

ДЕКАРБОНИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА: РАЗРАБОТКА КАЛЬКУЛЯТОРА СОКРАЩЕНИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

О. А. ЛЮБЧИК¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь

В исследовании рассматривается влияние энергетического сектора Республики Беларусь на объем выбросов парниковых газов, а также их динамика. Определено сокращение выбросов парниковых газов энергетическим сектором за счет применения возобновляемых источников энергии и ядерного топлива в 2015–2020 гг. Отдельно рассмотрены отрасли электроэнергетики и теплоэнергетики. Определен источник энергии, обеспечивший наибольшее сокращение выбросов. Предложен программный продукт – Калькулятор сокращения выбросов парниковых газов, позволяющий определить сокращение или потенциал сокращения выбросов парниковых газов при энергоснабжении от более чистых источников энергии либо при реализации энергосберегающих мероприятий. Данный продукт не требует специальной подготовки пользователя, имеет интуитивно понятное оформление, позволяет производить расчеты для потребителей топливно-энергетических ресурсов любой категории. Описаны обе методики расчета, используемые в Калькуляторе сокращения выбросов парниковых газов. Доступен расчет по универсальной методике, где пользователь может варьировать исходные условия в широком диапазоне значений и моделировать различные ситуации, а также упрощенный расчет по национальной методике, где необходим ввод только экономии топлива. По первой методике в качестве результатов расчета выводятся значения сокращения выбросов по отдельным источникам энергии, доля возобновляемых источников энергии, а также по отдельным источникам энергии. Данные представлены, в том числе, отдельно по электроэнергетике и теплоэнергетике. Результаты доступны и в графической форме – в виде гистограмм. Возможен экспорт полученных результатов в текстовый документ. При расчете по второй методике выводится только общее значение сокращения выбросов парниковых газов. Полученные по универсальной методике расчеты суммарные значения сокращения выбросов парниковых газов наносятся на графическое изображение, доступное к скачиванию. Данное изображение может применяться для отражения высокого уровня экологической ответственности производителя продукции или поставщика услуг, их заботе об окружающей среде и принимаемым мерам, препятствующим росту темпов глобального потепления. Оценен потенциальный эффект широкого доступа потребителей топливно-энергетических ресурсов к расчету сокращения выбросов парниковых газов.

Ключевые слова: выбросы парниковых газов; энергетический сектор; возобновляемые источники энергии; ядерная энергия; сокращение выбросов; калькулятор.

Благодарность: Евгению Ивановичу Бертош – старшему научному сотруднику, Отдел международного научного сотрудничества и климата, РУП «БелНИЦ «Экология»; Дмитрию Владимировичу Мелеху – заместителю заведующего отделом международного научного сотрудничества и климата, РУП «БелНИЦ «Экология» за экспертную оценку и ценные советы.

Образец цитирования:

Любчик ОА. Декарбонизация энергетического сектора: разработка Калькулятора сокращения выбросов парниковых газов. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2023;2:87–95.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2023-2-87-95>

For citation:

Liubchik VA. Energy sector decarbonization: avoided greenhouse gas emissions Calculator developing. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2023;2:87–95. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2023-2-87-95>

Автор:

Ольга Андреевна Любчик – старший преподаватель кафедры ЮНЕСКО «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии».

Author:

Volha A. Liubchik, senior lecturer at the UNESCO department «Energy conservation and renewable energy sources». olga.liubchik@yandex.ru

ENERGY SECTOR DECARBONIZATION: AVOIDED GREENHOUSE GAS EMISSIONS CALCULATOR DEVELOPING

V. A. LIUBCHYK^a

^aBelarusian National Technical University
65 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220013, Belarus

