

УДК 621.31

И. В. Войтов¹, С. Г. Левицкий², В. В. Бобров², В. П. Тюленев¹¹Белорусский государственный технологический университет²Страновой офис Госкорпорации «Росатом»
в Республике Беларусь ООО «Русатом Бел»**ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
РЕСУРСОВ ПРИ ВНЕДРЕНИИ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СЛУЧАЯХ ОПТИМИЗАЦИИ
НАГРУЗКИ И КОМПЕНСАЦИИ ДНЕВНЫХ СНИЖЕНИЙ
НАПРЯЖЕНИЯ В НАСЕЛЕННОМ ПУНКТЕ ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ
ЗАМЕНЫ ТРАНСФОРМАТОРА**

На основании предложенной ранее Методики расчета экономии топливно-энергетических ресурсов для внедрения систем накопления электрической энергии авторами выполнены примеры расчета экономической эффективности применения систем накопления различного назначения: компенсации пикового увеличения потребления электрической энергии без замены трансформатора и увеличения сечения провода, а также использования системы накопления электрической энергии для оптимизации режимов работы энергетического оборудования за счет выравнивания суточного графика нагрузки электрической сети.

Ввиду инновационности для Беларуси направлений развития и применения систем накопления электрической энергии, многочисленности и отраслевой разрозненности в настоящее время направлений работ по данной проблеме назрела объективная потребность в определении и закреплении на нормативном уровне стратегических подходов к развитию использования систем накопления электрической энергии с точки зрения научной обоснованности масштабов развития работ в этой сфере, в том числе в целях обеспечения энергетической безопасности и повышения энергетической независимости страны.

Применение систем накопления электрической энергии дает положительный эффект как для потребителей энергии, так и производителей. В целом результатом внедрения указанных систем является снижение потребления топливно-энергетических ресурсов в стране и, как следствие, снижение энергоемкости ВВП.

Примеры, изложенные в статье, позволяют оценить основные экономические показатели в результате применения систем накопления электрической энергии и могут служить основой для принятия решения по их использованию и рассмотрению вопросов стратегического характера.

Ключевые слова: система накопления электрической энергии, трансформатор, оптимизация нагрузки.

Для цитирования: Войтов И. В., Левицкий С. Г., Бобров В. В., Тюленев В. П. Примеры расчетов экономии топливно-энергетических ресурсов при внедрении систем накопления электрической энергии в случаях оптимизации нагрузки и компенсации дневных снижений напряжения в населенном пункте при необходимости замены трансформатора // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 230–235.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-29.

I. V. Voitau¹, S. G. Levitsky², V. V. Bobrov², V. P. Tsiuleneu¹¹Belarusian State Technological University²Country Office of the State Corporation “Rosatom”
in the Republic of Belarus LLC “Rusatom Bel”**FUEL AND ENERGY RESOURCES SAVINGS CALCULATIONS EXAMPLES
WHEN INTRODUCING ELECTRIC ENERGY STORAGE SYSTEMS TO OPTIMIZE
THE LOAD AND TO COMPENSATE DAILY VOLTAGE DROPS IN A POPULATED
AREA IN CASE OF REPLACING A TRANSFORMER**

Based on the previously proposed Methodology for calculating the fuel and energy resources savings to introduce into the electric energy storage systems, the authors performed examples of calculating the economic efficiency of using storage systems for various purposes: compensation for peak increases in electrical energy consumption without replacing the transformer and increasing the cross-section of the wire and using the electrical energy storage system for optimization operating modes of power equipment by leveling the daily load schedule of the electrical network.

Taking into account the innovative direction development of the use of electrical energy storage systems, a large number and sectoral fragmentation of current works in this area, there is an objective need to identify and consolidate at the regulatory level strategic approaches to the development of the use of electric energy storage systems from a scientific point of view the validity of development scale of work in this area in order to ensure energy security and increase the country's energy independence.

