
**ROZA VALEVICH,
ANZHALIKA VLADYKO**

**INTERNAL COMPETITION IN THE EURASIAN
COMMUNITY: BALANCING ECONOMIC INTERESTS
(Part 2. See Part 1 in No 5 2021)**

Authors affiliation. *Roza VALEVICH* (ketor@bseu.by), *Belarus State Economic University (Minsk, Belarus)*; *Anzhalika VLADYKO* (angel.vladyko@gmail.com), *Belarus State Economic University (Minsk, Belarus)*.

Abstract. The objective of the study is to identify the role and significance of competition development within the EAEU in the formation of stable economic position of the Republic of Belarus in the Eurasian market, to substantiate the factors of enhancing competitiveness of the national economy and securing the balance of economic interests with Eurasian partners. The competitive positions of the Republic of Belarus in the EAEU and in the regional aspect are examined; the state of the balance of economic interests within the EAEU is assessed according to the dynamics of export-import operations in terms of investment, intermediate and consumer goods; the competitive advantages of the regions of Belarus are analyzed from the standpoint of the impact of two groups of factors related to the efficiency of economic development and the degree of implementation of innovations and new knowledge in economic activity, entrepreneurial experience and business environment. Based on the research findings, the major directions are formulated to strengthen the competitive environment that stimulates the economic and innovative activities of business entities on the basis of achieving a balance of economic interests.

Keywords: internal competition; competitive advantages; export-import relations; economic interests; Eurasian integration; development efficiency; innovation.

UDC 339.9

*Статья поступила
в редакцию 16. 07. 2021 г.*

Т. Г. ЗОРИНА

**РАЗВИТИЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ
БЕЛАРУСЬ: СЦЕНАРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

В статье построены сценарии развития энергосистемы Республики Беларусь с учетом ввода в эксплуатацию Белорусской атомной станции в зависимости от раз-

Татьяна Геннадьевна ЗОРИНА (tanyazorina@tut.by), *доктор экономических наук, профессор кафедры логистики и ценовой политики Белорусского государственного экономического университета (г. Минск, Беларусь)*.

ных темпов роста спроса на электроэнергию. Выполнены прогнозы производства и стоимости электрической энергии в энергетической системе Беларуси на период до 2050 г. согласно выбранным сценариям. Проведен сравнительный анализ результатов моделирования по следующим критериям: структура энергопроизводства, объемы и структура вводимых мощностей, расход топлива на производство электроэнергии, стоимость производства электроэнергии.

Ключевые слова: структура энергопроизводства; MESSAGE; сценарное моделирование; энергетическая система; электрическая энергия; атомная энергетика; стоимость электроэнергии.

УДК 620.9

Введение. Энергетическая система Республики Беларусь — стабильно работающий технологический комплекс, который обеспечивает надежное и бесперебойное снабжение потребителей страны энергией.

В энергетической системе в настоящее время продолжается работа по обновлению и повышению эффективности работы производственных фондов, а также повышению надежности энергоснабжения потребителей. Наряду с модернизацией основных производственных фондов и внедрением новых высокоэффективных генерирующих мощностей проводится системная работа по снижению затрат на производство и реализацию энергии. Наиболее важным проектом для энергетического комплекса Республики Беларусь остается ввод в эксплуатацию Белорусской атомной станции (БелАЭС), что имеет существенное значение для развития не только энергетической сферы, но и всей экономики [1].

Это соответствует стратегической цели развития топливно-энергетического комплекса, предусматривающей удовлетворение потребностей экономики и населения страны в энергоносителях на основе их максимального эффективного использования при снижении нагрузки на окружающую среду [2].

С целью прогнозирования работы энергосистемы Республики Беларусь с учетом ввода БелАЭС были построены сценарии развития энергосистемы на период 2022—2050 гг.

Создание базы данных для прогнозирования и построение сценариев. Моделирование сценариев энергопроизводства Республики Беларусь производилось с использованием программы MESSAGE [3]. 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 [4];
- 3) цены на основные энергоресурсы в Республике Беларусь (таблица 2, по данным Министерства энергетики Республики Беларусь) [4];
- 4) прогнозируемый объем потребления электроэнергии на период до 2050 г.