The presented materials show the impact of the energy sector of the Republic of Belarus on the volume of greenhouse gas emissions, as well as the dynamics of emissions. The reduction of greenhouse gas emissions by the energy sector through the use of renewable energy sources and nuclear energy in the 2015–2020 has been determined. The branches of electric power industry and thermal power industry are considered separately. A source of energy that has provided the greatest reduction in emissions has been identified. A software product – Avoided Greenhouse Gas Emissions Calculator – is described; it allows determining the reduction or potential for reducing greenhouse gas emissions when energy is supplied from clean energy sources or when energy-saving measures are implemented. This product does not require special user training, has an intuitive design, and allows making calculations for consumers of fuel and energy resources of any category. Calculations according to the universal method, where the user can vary the source data in a wide range of values and simulate different situations, and according to the national simplified method, where only fuel economy needs to be entered, are available. When calculating according to the first method, the values of avoided emissions by each energy source and the share of renewable energy sources, also for each energy source, are displayed as calculation results. The data are presented separately for the electric power industry and heat power industry. The results are also available in graphical form – in the form of histograms. It is possible to export obtained results to a text document. When calculating according to the second method, only the total value of avoided greenhouse gas emissions is displayed. The total values of avoided greenhouse gas emissions obtained by the universal calculation method are also applied to a graphic image available for downloading. This image can be used to reflect the high level of environmental responsibility of a product manufacturer or service provider, their concern for the environment and the measures taken to prevent increase of global warming rate. The potential effect of wide access for consumers of fuel and energy resources to Avoided Greenhouse Gas Emissions Calculator is estimated.

Keywords: greenhouse gas emissions; energy sector; renewable energy sources; nuclear energy; emissions reduction; calculator.

Acknowledgments: Evgeniya Ivanovna Bertosh, senior researcher, scientific research cooperation and climate department at the RUE «BelSRC «Ecology», Dzmitry Vladimirovich Melekh, deputy heard at the scientific research cooperation and climate department at the RUE «BelSRC «Ecology» for expert assessment and valuable advice.

Введение

Республика Беларусь, являясь стороной Рамочной Конвенции Организации объединенных Наций об изменении климата, согласно принятым обязательствам, предпринимает действия по сокращению выбросов парниковых газов в окружающую среду. На регулярной основе публикуются кадастры антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями всех парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, в том числе выбросы по категории «Энергетика». Энергетический сектор является наиболее крупным источником выбросов парниковых газов. За последнее десятилетие выбросы энергетического сектора составляли 64–65 %, а выбросы категории 1A1 «Энергетическая промышленность», куда входят производство электрической и тепловой энергии, а также производство топлив, в том числе переработка нефти – 35–38 % от суммы совокупных выбросов парниковых газов без учета сектора «Землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство» (далее – ЗИЗЛХ)¹ [1; 2]. Следует отметить, что за 2010–2020 гг. выбросы парниковых газов в энергетическом секторе страны удалось сократить на 5,4 %, а выбросы энергетической промышленности – на 8,0 %.

Материалы и методы исследования

Согласно исследованию Международного агентства IRENA [3], наибольшее снижение выбросов парниковых газов будет происходить за счет сочетания использования возобновляемых источников энергии, электрификации секторов конечного потребления и повышения энергоэффективности. За последние 10 лет основной эффект по декарбонизации за счет смены видов топлива в мире наблюдался именно за счет развития возобновляемой энергетики [4].

¹Сводная информация о выбросах парниковых газов в Беларуси. Профили парниковых газов (Приложение I. Рамочная конвенция ООН об изменении климата).

По состоянию на 2020 г., в Республике Беларусь наибольший вклад в сокращение выбросов за счет смены источника энергоснабжения внесли возобновляемые источники энергии. Достигнутые результаты в областях электро- и теплоэнергетики представлены на рис. 1 и 2.