The use of electrical energy storage systems has a positive effect for both energy consumers and producers. In general, the result of the implementation of these systems is a decrease in the consumption of fuel and energy resources in the country resulting in a decrease in the energy intensity of GDP.

These examples allow us to evaluate the main economic indicators from the use of electrical energy storage systems and can serve as the basis for making decisions on their use and considering strategic issues.

Keywords: electrical energy storage system, transformer, load optimization.

For citation: Voitau I. V., Levitsky S. G., Bobrov V. V., Tsiuleneu V. P. Fuel and energy resources savings calculations examples when introducing electric energy storage systems to optimize the load and to compensate daily voltage drops in a populated area in case of replacing a transformer. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 230–235 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-29.

Введение. В процессе согласования Методики расчета экономии ТЭР при внедрении систем накопления электрической энергии в наш адрес были получены многочисленные пожелания от различных министерств о возможности рассмотрения наглядных примеров ее применения. В данной статье приведены примеры использования указанной Методики.

Основная часть. 1. Примеры расчетов экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) при внедрении систем накопления электрической энергии в случае оптимизации нагрузки. Установка системы накопления мощностью 10 МВт со временем заряда 7 ч размещается в любом энергетическом узле с возможностью получения этой мощности и выдачи в сеть.

1.1. Расчет экономии топливно-энергетических ресурсов за счет внедрения систем накопления электроэнергии (СНЭ).

1.1.1. Расчет экономии топлива за счет выравнивания суточного графика нагрузки генерирующего оборудования.

1.1.2. Расчет экономии топлива за счет увеличения нагрузки энергетического оборудования с повышением коэффициента полезного действия в ночное время в результате заряда системы накопления электрической энергии и потребления электроэнергии, вырабатываемой энергоблоками Белорусской АЭС:

$$\begin{aligned} \Delta B_{\text{гр}}^3 &= N_{\text{эс}}^{\text{бл}} \cdot n \cdot t_3 \cdot \delta b_{\text{эс}}^{\text{гту}} \cdot N_{\text{СНЭ}} \cdot 1 / \eta_{\text{СНЭ}} \cdot K \cdot 10^{-9} = \\ &= 110\,000 \cdot 365 \cdot 7 \cdot 4,5 \cdot 10\,000 \cdot 1 / 0,75 \cdot 0,8 \cdot 10^{-9} = \\ &= 13\,490,4 \text{ т у. т.}, \end{aligned}$$

где $N_{\text{эс}}^{\text{бл}}$ – минимальная мощность единицы генерирующего оборудования, используемого на замыкающей станции во время ночного минимума нагрузки, кВт; n – продолжительность использования системы накопления, сут; t_3 – время

заряда системы накопления электрической энергии, ч/сут; $\delta b_{\text{эс}}^{\text{гту}}$ – изменение удельного расхода топлива единицы генерирующего оборудования, используемого на замыкающей станции, при увеличении мощности на 1000 кВт (4,5 г у. т./кВт·ч) с ростом нагрузки от использования накопителя энергии, г у. т./кВт·ч · 1000 кВт; $N_{\text{СНЭ}}$ – мощность применяемой системы накопления электрической энергии, кВт; $\eta_{\text{СНЭ}}$ – коэффициент полезного действия системы накопления электрической энергии; K – коэффициент, учитывающий объем используемой емкости системы накопления (для повышения числа циклов «разряд-заряд» коэффициент использования СНЭ не выше 0,8).

1.1.3. Расчет экономии топлива за счет снижения нагрузки энергетического оборудования в дневное время (максимум нагрузки) с исключением необходимости запуска недостаточно эффективного оборудования:

$$\begin{aligned} \Delta B_{\text{гр}}^{\text{р}} &= N_{\text{СНЭ}} \cdot n \cdot t_{\text{р}} \cdot b_{\text{эс}}^{\text{кэс}} \cdot K \cdot 10^{-6} = \\ &= 80 \cdot 365 \cdot 8 \cdot 320 \cdot 0,8 \cdot 10^{-6} = 6540,8 \text{ т у. т.}, \end{aligned}$$

где $t_{\text{р}}$ – время разряда системы накопления электрической энергии, ч/сут; $b_{\text{эс}}^{\text{кэс}}$ – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии, принимается равным фактическому расходу топлива на паросиловых блоках замыкающей станции в энергосистеме (Лукомльской ГРЭС) за год, предшествующий составлению расчета, г у. т./кВт·ч.

