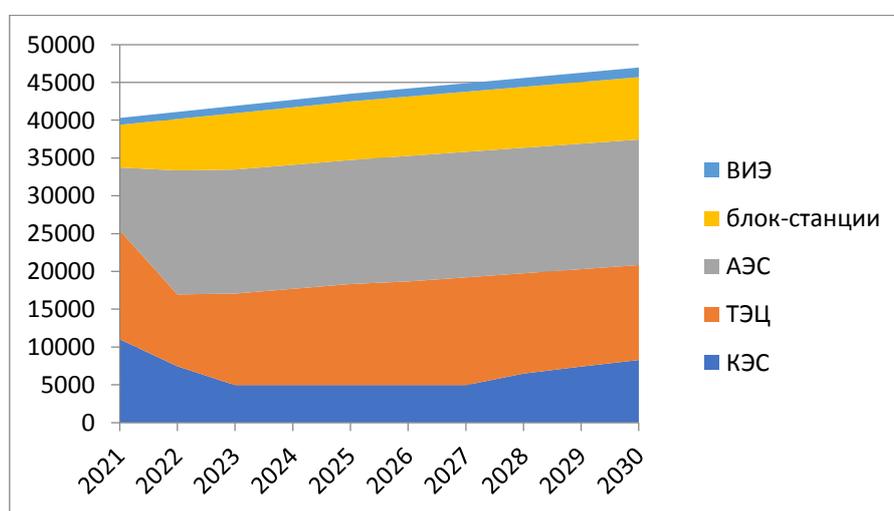


Рис. 11. Структура производства электрической энергии в Республике Беларусь в 2021-2030 гг. согласно сценарию 1, млн. кВт·ч

Структура производства электроэнергии в Республике Беларусь в период 2021-2030 гг. согласно сценарию 2 представлена на рис. 12.

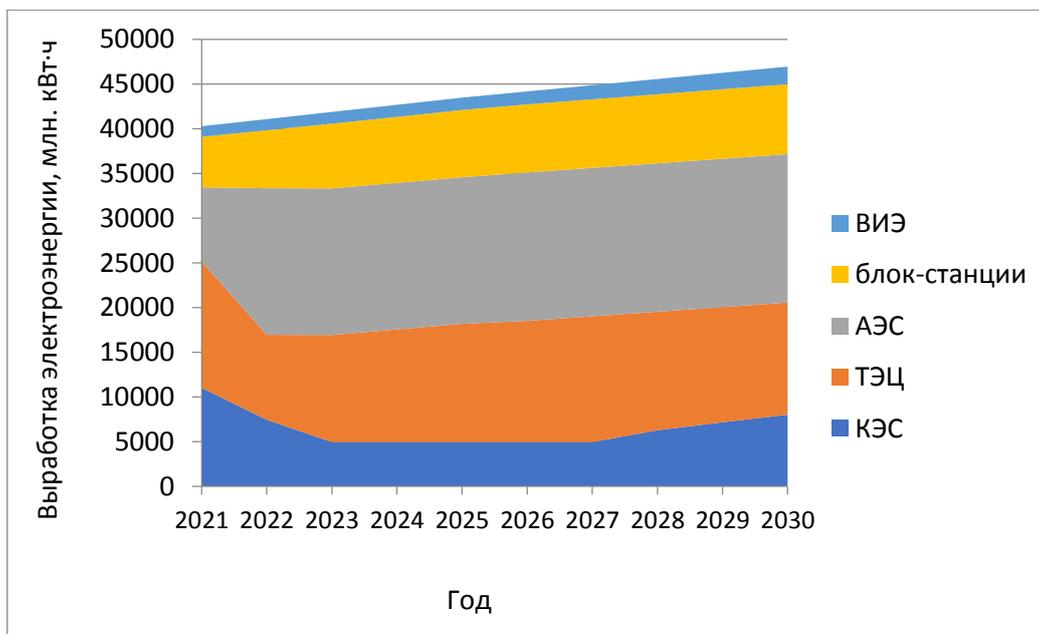


Рис. 12. Структура производства электрической энергии в Республике Беларусь в 2021-2030 гг. согласно сценарию 2, млн. кВт·ч

Доля вводимых объектов на возобновляемых источниках энергии в сценарии 3 к концу анализируемого периода становится равна половине вводимых блок-станций и приближается к 100 МВт ежегодно. В данном сценарии возобновляемые источники энергии развиваются с ежегодным увеличением вновь вводимых мощностей постепенно, без резких скачков. На первом месте по приросту мощности находится солнечная энергетика, далее следуют ветро- и гидроэнергетика, наименьший прирост наблюдается среди источников на биомассе и биогазе.

