

FORECASTING OF CONSUMPTION OF ELECTRIC AND THERMAL ENERGY IN THE REPUBLIC OF BELARUS USING SCENARIO APPROACH IN THE DEVELOPMENT OF THE NATIONAL ECONOMY

This article provides forecasts of the consumption of electric and thermal energy for a number of scenarios of the economic development of the Republic of Belarus for the period 2019–2030. The top-down methodological approach or the normative method is used, in which a number of macroeconomic parameters and energy consumption parameters are set as target indicators. Also considered is the aggregate consumption of not only electric and thermal energy, but also other fuel and energy resources, including primary energy used by the economy and its processed products, as required by a systematic approach to the problem.

Keywords: gross domestic product; fuel and energy resources; electricity; thermal energy; energy intensity; electric capacity; heat capacity.

Т. Г. Зорина

доктор экономических наук, доцент

БГЭУ (Минск)

Б. И. Попов

кандидат технических наук

Институт энергетики НАН Беларуси (Минск)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБЪЕМОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СЦЕНАРНОГО ПОДХОДА В РАЗВИТИИ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ

В настоящей статье выполнены прогнозы потребления электрической и тепловой энергии для ряда сценариев экономического развития Республики Беларусь на периоде 2019–2030 гг. Использован методологический подход «сверху вниз», или нормативный метод, при котором ряд макроэкономических параметров и параметров потребления энергии задан как целевые показатели. Рассмотрено также агрегированное потребление не только электрической и тепловой энергии, но и прочих топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), включая используемые экономикой первичную энергию и продукты ее переработки, как того требует системный подход к проблеме.

Ключевые слова: валовой внутренний продукт; топливно-энергетические ресурсы; электроэнергия; тепловая энергия; энергоёмкость; электроёмкость; теплоёмкость.

Объемы потребления топливно-энергетических ресурсов и в частности электрической и тепловой энергии связаны, как известно, с объемом валового внутреннего продукта (ВВП). Эта связь отображается энергоёмкостью ВВП, которая может быть разбита на составляющие, такие как электроёмкость, теплоёмкость и энергоёмкость по прочим ресурсам валового потребления энергии.

Рассмотрим следующие сценарии развития ВВП, первые из которых соответствуют Национальной стратегии устойчивого развития на период до 2030 года (далее — Национальная стратегия) [1]:

1) сценарий минимум — характеризуется минимальным темпом роста ВВП — в 1,5 раза в 2030 г. по сравнению с 2016 г.

2) сценарий максимум — характеризуется максимальным темпом роста ВВП — в 2 раза в 2030 г. по сравнению с 2016 г.

3) сценарий базовый — базируется на существующих в настоящее время тенденциях. Прогноз был осуществлен на основе анализа ВВП за 2000–2018 гг. с помощью степенной функции $y = 38319x^{0,3398}$ ($R^2 = 0,9212$).

Фактические данные по развитию объема ВВП за 2005–2018 гг. и соответствующие Национальной стратегии по ВВП в 2030 г. прогнозные значения (для которых принята линейная модель) в ценах 2005 г. показаны на рис. 1. Как базовый принят 2005 г., так как в ценах этого года приводятся данные по характеристикам энергопотребления в последнем сборнике Национального статистического комитета «Энергобалансы» [2].

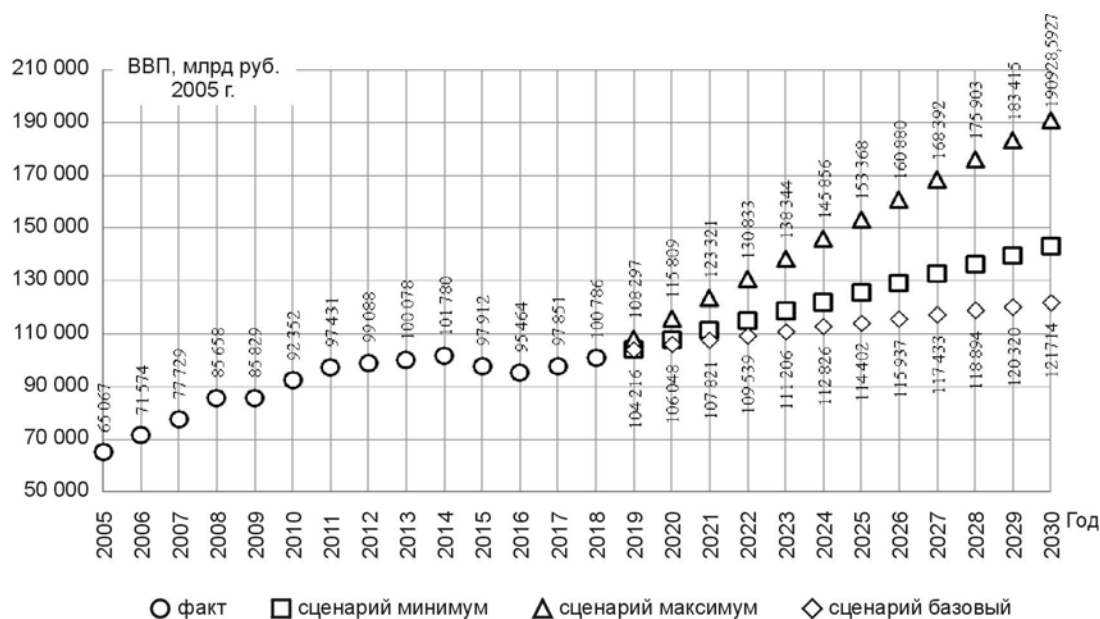


Рис. 1. Сценарии развития ВВП

Источники: разработано авторами.

Укрупненная структура ВВП с прогнозом ее развития до 2030 г., выполненная по данным Статистического ежегодника, показаны на рис. 2.

Абсолютные величины составляющих ВВП для сценариев минимум и максимум в ценах 2005 г. показаны на рис. 3–5.