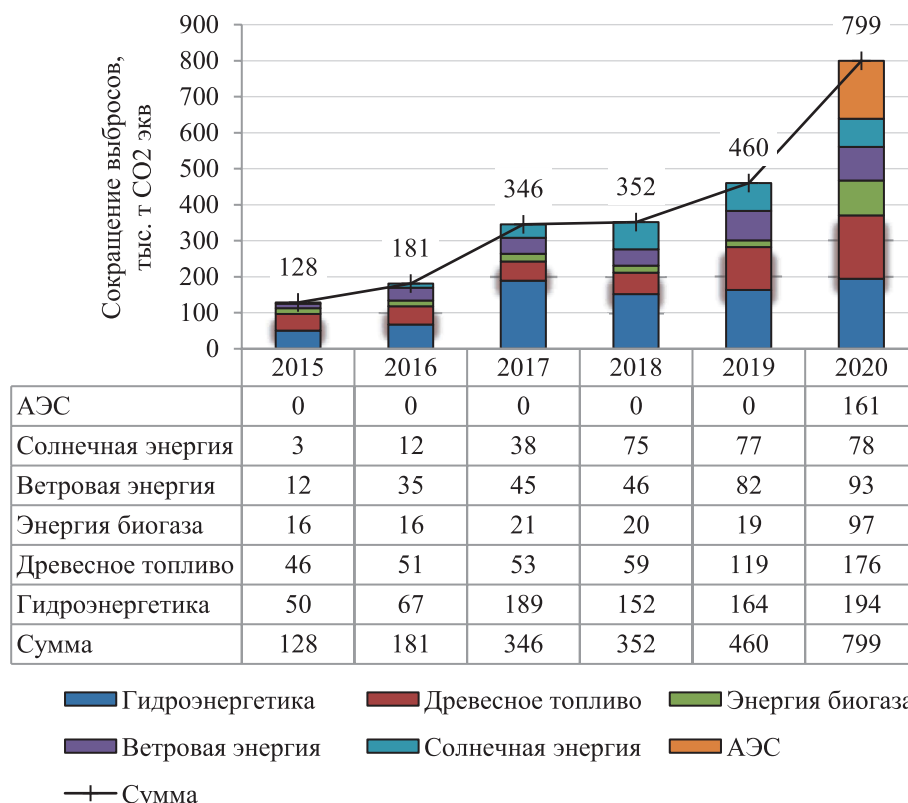


Рис. 1. Снижение выбросов парниковых газов в электроэнергетике в зависимости от источника, тыс. т CO₂ экв.

Fig. 1. Avoided greenhouse gas emissions in the power industry depending on the source, thousand tons of CO₂ eq.

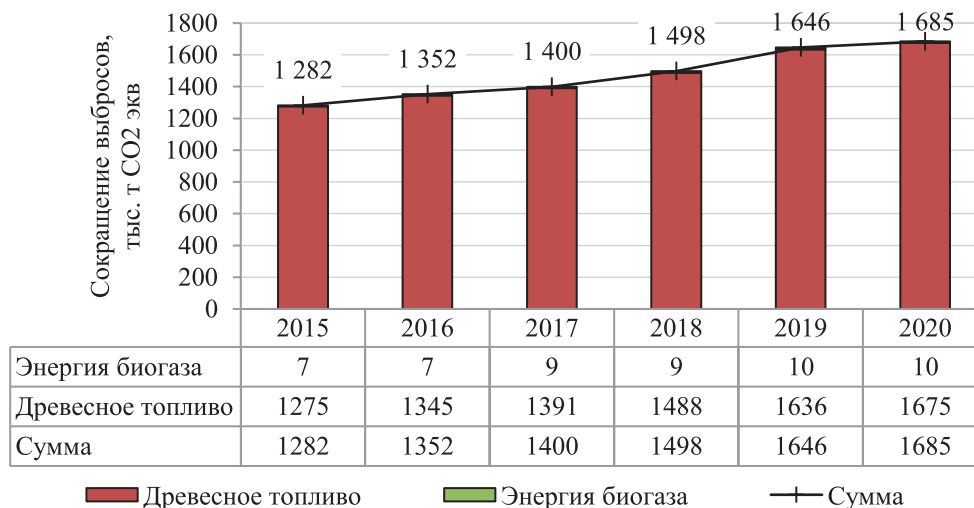


Рис. 2. Снижение выбросов парниковых газов в теплоэнергетике в зависимости от источника, тыс. т CO₂ экв.

Fig. 2. Avoided greenhouse gas emissions in thermal power industry depending on the source, thousand tons of CO₂ eq.

Общий вклад чистых источников энергии в снижение выбросов парниковых газов стационарными источниками энергии отображен на рис. 3.



Рис. 3. Снижение выбросов парниковых газов стационарными источниками энергии в зависимости от источника, тыс. т CO₂ экв.

Fig. 3. Avoided greenhouse gas emissions from stationary energy sources, depending on the source, thousand tons of CO₂ eq.

Сокращение выбросов, проиллюстрированное на рис. 1–3, определено с учетом замещения аналогичного количества энергии, выработанного при сжигании ископаемых топлив. В расчетах учтены выбросы на протяжении всего жизненного цикла как для замещаемых, так и для замещающих источников энергии.