1.1.4. Расчет экономии топливно-энергетических ресурсов за счет снижения числа пусков и остановов генерирующего оборудования в течение суток с расходом ТЭР без отпуска продукции (электроэнергии):

$$\begin{aligned} \Delta B_{\text{поо}} &= B_{\text{пнс}} \cdot K_{\text{поо}} \cdot N_{\text{СНЭ}} \cdot 10^{-3} = \\ &= 52 \cdot 2 \cdot 80 \cdot 10^{-3} = 1040 \text{ т у. т.}, \end{aligned}$$

где $B_{\text{пнс}}$ – расход топливно-энергетических ресурсов на пуск-останов энергоблока из неостывшего состояния согласно нормативным характеристикам оборудования, т у. т.; $K_{\text{поо}}$ – коэффициент пусков-остановов энергетического оборудования на 1 МВт мощности системы накопления.

В качестве коэффициента пусков-остановов принято количество пусков-остановов оборудования в течение суток исходя из следующих предпосылок:

– ежесуточные остановы в течение рабочих дней – 252 дней в году;

– нормативный расход условного топлива на пуск энергоблока 300 МВт из неостывшего состояния – 52 т у. т.;

– для устранения необходимости пуска-останова в режиме суточного регулирования необходимо установить систему накопления электрической энергии мощностью не менее 130 МВт и суммарной емкостью накопления не менее 1,04 ГВт·ч.

Следовательно, коэффициент может быть рассчитан исходя из формулы $K_{\text{поо}} = 252 \cdot 1 / 130$, кол-во пусков на 1 МВт установленной мощности накопителей.

1.2. Расчет экономии топливно-энергетических ресурсов за счет компенсации реактивной мощности, генерируемой в ночное время, для снижения потерь в электрических сетях.

1.2.1. Определение компенсации реактивной мощности компенсирующих устройств:

$$Q_{\text{ку}} = N_{\text{СНЭ}} \cdot n \cdot t_3 \cdot k_{\text{квар}} = 10\,000 \cdot 365 \cdot 7 \cdot 1 = 25\,550\,000 \text{ квар},$$

где $k_{\text{квар}}$ – коэффициент, получаемый из таблицы в соответствии со значениями коэффициентов мощности $\cos\varphi_1$ и $\cos\varphi_2$, квар/кВт (Приложение 6 Методических рекомендаций по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий, согласованных Национальной академией наук Беларуси № 26-09/4725 28 августа 2020 г. и утвержденных Департаментом по энергоэффективности).

1.2.2. Годовая экономия электроэнергии при установке компенсирующих устройств:

$$\Delta \mathcal{E} = Q_{\text{ку}} \cdot K_3 = 25\,550\,000 \cdot 0,17 = 4\,343\,500 \text{ кВт·ч},$$

где $Q_{\text{ку}}$ – потребляемая мощность компенсирующего устройства, квар; K_3 – экономический эквивалент, равный для систем накопления электрической энергии 0,17 кВт/квар.

1.2.3. Годовая экономия условного топлива от внедрения систем накопления электрической энергии за счет компенсации реактивной мощности во время заряда с учетом потерь на транспорт электроэнергии в электросетях:

$$\begin{aligned} \Delta B_{\text{реакт}} &= \Delta \mathcal{E} \cdot b_{\text{э}}^{\text{кэс}} \cdot (1 + k_{\text{пот}} / 100) \cdot 10^{-6} = \\ &= 4\,343\,500 \cdot 320 \cdot (1 + 0,09) \cdot 10^{-6} = \\ &= 1515,013, \text{ т у. т.}, \end{aligned}$$

где $k_{\text{пот}}$ – коэффициент, учитывающий потери электроэнергии в электросетях (с учетом распределительных) в системе ГПО «Белэнерго».