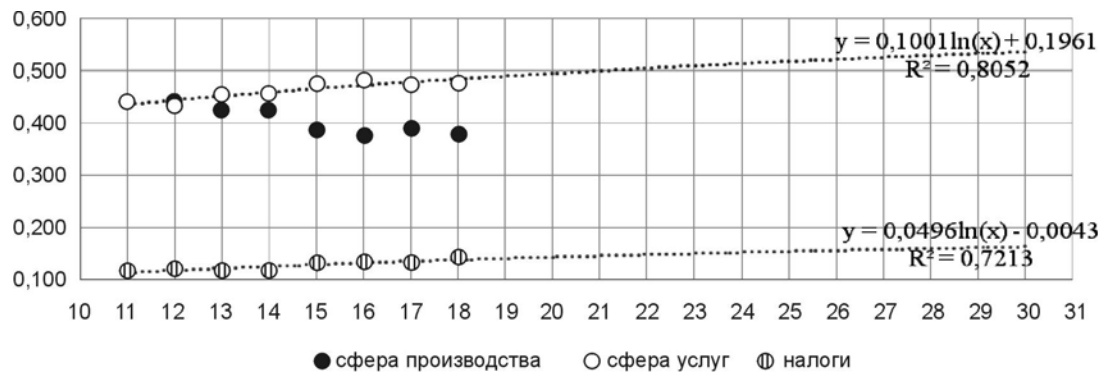


Рис. 2. Развитие структуры ВВП

Источник: разработано авторами.

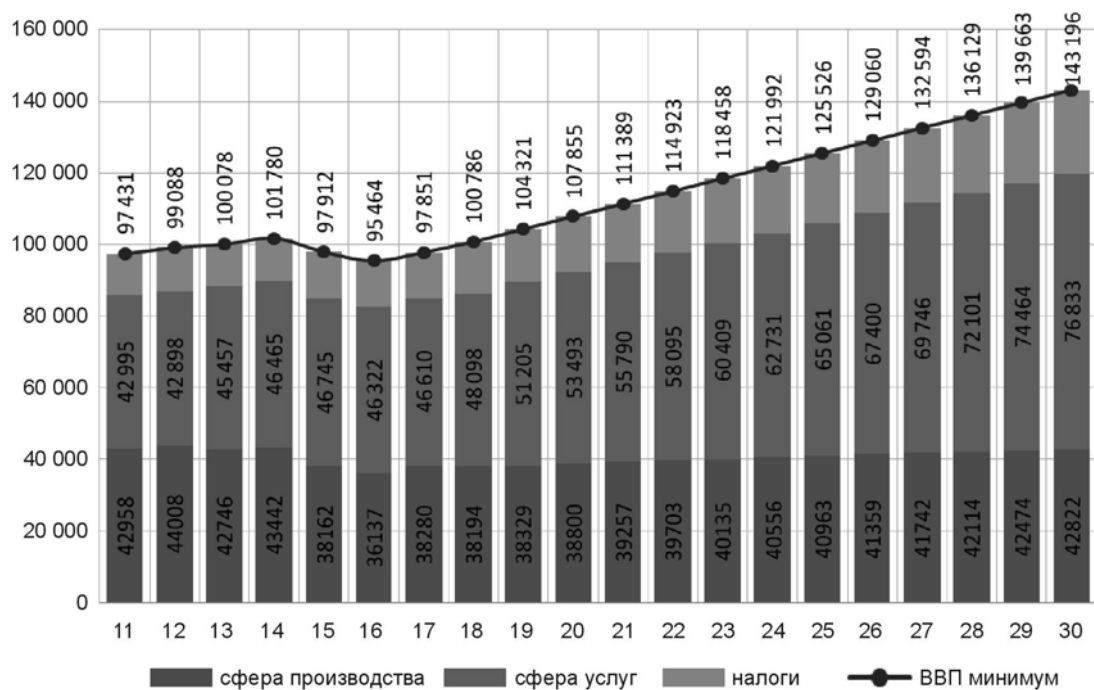


Рис. 3. Сценарий ВВП минимум

Источник: разработано авторами.

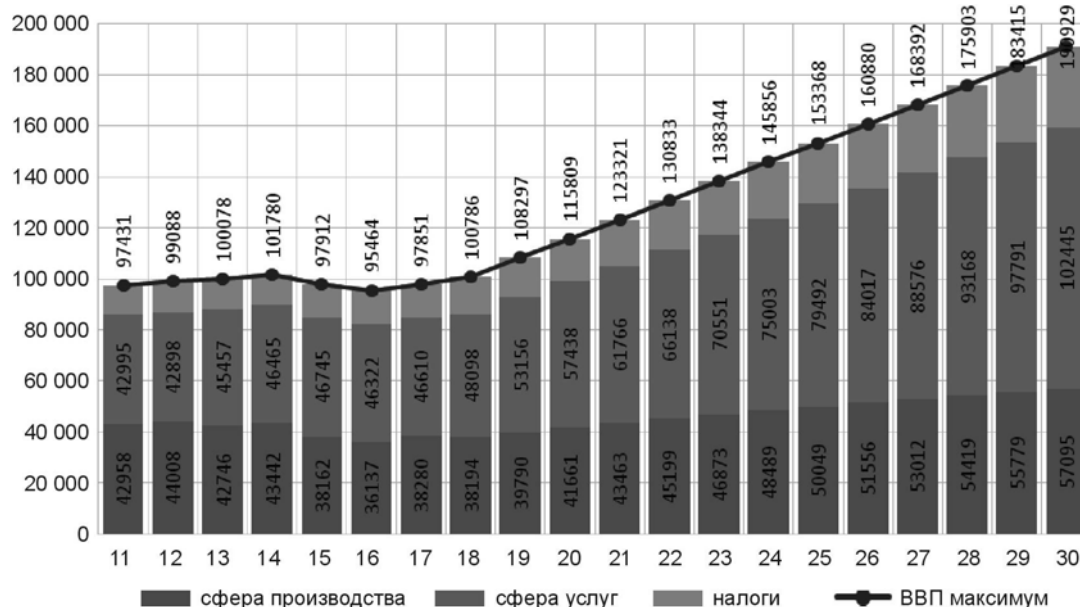


Рис. 4. Сценарий ВВП максимум

Источники: разработано авторами.