Как следует из рис. 1–3, наибольший вклад из источников энергии в декарбонизацию энергетики вносит древесное топливо, в первую очередь за счет активного его применения в области теплоснабжения. Вклад остальных энергоисточников в общее снижение выбросов парниковых газов значительно меньше. При детальном рассмотрении только электроэнергетики можно отметить сопоставимый вклад всех источников энергии в 2020 г., в то время как ранее существенно большее сокращение выбросов достигалось за счет гидроэнергетики. Достигнутые значения снижения выбросов парниковых газов не превышают 4 % от выбросов энергетического сектора, что, несомненно, крайне мало по сравнению с имеющимся потенциалом сокращения выбросов.

Для более интенсивного сокращения выбросов парниковых газов и вовлечения в этот процесс большего числа субъектов хозяйствования необходимы специальные инструменты. Значимое влияние сможет оказать доступность самостоятельной оценки и прогнозирования сокращения выбросов парниковых газов за счет использования возобновляемых источников энергии, перехода на экологически более чистое ископаемое топливо или экономии топлива при реализации энергосберегающих мероприятий. Важна доступность на любом уровне: как на государственном, так и на уровне небольшой компании или даже уровне индивидуального потребителя. Существующие методики оценки выбросов требуют высокой квалификации людей, проводящих оценку, глубокого понимания процессов и механизмов расчета и часто построения собственной расчетной программы. Готовые же продукты обычно затрагивают только одно узкое направление, ориентированы на конкретную страну или не учитывают полный жизненный цикл. Совокупность этих факторов делает расчет сокращения выбросов парниковых газов сложной задачей, что замедляет процессы декарбонизации энергетического сектора.

Результаты исследования и их обсуждение

С целью упрощения механизма расчета сокращения выбросов, повышения доступности расчетов на любом уровне потребления топливно-энергетических ресурсов и популяризации вопросов декарбонизации энергетики был разработан Калькулятор сокращения выбросов парниковых газов (далее –

Калькулятор) – программный продукт с интуитивно понятным интерфейсом. Механизмы расчета базируются на принятых в международном сообществе методиках и адаптированы для условий Республики Беларусь, учитывают особенности функционирования энергосистемы страны.

Алгоритм работы с Калькулятором представлен на рис. 4.