Структура производства электроэнергии в Республике Беларусь в период 2021-2030 гг. согласно сценарию 3 представлена на рис. 13.

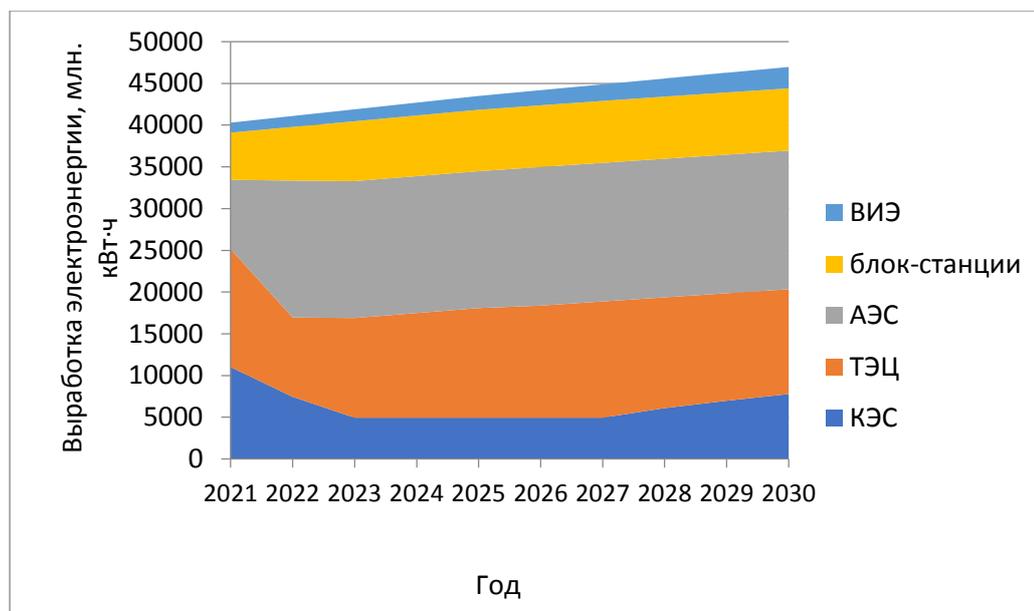


Рис. 13. Структура производства электрической энергии в Республике Беларусь в 2021-2030 гг. согласно сценарию 2, млн. кВт·ч

Анализ структуры производства электрической энергии в Республике Беларусь в период 2021-2030 гг. по трем сценариям (рис. 11-13) показывает, что с увеличением доли

возобновляемых источников в производстве энергии уменьшается доля в выработке на КЭС и блок-станциях, что снижает потребление импортируемого природного газа. Объем выработки электроэнергии на ТЭС и АЭС сохраняется постоянным.

Динамика производственной себестоимости электрической энергии в энергосистеме Республики Беларусь для трех сценариев в 2021-2030 гг. представлена на рис. 14.