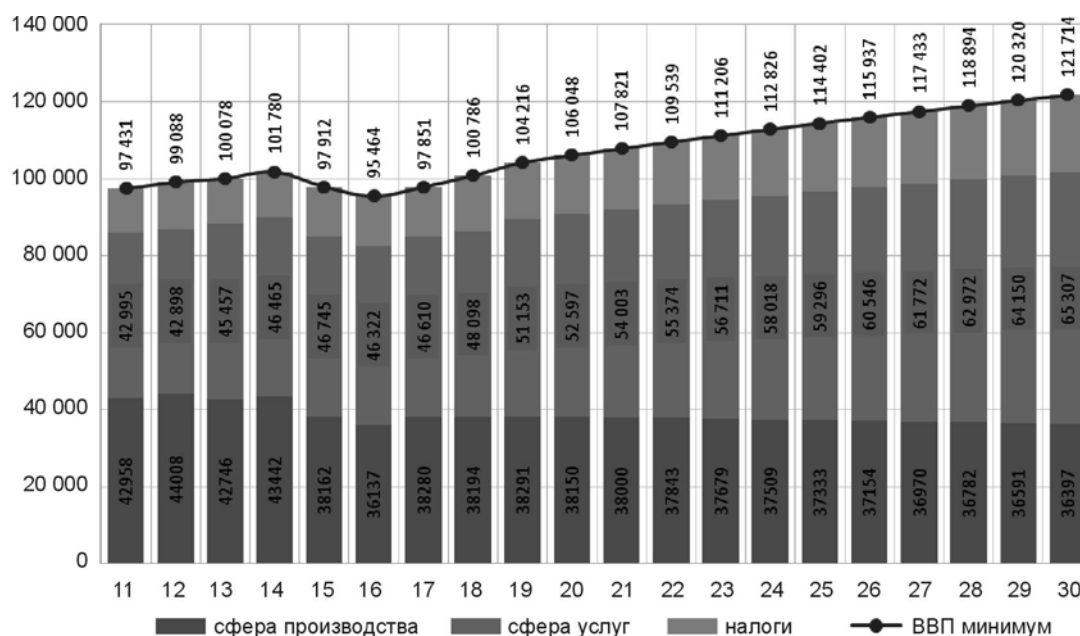


Рис. 5. Сценарий ВВП базовый

Источники: разработано авторами.

В Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития [1] наводим целевые показатели по повышению энергоэффективности экономики, приведенные в табл. 1.

Таблица 1. Показатели энергоэффективности

Показатель	2015 г.	2020 г.	2025 г.	2030 г.
Энергоемкость ВВП, кг у.т./млн руб. 2005 г.	372	285	245	220
Отношение объема производства (добычи) первичной энергии из возобновляемых источников энергии к валовому потреблению ТЭР, %	5,5	6	7	8
Отношение объема производства (добычи) первичной энергии к валовому потреблению ТЭР, %	13,9	16	17	18

Источники: составлено авторами на основе [3].

Энергоемкость ВВП рассчитывается в соответствии с методологией Национального статистического комитета как отношение валового потребления топливно-энергетических ресурсов к ВВП [2]. Для расчета энергоемкости ВВП и ее составляющих по годам рассмотренного периода использовались агрегированные топливно-энергетические балансы (ТЭБ), приведенные в табл. 2–5. ТЭБ получены по данным Национального статистического комитета [2].

На рис. 6 показаны фактические данные по энергоемкости ВВП за период 2005–2018 гг. Порядковый номер года 5 соответствует 2005 г.

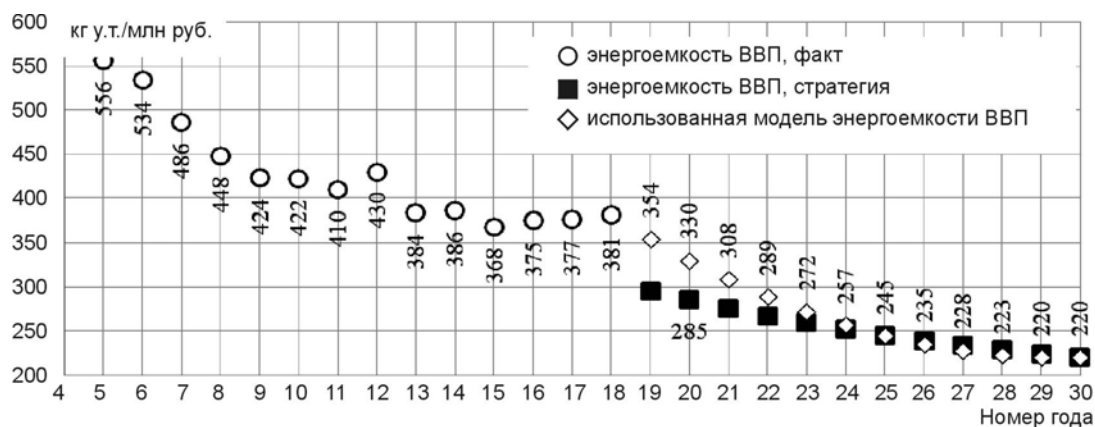


Рис. 6. Модель энергоемкости ВВП

Источники: разработано авторами.

На рис. 6 показана также энергоемкость ВВП, принятая в качестве целевого показателя в Национальной стратегии. Однако, как видно из рисунка, использование такой модели приводит к значительному скачку в энергоемкости 2020 г. по отношению к фактической в 2018 г. (354–285 кг у.т./млн руб.). Поэтому далее использована скорректированная полиномиальная модель второго порядка, в которой в качестве опорных точек приняты фактическое значение в 2018 г. и целевые значения энергоемкости в соответствии с Национальной стратегией в 2025 и 2030 гг.