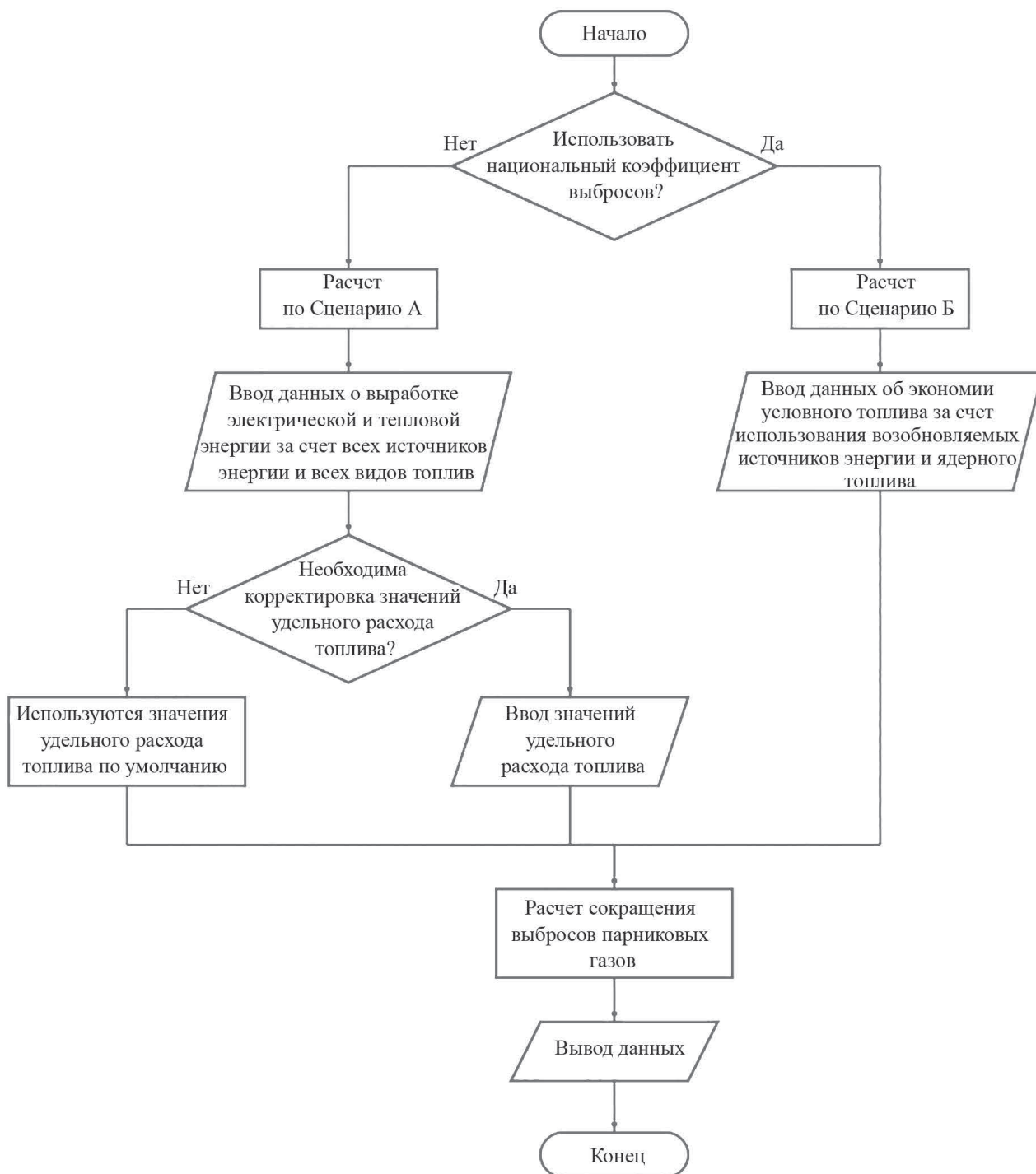


Рис. 4. Алгоритм работы с Калькулятором

Fig. 4. Algorithm for working with the Calculator

Калькулятор позволяет определить объем снижения выбросов парниковых газов при использовании возобновляемых источников энергии и ядерного топлива, заменяющих традиционные горючие ископаемые виды топлива, либо снижения выбросов за счет экономии топливно-энергетических ресурсов. Инструмент предполагает, что количество энергии, полученной от возобновляемых источников энергии или ядерного топлива, заменяет аналогичное количество энергии, произведенной за счет сжигания ископаемого топлива при существующей или заданной пользователем структуре топлив.

Расчеты могут проводиться для анализа производства отдельно электрической или тепловой энергии, а также их совокупности, что важно для Республики Беларусь, где имеется большая потребность в тепловой энергии и широко распространено централизованное теплоснабжение.

Возможно определение сокращения выбросов на полном жизненном цикле оборудования, что включает выбросы на этапе производства оборудования, его эксплуатации в течение процессов, происходящих после окончания срока службы оборудования (Универсальная методика, Сценарий А). Для расчета данного Сценария исходные данные по удельным выбросам парниковых газов для различных технологий приняты согласно данным Специального доклада о возобновляемых источниках энергии и смягчении последствий изменения климата Межправительственной группы экспертов по изменению климата [5]. В качестве базовых значений удельных выбросов выбраны медианные значения, полученные экспертами в результате анализа более чем двух тысяч источников. Базовые мировые значения были скорректированы для особенностей производства энергии в Республике Беларусь, при этом учтена комбинированная выработка электрической и тепловой энергии на теплоэлектроцентралях, позволяющая более эффективно использовать топливо и, как результат, производить меньше выбросов парниковых газов по сравнению с раздельной выработкой.