1.3. Общая экономия топливно-энергетических ресурсов от реализации мероприятия по внедрению систем накопления электрической энергии составит:

$$\begin{aligned} \Delta B &= \Delta B_{\text{гр}}^3 + \Delta B_{\text{гр}}^p + \Delta B_{\text{поо}} + \Delta B_{\text{реакт}} = \\ &= 13\,490,4 + 6540,8 + 1040 + 1515,013 = \\ &= 22\,586,213 \text{ т у. т.} \end{aligned}$$

1.4. Расчет сроков окупаемости внедрения систем накопления.

1.4.1. Капиталовложения, связанные с внедрением систем накопления, по сравнению с установками без них, определяются по укрупненным показателям исходя из следующих предпосылок:

– стоимость оборудования и материалов $C_{\text{об}}$ определяется проектно-сметной документацией и уточняется по результатам конкурсных торгов на его поставку, руб. (принимается 595 долл. США/кВт·ч при курсе доллара США к белорусскому рублю 3,19);

– стоимость проектных работ принимается равной 10–15% от стоимости строительно-монтажных работ (СМР) $C_{\text{смп}}$, руб.;

– стоимость СМР – 5–10% от стоимости оборудования и материалов, руб.;

– стоимость пуско-наладочных работ – 3–5% от стоимости оборудования и материалов, руб.

Капиталовложения в мероприятие определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} \Delta K &= C_{\text{об}} + 0,10C_{\text{смп}} + 0,05C_{\text{об}} + \\ &+ 0,03C_{\text{об}} = 132\,863\,500 + \\ &+ 664\,317 + 6\,643\,175 + 3\,985\,905 = \\ &= 144\,156\,897,5 \text{ руб.} \end{aligned}$$

В состав затрат на оборудование и материалы входят расходы на приобретение материалов и оборудования, необходимых для реализации мероприятия.

1.4.2. Определение срока окупаемости мероприятия:

$$\begin{aligned} \text{Ср}_{\text{ок}} &= \Delta K / (\Delta B \cdot C_{\text{топл}}) = \\ &= 144\,156\,897,5 / (22\,586,213 \cdot 638) = 10,004 \text{ года}, \end{aligned}$$

где ΔB – общая экономия топливно-энергетических ресурсов от реализации мероприятия по внедрению систем накопления электрической энергии, т у. т.; $C_{\text{топл}}$ – стоимость 1 т у. т. (руб.), уточняется на момент составления расчета (принимается 200 долл. США за 1 т у. т.).

2. Расчет экономии ТЭР при внедрении систем накопления электрической энергии в случае компенсации дневных снижений напряжения в населенном пункте при необходимости замены

трансформатора. Требуется замена трансформатора при электроснабжении населенного пункта из-за провалов напряжения (недостаток мощности трансформатора в дневное время) мощностью от 100 до 160 кВА.

2.1. Расчет экономии топливно-энергетических ресурсов за счет внедрения систем накопления электроэнергии.

2.1.1. Расчет экономии топлива за счет выравнивания суточного графика нагрузки генерирующего оборудования.