Для выполнения согласованного прогноза потребления электрической и тепловой энергии, отвечающего системному подходу на основе связи потребления энергии с ВВП,

недостаточно знать интегральную энергоемкость ВВП, показанную на рис. 6, необходимо знать составляющие, дающие в сумме интегральную энергоемкость:

- электроемкость ВВП, определенную как отношение потребленной электрической энергии к ВВП;
- теплоемкость ВВП, являющуюся отношением потребленной тепловой энергии к ВВП;
- энергоемкость ВВП по отношению к прочим ТЭР.

Очевидно, что согласованное решение можно найти, только задавая две из составляющих и рассчитывая третью как разницу между интегральной энергоемкостью и суммой двух заданных составляющих.

В нормативных правовых документах по развитию топливно-энергетического комплекса Республики Беларусь нет целевых показателей по соотношению составляющих энергоемкости. Однако несомненной является тенденция к увеличению электропотребления в республике, связанная не только с необходимостью внедрения современных электроемких технологий в секторах экономики, но и с обеспечением экономически эффективного режима работы Белорусской атомной электростанции и всей электро- и теплогенерирующей системы. В связи с этим альтернативой заданию электроемкости ВВП может быть задание целевых значений потребления электрической энергии по годам прогнозного периода.

На рис. 7 показан целевой прогноз потребления электроэнергии для всех рассмотренных сценариев, построенный как полиномиальная модель. В качестве опорных точек модели использованы фактическое потребление в 2016–2018 гг. и целевой показатель в 2030 г. 47,0 млрд кВт·ч, что соответствует 5781 т у.т.

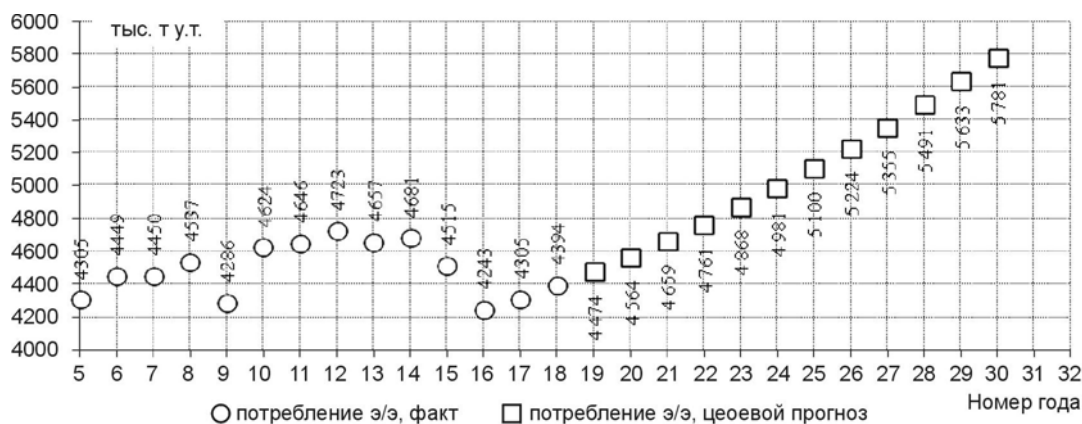


Рис. 7. Целевой прогноз потребления электроэнергии

Источники: разработано авторами.

Заданные целевым прогнозом значения объемов потребления электрической энергии и ход ВВП приводят к величинам электроемкости ВВП для рассмотренных сценариев, показанным на рис. 8.

Тенденция развития потребления тепловой энергии характеризуется постоянным снижением. На рис. 8 приведена доля теплоемкости ВВП как составляющей интегральной энергоемкости по фактическим данным, полученным из энергобалансов. Для последующих расчетов примем для всех рассмотренных сценариев логарифмическую модель этой доли, также показанную на рис. 9.

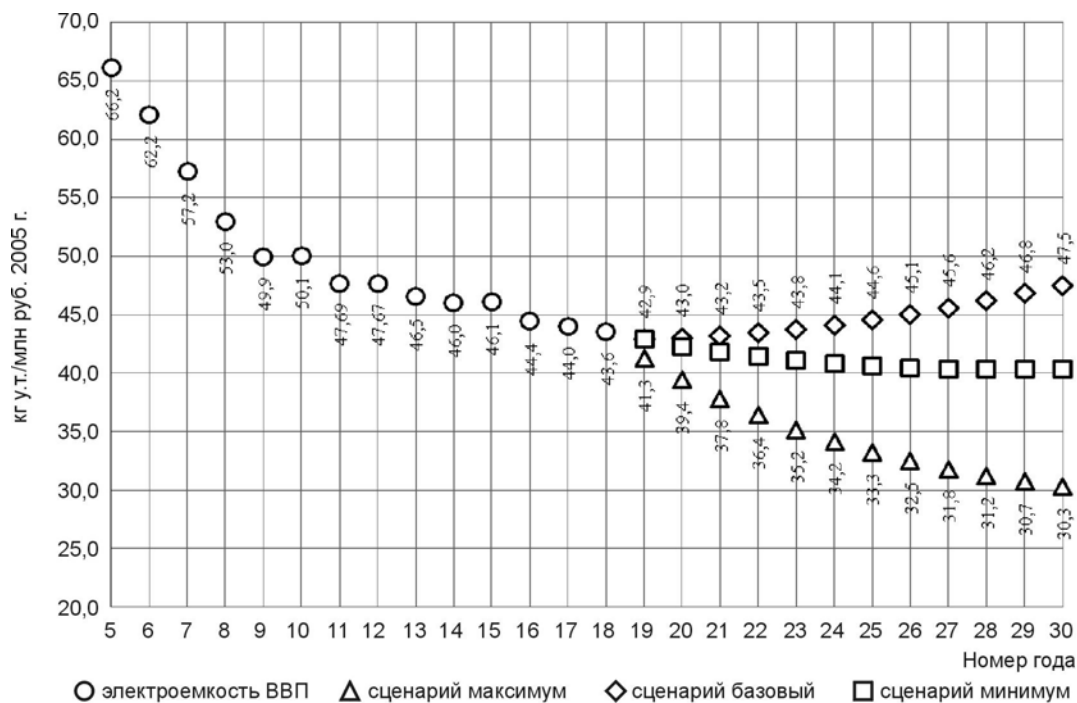


Рис. 8. Электроёмкость ВВП

Источники: разработано авторами.