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

Целевая функция оптимизации затрат включает переменные затраты, затраты на ресурсы и затраты на импорт электроэнергии и определяется по

следующей формуле. 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.

$$f = \sum_l \sum_t (R_{mt} c_{mt} + I_{mt} ci_{mt}) + \sum_n \left(\sum_m \sum_t \left(\sum_l (U_{nmlt}) vom_{mt} \right) \right) + \sum_t \sum_l I_{et} ci_{et} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где 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 ; ci_{lt} — 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 -й станции в период t ; U_{lt} — величина спроса на энергию l в период t ; R_{lt} — ограничения по добыче ресурса l в период t .

Ограничения можно разделить на несколько групп.

1. Балансовые соотношения по распределению ресурсов показывают объемы потребленного ресурса с учетом ограничений по их добыче. 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. Ограничение по мощности станций. Это ограничение показывает максимальные объемы производимой энергии каждой из станций и выглядит так:

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

Здесь необходимо учесть взаимосвязь между параметрами. Следующее уравнение показывает взаимосвязь между потребленным количеством ресурса и произведенной энергией:

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

Далее представлены:

3. Ограничение по потреблению сырья:

$$R_{mt} \leq \overline{R_{mt}}; \quad (5)$$

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) [3].

Для прогнозирования структуры энергопроизводства в программе MESSAGE были выбраны три сценария развития энергосистемы на период 2022–2050 гг.:

1) сценарий 1, основанный на темпах роста потребления электрической энергии, заложенных в прогнозном балансе топливно-энергетических ресурсов до 2030 г. [5];

2) сценарий 2, предусматривающий стабильный спрос на электроэнергию, начиная с 2030 г.;

3) сценарий 3, базирующийся на текущих тенденциях потребления электроэнергии.

Динамика фактической выработки электроэнергии (2014–2020 гг.) и ее прогноз (2022–2050 гг.) в Республике Беларусь для трех сценариев представлены на рис. 1.

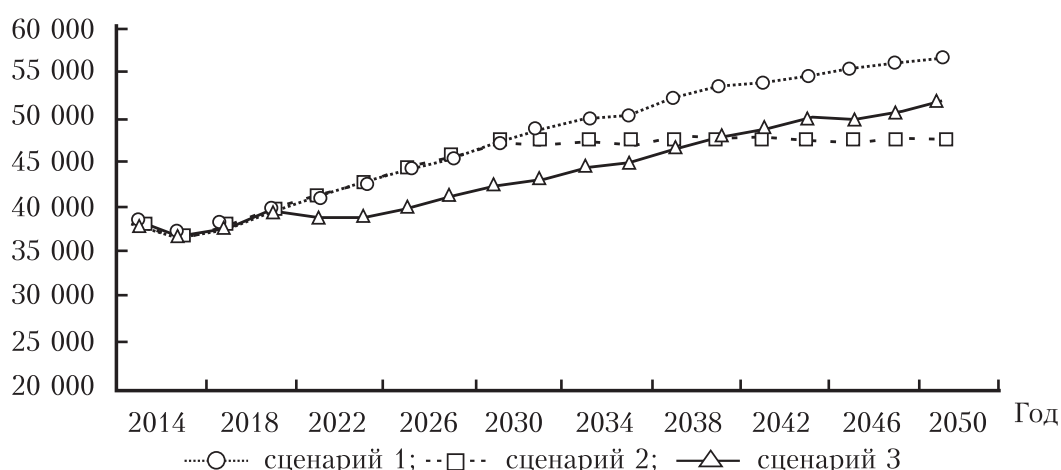


Рис. 1. Выработка электроэнергии, млн кВт·ч

Как видно из рис. 1, к концу 2050 г. выработка электроэнергии вырастет при реализации любого сценария. Постепенное увеличение электропотребления соответствует как курсу страны на электрификацию транспорта и теплоснабжения, развитию энергоемких производств, так и принципам устойчивого развития, поскольку электроэнергия является чистым источником энергии.

Сценарий 1. Первый сценарий развития энергосистемы основан на сохранении тенденции прироста потребления электроэнергии, положенного в основу Концепции развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 года.

К концу 2050 г. выработка электроэнергии вырастет с прогнозируемых 41 332 млн кВт·ч в 2022 г. до 56 996 млн кВт·ч (рис. 1). Для удовлетворения растущих потребностей в электрической энергии с учетом необходимости вывода из эксплуатации выработавших свой ресурс мощностей необходимо строительство новых, динамика ввода которых представлена на рис. 2.