Альтернативный вариант расчета (Национальная методика, Сценарий Б) базируется на национальных выбросах парниковых газов, география которых ограничена границами государства. Такой подход позволяет оценить влияние энергетического сектора на экологию страны без учета косвенных выбросов, произведенных при, например, производстве либо доставке оборудования, а также принимает во внимание фактически производимые выбросы, которые могут несколько отличаться от медианных мировых значений. В данном Сценарии применяются национальные коэффициенты выбросов парниковых газов, определенные в [6]. В значении коэффициента уже учтена структура энергетического баланса, что упрощает их применение. Изменчивость структуры может приводить к необходимости регулярного обновления коэффициентов, однако за последнее десятилетие колебания коэффициентов от среднего значения не превышали 2 %, что делает допустимым применение средних значений. Важно отметить, что расчет по Сценарию Б без соответствующей корректировки национальных коэффициентов возможен только для Республики Беларусь и только для случая централизованного электро- и теплоснабжения в базовом варианте.

В качестве исходных данных для расчета по Сценарию А в Калькулятор должны быть введены объемы производства электрической и/или тепловой энергии, полученной за счет всех имеющихся источников энергии (рис. 5). Если производство энергии за счет сжигания ископаемых топлив остается незаполненным, либо введены значения, равные нулю, то сокращение выбросов рассчитывается по варианту замены природного газа как топлива базового варианта. Ввод отрицательных значений не допускается.

Калькулятор сокращения выбросов парниковых газов (ver. 0.4.0.25)

Ввод исходных данных

Универсальная методика расчета выбросов

Универсальная методика расчета, графики

Национальная методика расчета выбросов

Описание методики

Производство электрической энергии

☒ млн. кВт*ч ☐ тыс. кВт*ч ☐ кВт*ч

Гидроэнергетика	339
Древесное топливо	373
Биогаз	205
Ветроэнергетика	194
Энергия солнца	176
Ядерная энергия	338
Газ природный	34686
Мазут топочный	2132
Уголь	31

Производство тепловой энергии

☐ ТДж ☒ тыс. Гкал ☐ Гкал

Древесное топливо	6342
Биогаз	39
Газ природный	48922
Мазут топочный	1630
Уголь	703

Рис. 5. Вид части окна ввода исходных данных Калькулятора

Fig. 5. View of a part of the input data window of the Calculator

Дополнительно может быть установлен удельный расход топлива на отпуск электрической и тепловой энергии, иначе используются значения, установленные по умолчанию и соответствующие рекомендациям Департамента по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь по проведению расчетов в 2023 г.². Колебания удельных расходов топлива от средних значений

²Удельные расходы топлива на отпуск электро- и теплотенергии и потери в электро- и теплосетях, используемые в 2023 году в расчетах экономии топливно-энергетических ресурсов. URL: https://energoeffect.gov.by/programs/forming/spravka/30230201_sprav (дата обращения: 15.05.2023).

за последние пять лет не превышают 2,5 %, в связи с чем допускается не прибегать к дополнительной корректировке данных показателей.

Полученные результаты выводятся в виде значений сокращения выбросов, а также в графическом виде (рис. 6). Дополнительно определяется доля возобновляемых источников энергии.

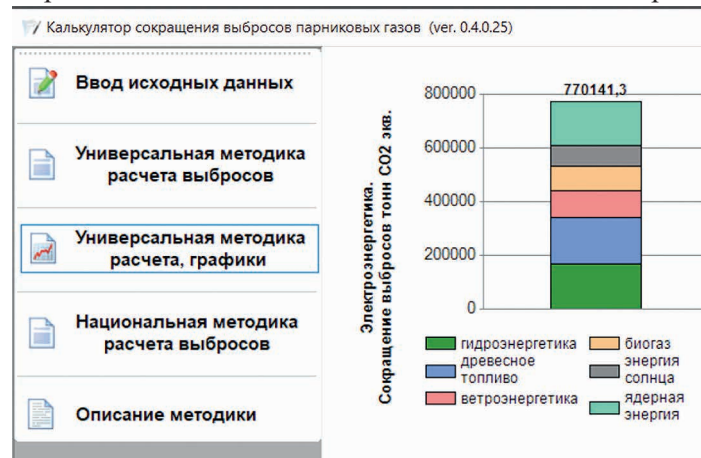


Рис. 6. Вид части окна вывода результатов расчета Калькулятора

Fig. 6. View of a part of the calculation results output window of the Calculator

Для расчета по Сценарию Б необходим ввод только объемов замещенного условного топлива за счет произведенной при помощи возобновляемых источников энергии и ядерного топлива энергии либо при реализации энергосберегающих мероприятий (рис. 7).