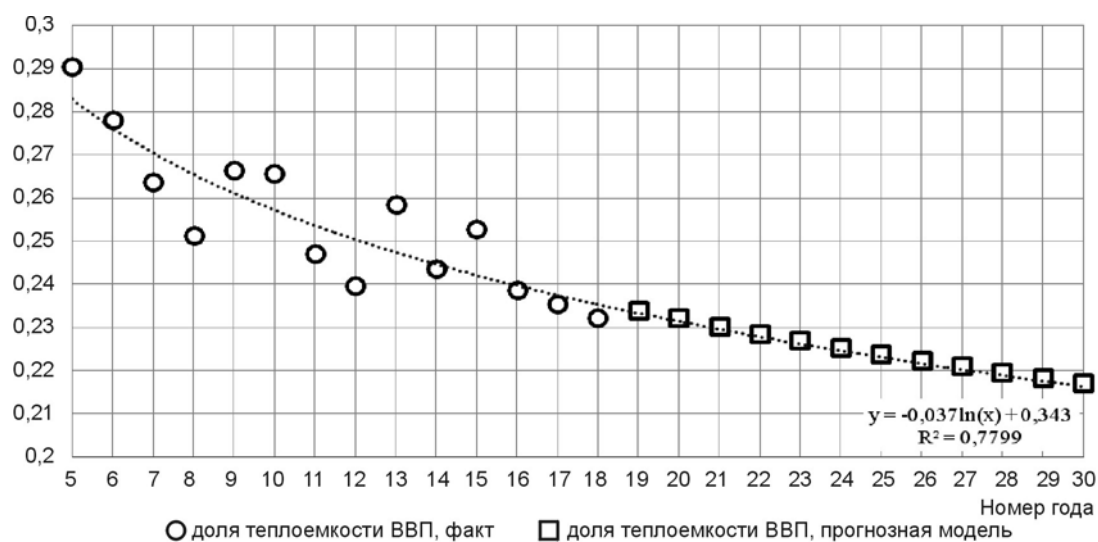


Рис. 9. Модель развития составляющей интегральной энергоёмкости ВВП по теплоёмкости

Источники: разработано авторами.

Использование показанной на рис. 9 модели и интегральной энергоемкости, представленной на рис. 6, приводит к теплоемкости ВВП, одинаковой для всех рассмотренных сценариев, показанной на рис. 10.

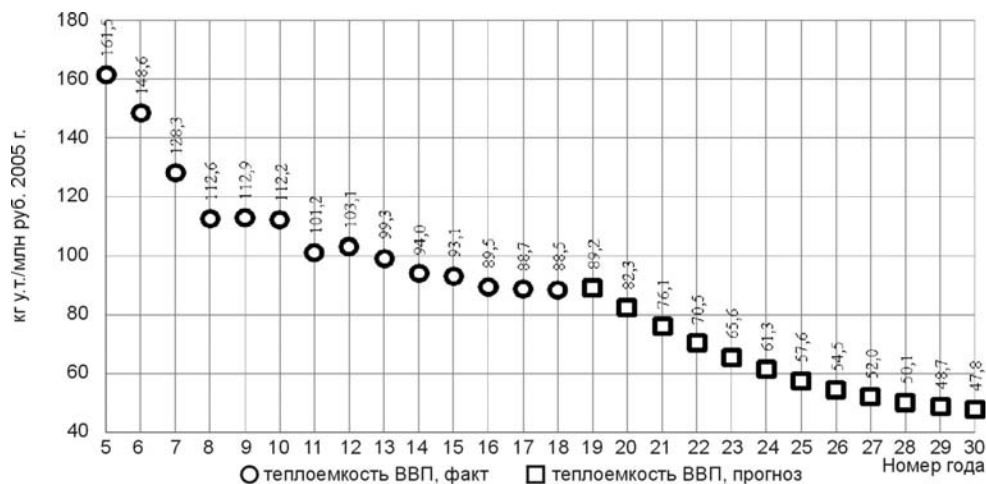


Рис. 10. Теплоемкость ВВП

И с т о ч н и к: разработано авторами.

Энергоемкость по прочим ТЭР, показанную на рис. 11, получим как разницу между интегральной энергоемкостью и суммой электроемкости и теплоемкости ВВП.

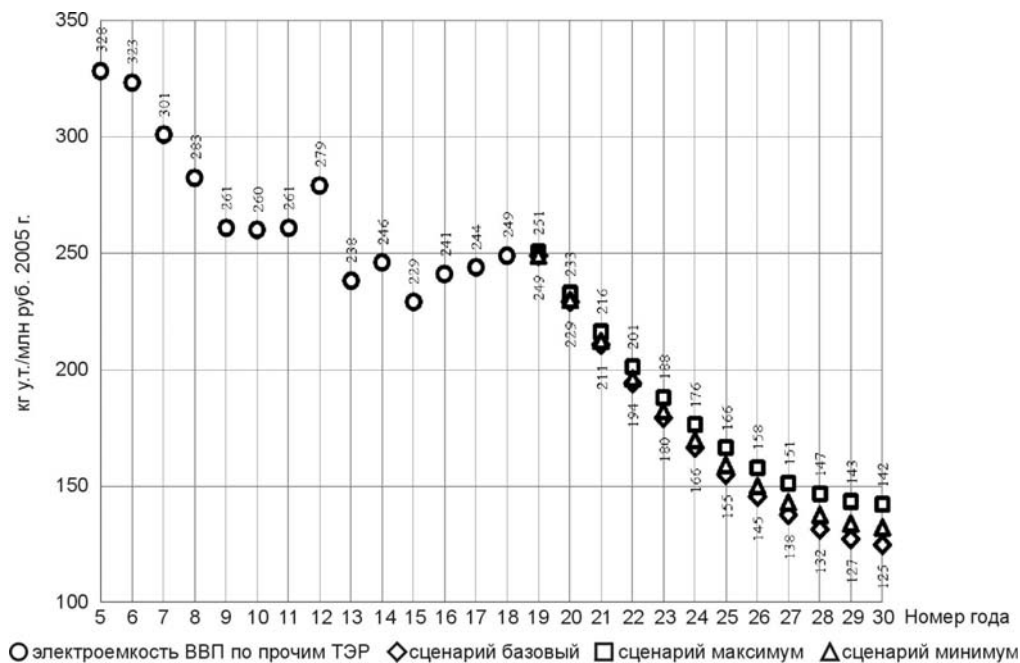


Рис. 11. Энергоемкость ВВП по прочим ТЭР

И с т о ч н и к: разработано авторами.