2.1.2. Расчет экономии топлива за счет повышения нагрузки энергетического оборудования с повышением коэффициента полезного действия в ночное время за счет заряда системы накопления электрической энергии и потребления электроэнергии, вырабатываемой энергоблоками Белорусской АЭС:

$$\begin{aligned}\Delta B_{\text{тр}}^3 &= N_{\text{эс}}^{\text{бл}} \cdot n \cdot t_3 \cdot \delta b_{\text{эс}}^{\text{гг}} \cdot N_{\text{СНЭ}} \cdot 1 / \eta_{\text{СНЭ}} \cdot K \cdot 10^{-9} = \\ &= 110\,000 \cdot 365 \cdot 4 \cdot 4,5 \cdot 80 \cdot 1 / 0,75 \cdot 0,8 \cdot 10^{-9} = \\ &= 61,7 \text{ т у. т.,}\end{aligned}$$

где $N_{\text{эс}}^{\text{бл}}$ – минимальная мощность единицы генерирующего оборудования, используемого на замыкающей станции во время ночного минимума нагрузки, кВт; n – продолжительность использования системы накопления, сут; t_3 – время заряда системы накопления электрической энергии, ч/сут; $\delta b_{\text{эс}}^{\text{гг}}$ – изменение удельного расхода топлива единицы генерирующего оборудования, используемого на замыкающей станции, при увеличении мощности на 1000 кВт (4,5 г у. т./кВт·ч) с ростом нагрузки от использования накопителя энергии, г у. т./кВт·ч · 1000 кВт; $N_{\text{СНЭ}}$ – мощность применяемой системы накопления электрической энергии, кВт; $\eta_{\text{СНЭ}}$ – коэффициент полезного действия системы накопления электрической энергии; K – коэффициент, учитывающий объем используемой емкости системы накопления (для повышения числа циклов «разряд-заряд» коэффициент использования СНЭ не выше 0,8).

2.1.3. Расчет экономии топлива за счет снижения нагрузки энергетического оборудования в дневное время (максимум нагрузки) с исключением необходимости включения недостаточно эффективного оборудования:

$$\begin{aligned}\Delta B_{\text{тр}}^p &= N_{\text{СНЭ}} \cdot n \cdot t_p \cdot b_{\text{эс}}^{\text{кэс}} \cdot K \cdot 10^{-6} = \\ &= 80 \cdot 365 \cdot 4 \cdot 320 \cdot 0,8 \cdot 10^{-6} = 29,9 \text{ т у. т.,}\end{aligned}$$

где t_p – время разряда системы накопления электрической энергии, ч/сут; $b_{\text{эс}}^{\text{кэс}}$ – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии, принимается равным фактическому расходу топлива на замы-

кающей станции в энергосистеме (Лукомльской ГРЭС) за год, предшествующий составлению расчёта, г у. т./кВт·ч.

2.1.4. Расчет экономии топливно-энергетических ресурсов за счет снижения числа пусков и остановов генерирующего оборудования в течение суток с расходом ТЭР без отпуска продукции (электроэнергии):

$$\begin{aligned}\Delta B_{\text{поо}} &= B_{\text{пнс}} \cdot K_{\text{поо}} \cdot N_{\text{СНЭ}} \cdot 10^{-3} = \\ &= 52 \cdot 2 \cdot 80 \cdot 10^{-3} = 8,3 \text{ т у. т.,}\end{aligned}$$

где $B_{\text{пнс}}$ – расход топливно-энергетических ресурсов на пуск-останов энергоблока из неостывшего состояния согласно нормативным характеристикам оборудования, т у. т.; $K_{\text{поо}}$ – коэффициент пусков-остановов энергетического оборудования на 1 МВт мощности системы накопления.

В качестве коэффициента пусков-остановов принято количество пусков-остановов оборудования в течение суток исходя из следующих посылок:

– ежесуточные остановки в течение рабочих дней – 252 дней в году;

– нормативный расход условного топлива на пуск энергоблока 300 МВт из неостывшего состояния – 52 т у. т.;

– для устранения необходимости пуска-останова в режиме суточного регулирования необходимо установить систему накопления электрической энергии мощностью не менее 130 МВт и суммарной емкостью накопления не менее 1,04 ГВт·ч.

Следовательно, коэффициент может быть рассчитан исходя из формулы $K_{\text{поо}} = 252 \cdot 1 / 130$, кол-во пусков на 1 МВт установленной мощности накопителей.