Рис. 7. Вид окна расчета с применением национального коэффициента выбросов парниковых газов

Fig. 7. View of the calculation using the national greenhouse gas emission factor window

Вычисления, производимые Калькулятором, базируются на описанной ниже методике.

При выборе Сценария А сокращение выбросов парниковых газов при выработке электрической энергии определяется по формуле:

$$\Delta GHE_w = 0,001 \cdot \sum_{i=1}^n \left(W_i \left(\sum_{j=1}^m (w_j^f \cdot ghe_j^f) - ghe_i \right) \right), \quad (1)$$

где ΔGHE_w – сокращение выбросов парниковых газов при выработке электрической энергии, тыс. т CO_2 экв.;

W_i – электроэнергия, выработанная за счет i -го вида возобновляемого источника энергии или ядерного топлива за расчетный период, млн кВт·ч;

w_j^f – доля j -го вида ископаемого горючего топлива в производстве электроэнергии за счет всех видов ископаемого горючего топлива в расчетном периоде;

ghe_j^f – удельные выбросы парниковых газов в пересчете на CO_2 эквивалент j -го вида ископаемого горючего топлива, г/кВт·ч.

ghe_i – удельные выбросы парниковых газов в пересчете на CO_2 эквивалент i -го вида возобновляемого источника энергии или ядерного топлива г/кВт·ч.

Если выработка электроэнергии за счет ископаемого горючего топлива не указана, то автоматически устанавливаются следующие значения: $j = 1$; $w_j^f = 1$; ghe_j^f устанавливается по природному газу.

Сокращение выбросов парниковых газов при производстве тепловой энергии определяется по формуле:

$$\Delta GHE_Q = \frac{4,19}{3600} \cdot \sum_{i=1}^n \left(Q_i \cdot \left(\sum_{j=1}^m (q_j^f \cdot ghe_j^f) - ghe_i \right) \cdot \frac{b_Q}{b_W \cdot 1,163} \right), \quad (2)$$

где ΔGHE_Q – сокращение выбросов парниковых газов при выработке электрической энергии, тыс. т CO_2 экв.;

Q_i – тепловая энергия, выработанная за счет i -го вида возобновляемого источника энергии или ядерного топлива за расчетный период, тыс. Гкал;

q_j^f – доля j -го вида ископаемого горючего топлива в производстве тепловой энергии за счет всех видов ископаемого горючего топлива в расчетном периоде;

b_Q – удельный расход условного топлива на отпуск тепловой энергии, г у. т. / кВт·ч;

b_W – удельный расход условного топлива на отпуск электрической энергии, кг у. т. / Гкал.

По аналогии с расчетом для электрической энергии, если выработка тепловой энергии за счет ископаемого горючего топлива не указана, то автоматически устанавливаются следующие значения: $j = 1$; $q_j^f = 1$; ghe_j^f устанавливается по природному газу.

Сокращение выбросов парниковых газов за счет использования возобновляемых источников энергии или ядерного топлива определяется по формуле:

$$\Delta GHE = \Delta GHE_W + \Delta GHE_Q, \quad (3)$$

где ΔGHE – сокращение выбросов парниковых газов за счет использования возобновляемых источников энергии или ядерного топлива, тыс. т CO_2 экв.

Для удобства расчетов ввод данных может производиться в альтернативных единицах, предложенных в программе, с последующей автоматической конвертацией в необходимые для проведения вычислений единицы.

При выборе Сценария Б для вычислений необходим только ввод значения экономии условного топлива, значение сокращения выбросов парниковых газов определяется формулой:

$$\Delta GHE_N = \Delta B \cdot ghe_N, \quad (4)$$

где ΔGHE_N – сокращение выбросов парниковых газов на национальном уровне, тыс. т CO_2 экв.;

ΔB – экономия условного топлива, тыс. т у. т.;

ghe_N – национальный коэффициент выбросов парниковых газов в пересчете на CO_2 , т CO_2 экв./т у. т.

Результаты расчета по Сценарию А могут быть выведены в виде стилизованного графического изображения (рис. 8).