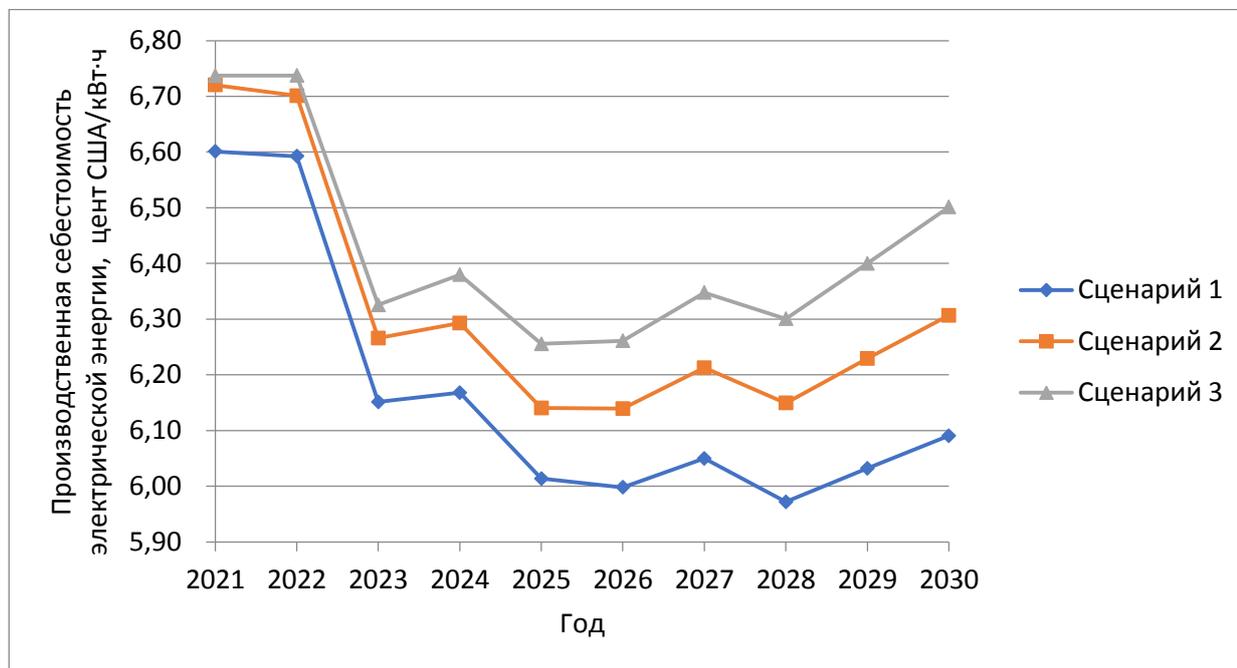


Рис. 14. Производственная себестоимость электрической энергии в энергосистеме Республики Беларусь в 2021-2030 гг., цент США/кВт·ч

Как видно из рис. 14, ввод возобновляемых источников энергии повышает производственную себестоимость электрической энергии (в сценарии 3 наибольший процент возобновляемых источников). Каждый дополнительный процент возобновляемых источников в структуре энергопроизводства повышает производственную себестоимость в среднем на 0,15 цент США/кВт·ч. Высокие значения себестоимости в 2021-2022 гг. можно объяснить вводом БелАЭС, что означает начало амортизационных отчислений и исполнения кредитных обязательств, и одновременным сохранением высокой доли КЭС. С 2023 г. себестоимость нормализуется. Небольшой последующий рост возникает по причине инвестиционных затрат в возобновляемые источники энергии, ежегодно вводимая мощность которых увеличивается к концу рассматриваемого периода (сценарии 2 и 3), а также увеличении доли КЭС в балансе с 2028 г.

Заключение. Результаты моделирования показали, что во всех трех сценариях наблюдаются схожие тенденции в развитии возобновляемых источников энергии в Республике Беларусь на протяжении прогнозного периода: увеличение доли древесной биомассы и гидроэнергетики в производстве энергии и небольшое снижение остальных видов возобновляемых источников к 2030 г.

В структуре затрат на производство электрической энергии в энергосистеме Республики Беларусь в 2021-2030 гг. наблюдается закономерность, которую обеспечивают возобновляемые источники энергии. При большей доле возобновляемых источников в структуре энергопроизводства возрастают инвестиционные затраты, однако все прочие составляющие демонстрируют тенденцию к снижению. Особенно ярко выражена данная особенность в части топливных затрат. Учитывая тот факт, что практически все виды

топлива импортируются в Республику Беларусь, топливные затраты являются наименее предсказуемой составляющей при составлении прогнозов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Любчик О.А., Александрович С.А., Зорина Т.Г., Хвацовас О.В. Оценка влияния возобновляемых источников энергии на энергетическую безопасность // Альтернативная энергетика и экология. 2020. № 11. С. 94–103.
2. Концепция развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 года. Приложение к постановлению Министерства энергетики Республики Беларусь 25 февраля 2020. № 7. Режим доступа: https://minenergo.gov.by/zakonodatelstvo/koncersii_i_proframmi (Дата доступа 09.03.2021).
3. Международное энергетическое агентство. Данные и статистика. Режим доступа: <https://www.iea.org/dataandstatistics/?country=BELARUS&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=HeatGenByFuel> (Дата доступа 16.03.2021).
4. Международное энергетическое агентство. Возобновляемые источники энергии. Режим доступа: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables> (Дата доступа 16.03.2021).
5. Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь: утв. пост. Совета Министров Республики Беларусь 23.12.2015. № 1084 // Консультант Плюс: Беларусь. Технология 3000 // ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информации Республики Беларусь.
6. Пояснительная записка к проекту прогноза топливно-энергетического баланса Республики Беларусь до 2030 года. Режим доступа: https://minenergo.gov.by/zakonodatelstvo/koncersii_i_proframmi/ (Дата доступа 06.03.2021).
7. Generation from renewable sources continues to grow but acceleration is needed to reach 2030 targets. Availabel at: <https://www.iea.org/reports/renewable-power> (Date of access 06.03.2021).
8. MESSAGE: Model for Energy Supply Strategy Alternatives and Their General Environmental Impacts / User Manual. – Vienna, 2004. – 244 p.