Наиболее крупным новым объектом электрогенерации является БелАЭС мощностью 2 340 МВт, ввод в эксплуатацию двух блоков которой планируется закончить к началу 2022 г. Однако для покрытия роста спроса на электроэнергию в будущем потребуется ввод еще двух блоков по 1 170 МВт на ядерном топливе: в 2030–2031 гг. и 2038–2039 гг. После ввода третьего и четвертого блоков БелАЭС доля БелАЭС в производстве электроэнергии увеличится с 39,7 % в 2022 г. до 50,8 % в 2030 и 61,1 % в 2040 г. Снижение доли БелАЭС к 2050 г. до 58,3 % обусловлено ростом общей выработки электроэнергии в стране.

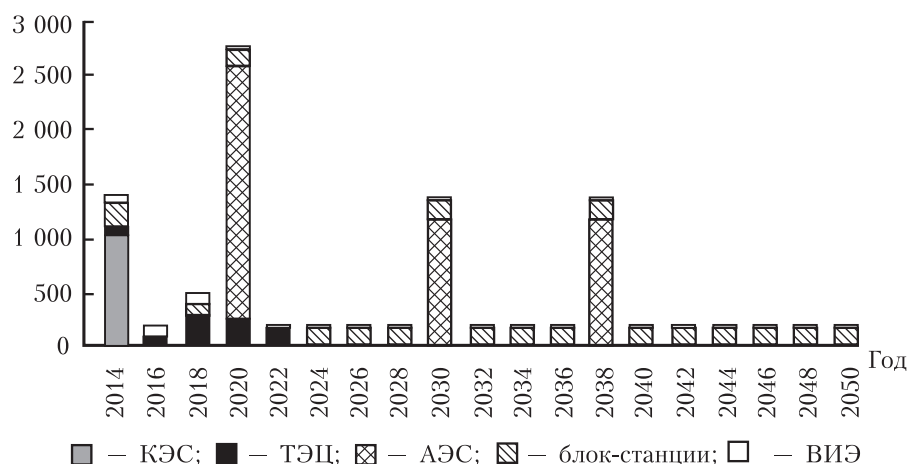


Рис. 2. Структура ввода новых мощностей, МВт, сценарий 1

При рассмотрении структуры источников в выработке электроэнергии, представленной на рис. 3, заметно значительное снижение доли КЭС: с 48,3 % в 2020 г. до 20,5 % в 2030 и только 11,3 % в 2050 г., обусловленное вводом БелАЭС. Доля ТЭЦ в периоде до ввода третьего блока БелАЭС снижается в меньшей степени: с 32,1 % в 2020 г. до 26,7 % в 2030 г. Этот факт обусловлен работой ТЭЦ по тепловому графику, где основная задача электростанции заключается в обеспечении потребителя тепловой, а не электрической энергией, последняя выступает как второстепенный продукт.

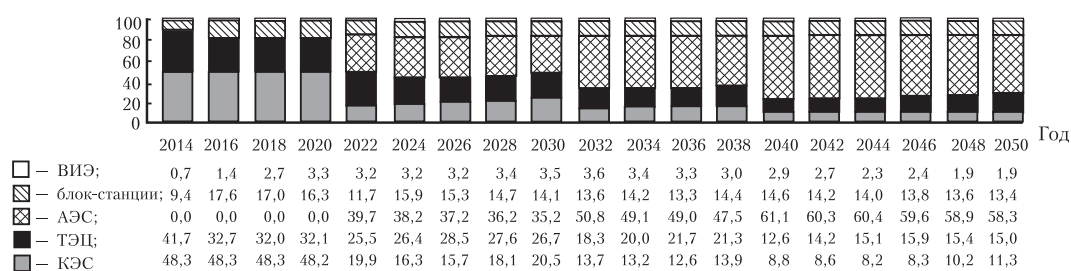


Рис. 3. Доля источников в выработке электроэнергии, %, сценарий 1

Динамика структуры видов топлива в структуре производства электроэнергии является наиболее интересным показателем с точки зрения энергетической безопасности и представлена на рис. 4.