На рис. 12 целевой прогноз потребления электроэнергии представлен в млн кВт·ч.

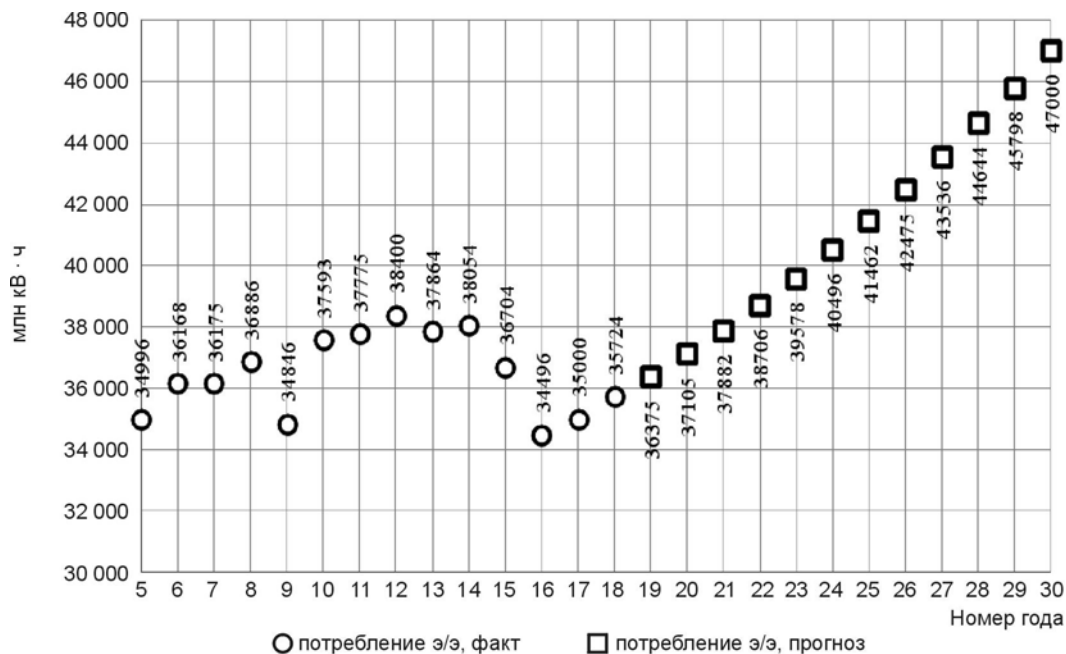


Рис. 12. Прогноз потребления электроэнергии (математическое ожидание)

Источники: разработано авторами.

Потребление электроэнергии экономикой по годам в силу влияния большого числа случайных факторов представляет собой вероятностную величину, которую можно представить как тенденцию плюс случайное отклонение. Поэтому приведенный на рис. 12 прогноз следует рассматривать именно как тенденцию, вокруг которой будут разбросаны (будем предполагать, что с нормальным распределением) вероятностные значения внутри некоторого интервала. Ниже приводится оценка этого интервала.

На рис. 13 представлена тенденция фактического потребления в виде линейной модели $y = b_0 + b_1x$, где x — номер года; y — значение электропотребления. Очень близкие результаты дает использование экспоненциальной или логарифмической модели. Лучшими статистическими свойствами обладает полиномиальная модель второго порядка, но ее нецелесообразно использовать, поскольку она приводит к падению потребления в прогнозируемом периоде, что не совпадает с желаемым потреблением.

Как видно из рис. 13, линейная модель фактического электропотребления практически совпадает с математическим ожиданием (МО) из-за статистической незначимости коэффициента b_1 . На рисунке изображен также интервал $МО \pm 3\sigma$, в который укладываются все значения фактического потребления. Величина σ , равная для данного распределения 1281 млн кВт·ч, представляет собой среднеквадратичное отклонение фактических значений от МО. Используем далее этот интервал для определения «коридора», в который будут укладываться прогнозные значения электропотребления, поскольку для нормального распределения интервал, в который попадают со 100%-ной вероятностью значения случайной величины, равен $МО \pm 3\sigma$.

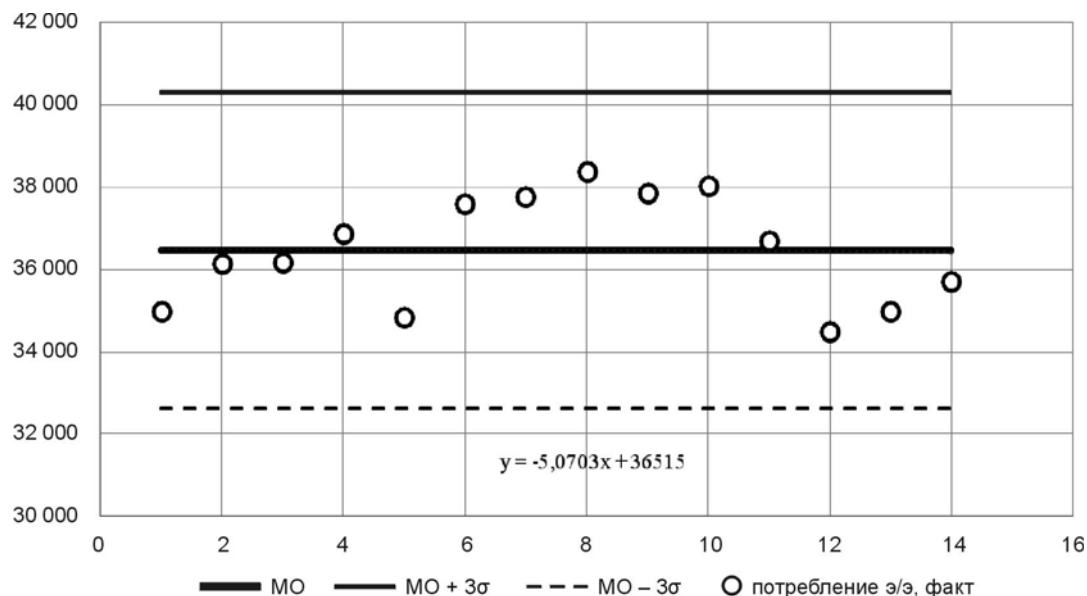


Рис. 13. Тенденция развития электропотребления и интервал фактических значений

Источники: разработано авторами.