UDK 620.92

INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO THE ENERGY PRODUCTION STRUCTURE OF THE REPUBLIC OF BELARUS: SCENARIO SIMULATION

Tatsiana G. Zoryna

Dr., Head of Sector " Energy Economics ", e-mail: tanyazorina@tut.by.

Institute of power engineering of the National Academy of Sciences of Belarus of Belarus
15/2, Akademicheskaya st., 220072, Minsk, Republic of Belarus.

Annotation. The article deals with the development of renewable energy in the Republic of Belarus. A formalized model of the energy system of the Republic of Belarus has been built, a base of initial data has been collected for modeling energy production of electrical energy for a medium-term period in the MESSAGE program. Three scenarios for the development of renewable energy in the Republic of Belarus have been constructed, which provide for a different share of renewable sources in the overall structure of energy production. Forecasts of electricity production in the energy system of the Republic of Belarus for the period up to 2030 have been made according to the selected scenarios. A comparative

analysis of the simulation results was carried out according to the following criteria: structure of energy production, volumes and structure of commissioned capacities, production cost of electric energy.

Keywords. structure of energy production, renewable energy sources, MESSAGE, scenario modeling, energy system of the Republic of Belarus, production cost of electrical energy.

REFERENCES

1. Lyubchik O.A., Aleksandrovich S.A., Zoryna T.G., Hvacovas O.V. Ocenka vliyaniya vozobnovlyаемых istochnikov energii na energeticheskuyu bezopasnost' [Assessment of the impact of renewable energy sources on energy security] // *Аl'ternativnaya energetika i ekologiya = Alternative energy and ecology*. 2020. № 11. P. 94–103 (in Russian).
2. Konceptiya razvitiya elektrogeneriruyushchih moshchnostej i elektricheskikh setej na period do 2030 goda. Prilozhenie k postanovleniyu Ministerstva energetiki Respubliki Belarus' 25 fevralya 2020 [Concept for the development of electricity generating capacities and electric networks for the period up to 2030. Appendix to the resolution of the Ministry of Energy of the Republic of Belarus on February 25] № 7. Availabel at: https://minenergo.gov.by/zakonodatelstvo/konceptii_i_proframmi (accessed: 09.03.2021) (in Russian).
3. International Energy Agency. Data and statistics [International Energy Agency. Data and statistics] Availabel at: <https://www.iea.org/data-and-statistics/?country=BELARUS&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=HeatGenByFuel> (accessed: 16.03.2021).
4. International Energy Agency. Renewable energy sources [International Energy Agency. Renewable energy sources] Availabel at: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables>. (accessed: 16.03.2021).
5. Konceptiya energeticheskoy bezopasnosti Respubliki Belarus': utv. post. Soveta Ministrov Respubliki Belarus'. 23.12.2015 [Concept of energy security of the Republic of Belarus: approved. fast. Council of Ministers of the Republic of Belarus 23.12.2015]. № 1084. / Konsul'tant Plyus: Belarus'. Tekhnologiya 3000 / ООО «YUrSpektr», Nac. centr pravovoj informacii Respubliki Belarus'= LLC "YurSpektr", Nat. center of legal information of the Republic of Belarus. (in Russian).
6. Poyasnitel'naya zapiska k proektu prognoza toplivno-energeticheskogo balansa Respubliki Belarus' do 2030 goda [Explanatory note to the draft forecast of the fuel and energy balance of the Republic of Belarus until 2030] Availabel at: https://minenergo.gov.by/zakonodatelstvo/konceptii_i_proframmi/ (accessed: 06.03.2021) (in Russian).
7. Generation from renewable sources continues to grow but acceleration is needed to reach 2030 targets. Availabel at: <https://www.iea.org/reports/renewable-power> (accessed: 06.03.2021).
8. MESSAGE: Model for Energy Supply Strategy Alternatives and Their General Environmental Impacts / User Manual. – Vienna, 2004. – 244 p.