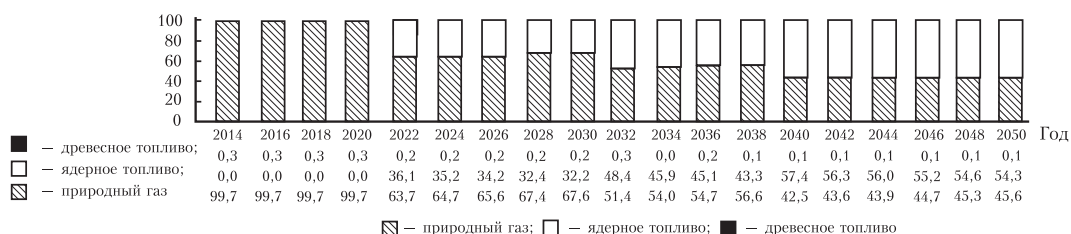


Рис. 4. Доля видов топлива в производстве электроэнергии и централизованном теплоснабжении, %, сценарий 1

Доля доминирующего вида топлива в производстве электроэнергии — природного газа — уменьшается с 99,7 % в 2020 г. до 63,7 % в 2022 г., что меньше 70 % и, соответственно, уже не является критическим значением. Снижение

доли природного газа происходит при вводе в эксплуатацию каждого блока БелАЭС: при вводе третьего — до 51,4 %, а при вводе четвертого — до 42,5 %, где природный газ уступает позицию доминирующего источника ядерному топливу с показателем 57,4 %. К концу прогнозируемого периода значения показателей сближаются и составляют 45,6 и 54,3 % для природного газа и ядерного топлива соответственно.

Доля древесного топлива в производстве электроэнергии постепенно падает с 0,3 % в 2020 г. до 0,1 % в 2050 г. Небольшой объем новых вводимых мощностей в первую очередь ограничивается запасами возобновляемой древесины и изменением распределения ее потоков между отраслями промышленности.

Сценарий 2. В основу второго сценария развития энергосистемы положен прогноз, представленный в Концепции развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 года, после 2030 г. потребление энергии принято неизменным.

К концу рассматриваемого периода выработка электроэнергии увеличится с 41 332 млн кВт·ч в 2022 г. до 47 626 млн кВт·ч (рис. 1), что на 16 % меньше, чем конечное значение для предыдущего сценария. Следовательно, при таком варианте развития энергосистемы дефицит электроэнергии будет ощущаться в меньшей степени, а ввод электрогенерирующих мощностей потребует в меньшем объеме.

В то же время рост выработки электроэнергии невозможно обеспечить за счет уже существующих мощностей, особенно с учетом износа производственных фондов. Снабжение страны электрической энергией потребует строительства и ввода в эксплуатацию новых электрогенерирующих мощностей (рис. 5).

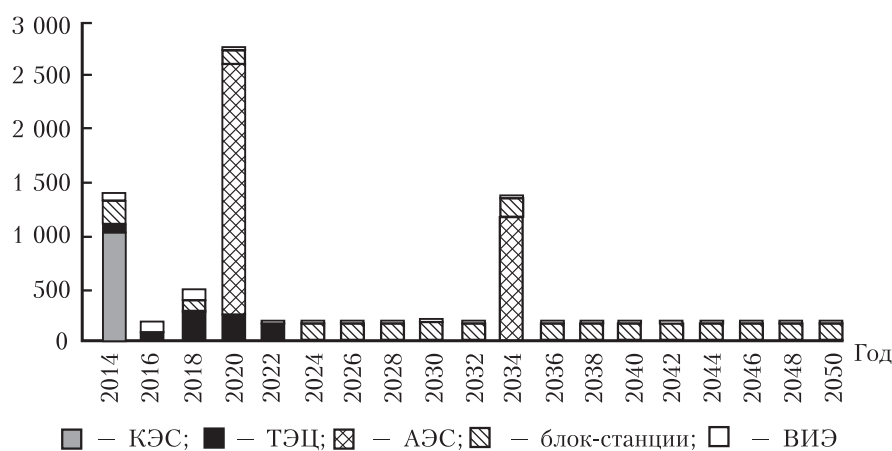


Рис. 5. Структура ввода новых мощностей, МВт, сценарий 2

В данном сценарии кроме наиболее крупного объекта электрогенерации — БелАЭС мощностью 2 340 МВт потребуется ввод еще только одного блока БелАЭС мощностью 1 170 МВт, его пуск будет необходим к 2034 г., чтобы покрыть растущее потребление электроэнергии. Кроме того, ожидается постепенный ввод блок-станций в среднем по 175 МВт ежегодно, а также небольшое количество источников возобновляемой энергетики.