В табл. 2 приведены прогнозные минимальные и максимальные значения электропотребления по пятилетиям.

Таблица 2. Прогнозные значения электропотребления, млн кВт·ч

Электропотребление	2020 г.	2025 г.	2030 г.
Математическое ожидание: наиболее вероятное	37 105	41 462	47 000
интервал	33 262–40 948	37 619–45 305	43 157–50 843

Источники: составлено авторами.

Прогноз потребления тепловой энергии (точнее его математическое ожидание) в тыс. Гкал вместе с фактическим потреблением с 2005 по 2018 г. приведен на рис. 14.

Оценка интервалов возможных отклонений значений теплотребления от математического ожидания выполнялась по аналогии с предыдущим разделом. Однако здесь математическое ожидание фактических значений представлялось с помощью линейной модели, которая имеет статистически значимый коэффициент b_1 . Величина σ равна в данном случае 2465 тыс. Гкал и использовалась для всех рассмотренных сценариев. В соответствии с этим в табл. 3 приведены интервалы $\pm 3\sigma$, в которые с практически 100%-ной вероятностью попадут прогнозные значения теплотребления.

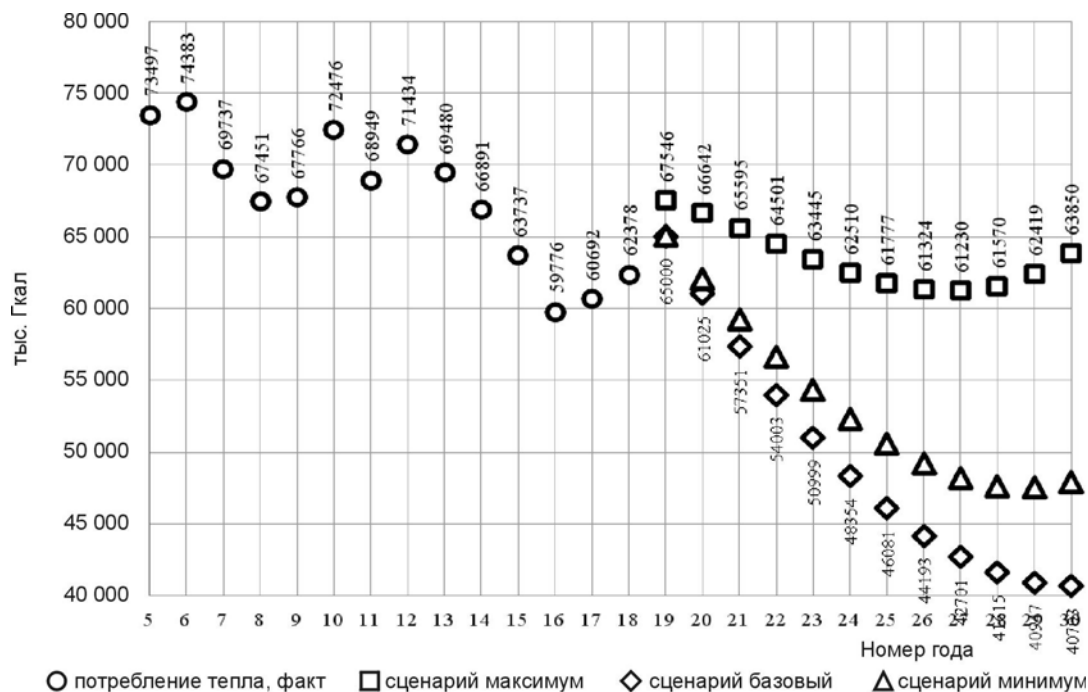


Рис. 14. Прогноз потребления тепловой энергии

Источники: разработано авторами.

Таблица 3. Прогнозные значения теплоснабжения, тыс. Гкал

Теплоснабжение	2020 г.	2025 г.	2030 г.
Сценарий максимум: наиболее вероятное интервал	66 642 60 149–74 942	61 777 55 114–69 906	63 850 55 022–698 15
Сценарий минимум: наиболее вероятное интервал	62 065 57 669–72 462	50 562 44 886–59 679	47 888 40 133–54 926
Сценарий базовый: наиболее вероятное интервал	61 025 53 630–68 420	46 081 38 686–53 476	40 703 33 308–48 098

Источники: составлено авторами.

К категории «прочие ТЭР» относятся первичная энергия и продукты ее переработки, потребленные в секторах экономики. В соответствии с системным подходом энергоемкость ВВП по этой категории ТЭР должна быть согласована с энергоемкостью ВВП по электрической и тепловой энергии значениями, показанными на рис. 11. Такое согласование необходимо для достижения целевых значений интегральной энергоемкости ВВП, приведенных в табл. 1.

Фактическое потребление и прогноз потребления прочих ТЭР с 2005 по 2018 г. приведены на рис. 15.