*Годовое сокращение выбросов парниковых газов за счет применения возобновляемых источников энергии

Рис. 8. Пример вывода результатов расчета в виде графического изображения

Fig. 8. Example of displaying calculation results in the form of a graphic image

Данное изображение впоследствии может быть использовано, например, для размещения на сайте компании или этикетке продукции с целью информирования покупателя об ответственном отношении производителя к вопросам экологии и устойчивости развития, что позитивно отразится на имидже компании.

Заключение

Отрасль энергетики оказывает значительное негативное влияние на состояние окружающей среды, в том числе та, которая производит выбросы парниковых газов. В Республике Беларусь почти две трети выбросов парниковых газов приходится именно на энергетику, что делает задачу декарбонизации отрасли особенно важной.

Увеличение доли возобновляемой и ядерной энергетики в энергобалансе страны оказывает положительное воздействие на достижение целей по декарбонизации, реализацию энергосберегающих мероприятий и повышение энергоэффективности. Наличие доступных и простых в использовании инструментов для количественной оценки сокращения выбросов парниковых газов при смене источника энергии, а также при проведении энергетической модернизации объекта позволит упростить расчеты и привлечь широкое внимание к вопросам изменения климата.

Расчет сокращения выбросов и следование по пути сокращения выбросов выбранным способом будет иметь не только очевидные эффекты в виде укрепления национальной, но и экологической безопасности. Маркировка продукции с указанием сокращения выбросов произведет социальный эффект: потребитель сможет сделать более осознанный выбор товара и внести осознанный вклад в борьбу с изменениями климата. Экономический эффект также возможен при условии развития углеродных рынков.

Библиографические ссылки

1. Кухаревич ЕИ, Василевская ЖН, Довнар ОА, и др. *Охрана окружающей среды в Республике Беларусь*. В: Медведева ИВ, редактор. *Статистический сборник*. Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь; 2021.
2. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019. Technical guidance to prepare national emission inventories. EEA Report. Copenhagen: European Environment Agency; 2019. doi:10.2800/293657.
3. IRENA. Global hydrogen trade to meet the 1.5 °C climate goal: Part I – Trade outlook for 2050 and way forward. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency; 2022.
4. Любчик ОА. Роль возобновляемой энергетики в декарбонизации энергетического сектора Республики Беларусь. *Окружающая среда и энерговедение*. 2022;4(16):27–37. doi: 10.24412/2658-6703-2022-4-27-37.
5. Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, et al. Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Annex II. IPCC. Cambridge: United Kingdom; New York; Cambridge University Press; 2011.
6. Мелех ДВ, Наркевич ИП. Выбросы парниковых газов при производстве электрической и тепловой энергии в Республике Беларусь. *Труды БГТУ*. 2020;2(235):205–213. <https://elib.belstu.by/handle/123456789/35226>.

References

1. Kuharevich EI, Vasilevskaya ZhN, Dovnar OA, et al. *Ohrana okruzhayushchej sredy v Respublike Belarus* [Environmental protection in the Republic of Belarus]. In: Medvedeva IV, editor. Statistical collection. Minsk: National Statistical Committee of the Republic of Belarus; 2021. Russian.
2. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019. Technical guidance to prepare national emission inventories. EEA Report. Copenhagen: European Environment Agency; 2019. doi:10.2800/293657.
3. IRENA. Global hydrogen trade to meet the 1.5 °C climate goal: Part I – Trade outlook for 2050 and way forward. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency; 2022.
4. Lyubchik OA. *Rol'vozobnovlyaemoj energetiki v dekarbonizacii energeticheskogo sektora Respubliki Belarus* [The role of renewable energy in the decarbonization of the energy sector of the Republic of Belarus]. *Environment and energy science*. 2022;4(16):27–37. doi: 10.24412/2658-6703-2022-4-27-37. Russian.
5. Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, et al. Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Annex II. IPCC. Cambridge: United Kingdom; New York; Cambridge University Press; 2011.
6. Melekh DV, Narkevich IP. *Vybrosov parnikovyh gazov pri proizvodstve elektricheskoy i teplovoj energii v Respublike Belarus* [Greenhouse gas emissions from electricity and heat generation in the Republic of Belarus]. *Proceedings of BSTU*. 2020;2(235):205–213. <https://elib.belstu.by/handle/123456789/35226>. Russian.

Статья поступила в редакцию 22.04.2023.
Received by editorial board 22.04.2023.