После ввода третьего блока БелАЭС доля БелАЭС в производстве электроэнергии увеличится с 39,7 % в 2022 г. до 52,1–52,3 % в 2050 г. Структура всех источников в выработке электрической энергии представлена на рис. 6.

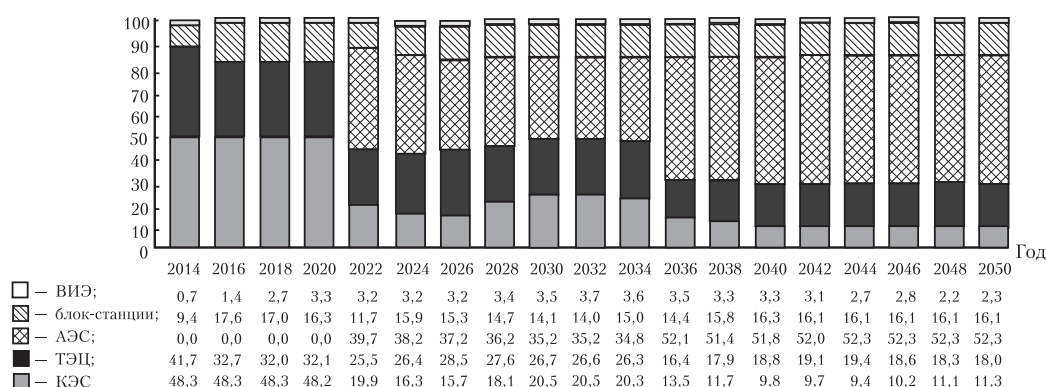


Рис. 6. Доля источников в выработке электроэнергии, %, сценарий 2

Здесь, как и в первом сценарии, заметно значительное снижение доли КЭС: с 48,2 % в 2020 г. до 19,9 % в 2022 и 11,3 % к 2050 г.

Динамика изменения доли ТЭЦ более плавная, но также имеет тенденцию к снижению и характеризуется следующими значениями: 32,1 % в 2020 г., 25,5 % в 2022, 16,4 % в 2036 г. Небольшой рост будет наблюдаться к концу рассматриваемого периода — до 18,0 % к 2050 г. Большая доля, по сравнению с первым сценарием, имеет место по причине меньшего роста выработки электроэнергии, и задачей ТЭЦ будет обеспечение страны не только электрической, но и тепловой энергией.

Динамика структуры видов топлива в структуре производства электроэнергии представлена на рис. 7.

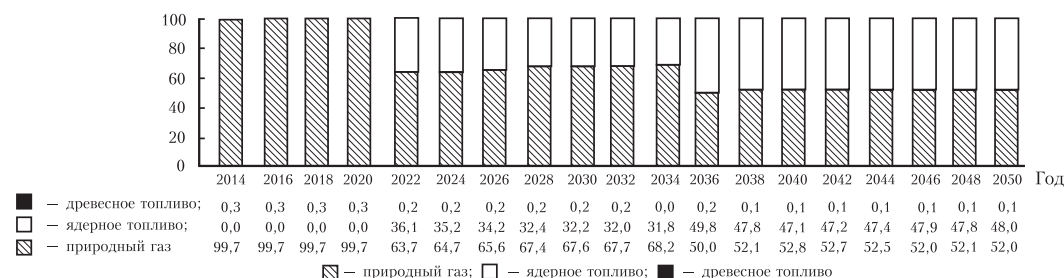


Рис. 7. Доля видов топлива в производстве электроэнергии и централизованном теплоснабжении, %, сценарий 2

Доля доминирующего вида топлива в производстве электроэнергии — природного газа — уменьшается до 63,7 % в 2022 г. при пуске в работу первых двух блоков атомной электростанции и до 50,0 % в 2036 г. после запуска третьего. Впоследствии доля газа постепенно увеличится и достигнет 68,2 % в 2034 г. и 52,0 % в 2050 г. Соблюдение баланса между двумя доминирующими видами топлива положительно влияет на уровень энергетической безопасности страны и свидетельствует о гармоничном развитии отрасли.