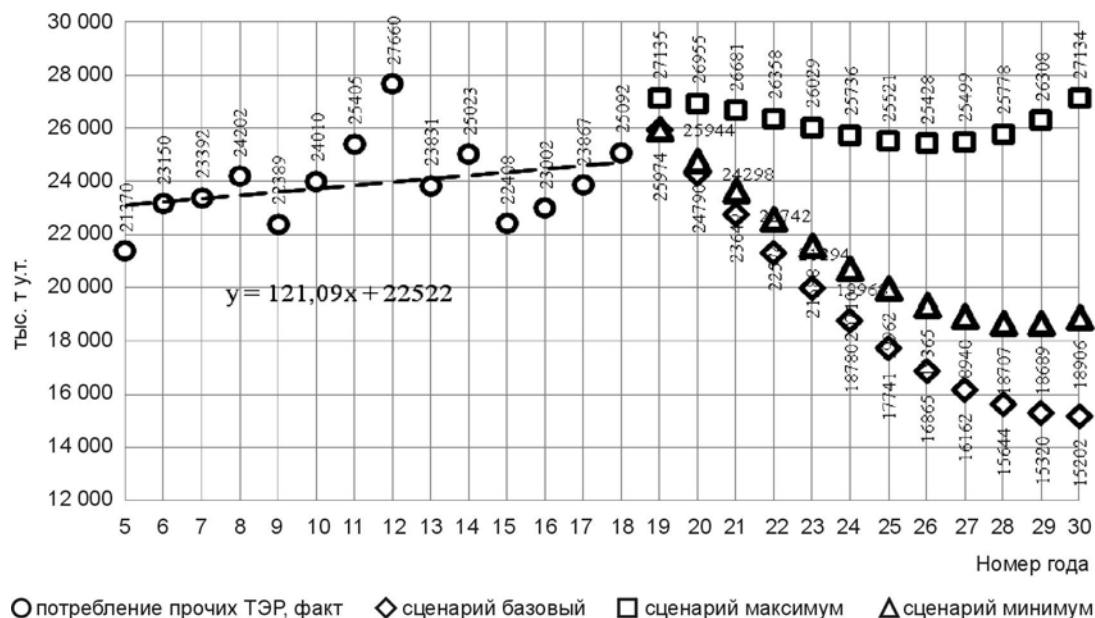


Рис. 15. Прогноз потребления прочих ТЭР

Источники: разработано авторами.

На рис. 15 показано также МО фактического потребления в виде линейной функции. Среднеквадратичное отклонение σ составляет в данном случае 1424 т у.т. В табл. 4 приведены интервалы $\pm 3\sigma$, в которые попадают прогнозные значения потребления прочих ТЭР.

Таблица 4. Прогнозные значения потребления прочих ТЭР, тыс. т у.т.

Потребление прочих ТЭР	2020 г.	2025 г.	2030 г.
Сценарий максимум: наиболее вероятное интервал	26 955 22 862–31 407	25 521 21 464–30 008	27 134 22 036–30 581
Сценарий минимум: наиболее вероятное интервал	24 790 21 702–30 247	19 962 16 438–24 983	18 906 14 417–22 961
Сценарий базовый: наиболее вероятное интервал	24 298 20 026–28 570	17 741 13 469–22 013	15 202 10 930–19 474

Источники: составлено авторами.

Как видно из табл. 3, 4, наибольшего показателя прогнозные значения потребления тепловой энергии и прочих ТЭР достигают при сценарии максимум, который предусматривает рост ВВП к 2030 г. в 2 раза, а наименьшего — при сценарии базовый, который предусматривает текущую тенденцию роста ВВП.

На основе разработанных прогнозов была составлена табл. 5.

Таблица 5. Прогнозы развития энергопотребления
по различным видам энергоресурсов на период до 2030 г.

Показатель	2020 г.	2025 г.	2030 г.	Интервал
Электроэнергия, млн кВт·ч:				
все сценарии	37 105	41 462	47 000	±3843
Тепловая энергия, тыс. Гкал:				
сценарий максимум	66 642	61 777	63 850	±7396
сценарий минимум	62 065	50 562	47 888	
сценарий базовый	61 025	46 081	40 703	
Прочие ТЭР, тыс. т у.т.:				
сценарий максимум	26 955	25 521	27 134	±4273
сценарий минимум	24 790	19 962	18 906	
сценарий базовый	24 298	17 741	15 202	

Источники: составлено авторами.

Проведенное исследование показало, что в 2020–2030 гг. ожидается значительное колебание энергопотребления в зависимости от темпов роста ВВП и степени реализации направлений развития национальной экономики и энергетического сектора Республики Беларусь.

Источники

1. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года [Электронный ресурс] // Министерство экономики Республики Беларусь. — Режим доступа: <http://www.economy.gov.by/uploads/files/NSUR2030/Natsionalnaja-strategija-ustojchivogo-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitija-Respubliki-Belarus-na-period-do-2030-goda.pdf>. — Дата доступа: 02.12.2019.
2. Энергетический баланс Республики Беларусь 2019 : стат. сб. [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. — Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by/upload/iblock/0fb/0fb7ce26b52081cdb399b9b1e1e9d52c.pdf>. — Дата доступа: 02.12.2019.
3. Попов, Б. И. Критерии оптимальности функционирования и развития электроэнергетики / Б. И. Попов, А. И. Быков // Энерг. стратегия. — 2016. — № 2. — С. 38–41.
Popov, B. I. Criteria for the optimality of the functioning and development of the electric power industry / B. I. Popov, A. I. Bykov // Energy Strategy. — 2016. — № 2. — P. 38–41.
4. Статистический ежегодник Республики Беларусь 2019 : стат. сб. [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. — Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by/upload/iblock/35d/35d07d80895909d7f4fdd0ea36968465.pdf>. — Дата доступа: 02.12.2019.
5. Зорина, Т. Г. Анализ энергоемкости и ее влияния на экспорт продукции белорусских товаропроизводителей / Т. Г. Зорина, Е. С. Шершуневич // Вестн. Ростов. гос. экон. ун-та (РИНХ). — 2016. — № 4 (56). — С. 53–59.
Zorina, T. G. Analysis of energy intensity and its influence on export of products of Belarusian producers / T. G. Zorina, E. S. Shershunovich // Bull. of Rostov State Econ. Univ. (RINH). — 2016. — № 4 (56). — P. 53–59.

Статья поступила в редакцию 22.11.2019 г.