Сценарий 3. Исходные данные для третьего сценария получены путем экстраполяции существующей тенденции производства электроэнергии в Республике Беларусь в последнее десятилетие на период до 2050 г.

В рассматриваемом сценарии рост выработки электроэнергии происходит не так стремительно: к 2022 г. достигается значение только в 38 921 млн кВт·ч, а значение показателя 2022 г. предыдущих двух сценариев находится в промежутке между 2028 и 2030 гг. Однако к концу периода выработка энергии станет равной 51 800 млн кВт·ч, что превысит значение второго сценария на 8 %, но меньше показателя первого сценария на 9 % (рис. 1). В данном сценарии при-

рост установленных мощностей ожидается в более поздние сроки в связи с более плавным ростом производства электроэнергии.

Увеличение выработки электрической энергии потребует ввода новых энергогенерирующих мощностей, производящих только электрическую энергию, что обусловлено тенденцией к снижению выработки тепловой энергии. Динамика ввода новых мощностей по третьему сценарию развития энергосистемы представлена на рис. 8.

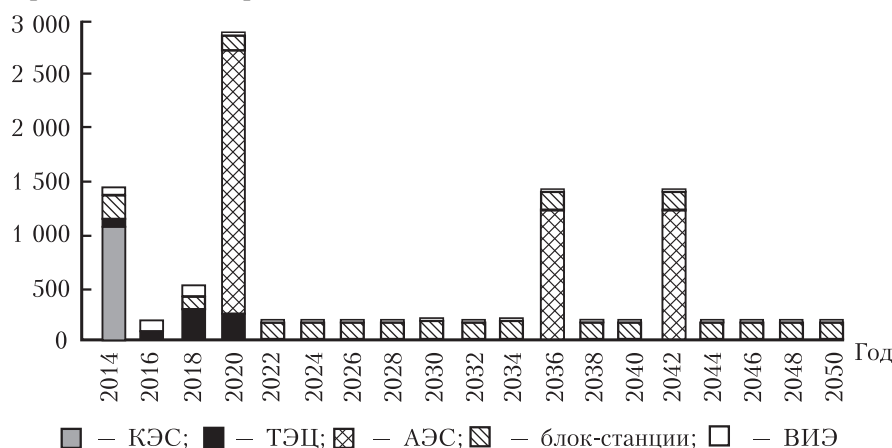


Рис. 8. Структура ввода новых мощностей, МВт, сценарий 3

В третьем сценарии, как и в первом, ожидается кроме ввода БелаЭС к 2022 г. мощностью 2 340 МВт ввод еще двух блоков по 1 170 МВт на ядерном топливе. Однако ввод их будет необходим в более позднем периоде: в 2036 и 2042 гг. по сравнению с 2030 и 2038 гг. в первом сценарии. Данный факт обусловлен более плавным темпом роста выработки электроэнергии в стране по третьему сценарию.

Структура источников в выработке электроэнергии представлена на рис. 9. Доля БелаЭС будет увеличиваться с 42,1 % с 2022 г. до 52,7 % в 2038 г. после запуска третьего блока и до 65,8 % в 2044 г. после запуска четвертого.

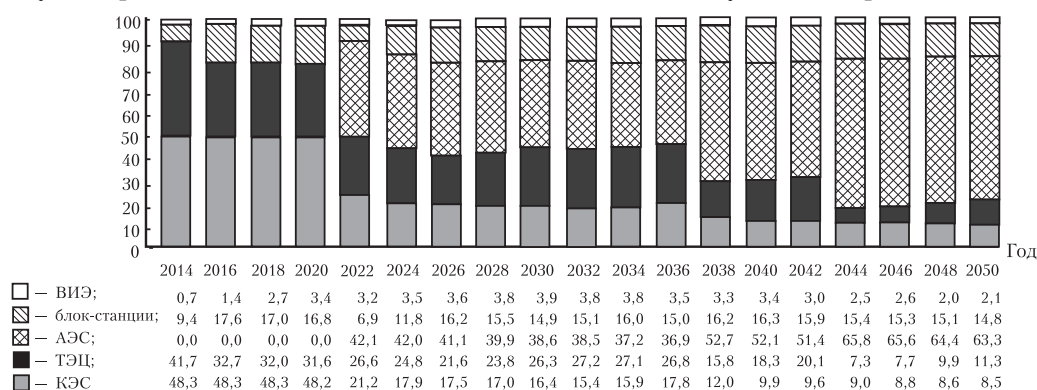


Рис. 9. Доля источников в выработке электроэнергии, %, сценарий 3

Доля КЭС и ТЭЦ значительно снизится и составит 21,2 и 26,6 % соответственно в 2022 г., 12,0 и 15,8 % в 2038 г. и только 9,0 и 7,3 % в 2044 г. К 2050 г. их доля несколько увеличится — до 8,5 и 11,3 %. Низкая доля ТЭЦ в покрытии нагрузки по электрической энергии может вызвать необходимость активного строительства электродвигательных для компенсации недостатка тепловой энергии.

Изменение структуры видов топлива в структуре производства электроэнергии представлено на рис. 10.

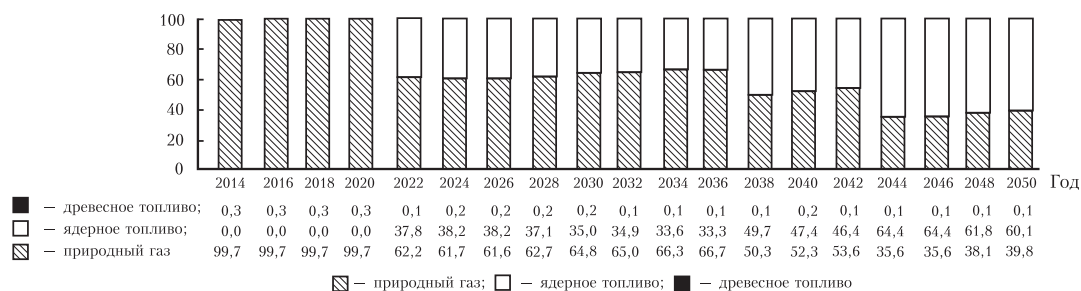


Рис. 10. Доля видов топлива в производстве электроэнергии и централизованном теплоснабжении, %, сценарий 3

Доля природного газа в данном сценарии уменьшится до 62,2 % в 2022 г. при пуске в работу первых двух блоков атомной электростанции и до 50,3 % в 2038 г. после запуска третьего блока и до 35,6 % в 2044 г. при запуске четвертого. Впоследствии доля газа несколько увеличится до момента ввода нового блока БелАЭС, как и в ранее рассмотренных сценариях, что объясняется компенсацией роста спроса на электроэнергию при полной загрузке БелАЭС.

Стоимость производства электрической энергии в 2014–2050 гг. для трех сценариев представлена на рис. 11.

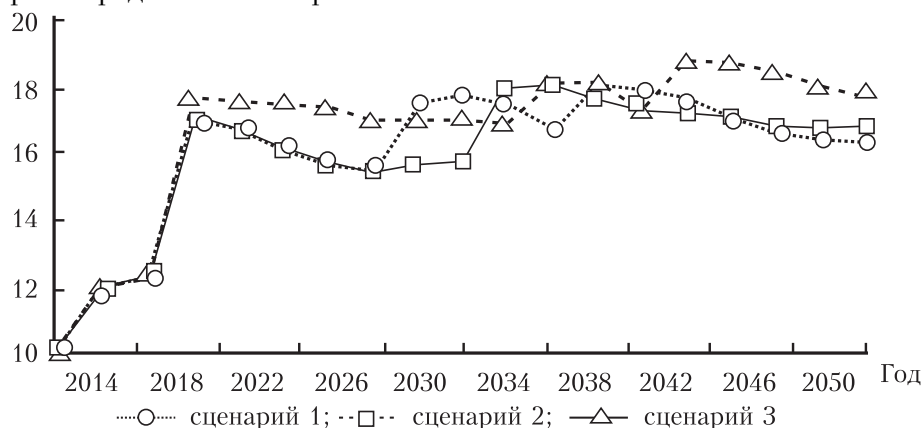


Рис. 11. Стоимость производства электроэнергии, центы дол. США

Как видно из рис. 11, пики роста стоимости производства электроэнергии во всех сценариях совпадают с вводом в эксплуатацию крупных электрогенерирующих мощностей (блоков БелАЭС) и обусловлены капитальными вложениями, амортизационными отчислениями и обновлением основных производственных фондов энергетической отрасли.

Тенденция к постепенному снижению стоимости наблюдается в трех сценариях: к 2050 г. стоимость электроэнергии по сценарию 1 развития энергосистемы составит 16,38 центов, по сценарию 2 — 16,79 центов, что не превышает стоимости ее производства в 2020 г., равной 17,03. Более высокая стоимость — 17,71 центов по сценарию 3 объясняется небольшим промежутком между вводом третьего и четвертого блоков, что не позволит цене производства нормализоваться и снизиться до значений предыдущих периодов.

Заключение. Реализация того или иного сценария зависит от тенденций прироста потребления электрической энергии, на который в свою очередь значительное влияние оказывает темп экономического роста Республики Беларусь. Независимо от реализуемого сценария ввод БелАЭС в эксплуатацию позволит диверсифицировать структуру топливно-энергетического баланса и заместить часть природного газа и, как следствие, снизить удельный вес газа

при производстве энергии; уменьшить выбросы парниковых газов в атмосферу; придать качественно новый интеллектуальный и технологический импульс развитию страны и обеспечить дополнительные гарантии укрепления государственной независимости и экономической безопасности Республики Беларусь.

Литература и электронные публикации в Интернете

1. Михалевич, А. А. Атомная энергетика: перспективы для Беларуси / А. А. Михалевич. — Минск : Беларус. навука, 2011. — 262 с.
Mihalevich A. A. Atomnaja jenergetika: perspektivy dlja Belarusi [Nuclear energy: prospects for Belarus] / A. A. Mihalevich. — Minsk : Belarus. navuka, 2011. — 262 p.
2. Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь 23. 12. 2015 г., № 1084 // КонсультантПлюс. Беларусь. Технология 3000 // ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информации Республики Беларусь. — Минск, 2015.
3. MESSAGE: Model for Energy Supply Strategy Alternatives and Their General Environmental Impacts / User Manual. — Vienna, 2004. — 244 p.
4. Зорина, Т. Г. Интеграция возобновляемых источников энергии в структуру энергопроизводства Республики Беларусь: сценарное моделирование / Т. Г. Зорина // Информационные и математические технологии в науке и управлении. — 2021. — № 1 (21). — С. 66–79.
Zorina, T. G. Integracija vozobnovljaemyh istochnikov jenerгии v strukturu jenergoпроизводства Respubliki Belarus': scenarnoe modelirovanie [Integration of renewable energy sources into the energy production structure of the Republic of Belarus: scenario modeling] / T. G. Zorina // Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii. — 2021. — N 1 (21). — P. 66–79.
5. Концепция развития электрогенерирующих мощностей и электрических сетей на период до 2030 года [Электронный ресурс] : прил. к постановлению Министерства энергетики Республики Беларусь, 25 февр. 2020 г., № 7. — Режим доступа: https://minenergo.gov.by/zakonodatelstvo/koncepcii_i_programmi. — Дата доступа: 09.10.2021.

TATSIANA ZORYNA

DEVELOPMENT OF NUCLEAR POWER ENGINEERING IN THE REPUBLIC OF BELARUS: SCENARIO MODELING

Author affiliation. *Tatsiana ZORYNA (tanyazorina@tut.by), Belarus State Economic University (Minsk, Belarus).*

Abstract. The article builds scenarios for development of power grid of the Republic of Belarus taking into account commissioning of the Belarusian nuclear power plant, depending on different growth rates of demand for electricity. Forecasts have been made of the production and cost of electric power in the power grid of the Republic of Belarus for the period until 2050 according to selected scenarios. A comparative analysis of the modeling results was carried out in terms of the following criteria: the structure of energy production, the volume and structure of capacities commissioned, fuel consumption for electricity generation, electricity generation cost.

Keywords: structure of energy production; MESSAGE; scenario modeling; energy system; electric energy; nuclear power; electricity cost.

UDC 620.9

*Статья поступила
в редакцию 24. 11. 2021 г.*