2.2. Расчет экономии топливно-энергетических ресурсов за счет компенсации реактивной мощности, генерируемой в ночное время, для снижения потерь в электрических сетях.

2.2.1. Определение компенсации реактивной мощности компенсирующих устройств:

$$\begin{aligned}Q_{\text{кв}} &= N_{\text{СНЭ}} \cdot n \cdot t_3 \cdot k_{\text{квар}} = 80 \cdot 365 \cdot 4 \cdot 1 = \\ &= 116\,800 \text{ квар,}\end{aligned}$$

где $k_{\text{квар}}$ – коэффициент, получаемый из таблицы в соответствии со значениями коэффициентов мощности $\cos\varphi_1$ и $\cos\varphi_2$, квар/кВт (Приложение 6 Методических рекомендаций по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий, согласованных Национальной академией наук Беларуси № 26-09/4725 28 августа 2020 г. и утвержденных Департаментом по энергоэффективности).

2.2.2. Годовая экономия электроэнергии при установке компенсирующих устройств:

$$\Delta \mathcal{E} = Q_{\text{кв}} \cdot K_3 = 116\,800 \cdot 0,17 = 19\,856 \text{ кВт·ч,}$$

где $Q_{ку}$ – потребляемая мощность компенсирующего устройства, квар; K_3 – экономический эквивалент, равный для систем накопления электрической энергии 0,17 кВт/квар.

2.2.3. Годовая экономия условного топлива от внедрения систем накопления электрической энергии за счет компенсации реактивной мощности во время заряда с учетом потерь на транспорт электроэнергии в электросетях:

$$\Delta B_{реакт} = \Delta \mathcal{E} \cdot b_{\mathcal{E}}^{кэс} \cdot (1 + k_{пот} / 100) \cdot 10^{-6} =$$

$$= 19\,856 \cdot 320 \cdot (1 + 0,09) \cdot 10^{-6} = 6,9 \text{ т у. т.},$$

где $k_{пот}$ – коэффициент, учитывающий потери электроэнергии в электросетях (с учетом распределительных) в системе ГПО «Белэнерго».

2.3. Расчет экономии топливно-энергетических ресурсов за счет компенсации холостого хода трансформаторов повышенной мощности для потенциального обеспечения отопления и горячего водоснабжения с использованием электрической энергии в летнее время при реконструкции распределительных сетей:

$$\Delta B_{хх} = (P_{тр}^н - P_{тр}^{сущ}) \cdot K_{хх} \cdot n_{моп} \cdot 24 \cdot b_{\mathcal{E}}^{кэс} \times$$

$$\times (1 + k_{пот} / 100) \cdot 10^{-6} = (160 - 100) \cdot 0,25 \cdot 365 \times$$

$$\times 24 \cdot 320 \cdot (1 + 0,09) \cdot 10^{-6} = 30,6 \text{ т у. т.},$$

где $P_{тр}^н$ – мощность требуемого к установке трансформатора для обеспечения нагрузки, кВт; $P_{тр}^{сущ}$ – мощность существующего трансформатора на комплексной трансформаторной подстанции (КТП), кВт; $K_{хх}$ – коэффициент холостого хода ($K_{хх} = 0,05 - 0,25$); $n_{моп}$ – продолжительность использования систем накопления электрической энергии, сут.

2.4. Общая экономия топливно-энергетических ресурсов от реализации мероприятия по внедрению систем накопления электрической энергии:

$$\Delta B = \Delta B_{гр}^3 + \Delta B_{гр}^p + \Delta B_{поо} + \Delta B_{реакт} + \Delta B_{хх} =$$

$$= 61,7 + 29,9 + 8,3 + 6,9 + 30,6 = 137,4 \text{ т у. т.},$$

2.5. Расчет сроков окупаемости внедрения систем накопления.

2.5.1. Капитальные вложения, связанные с внедрением систем накопления, по сравнению с установками без них, определяются по укрупненным показателям исходя из следующих предпосылок:

– стоимость оборудования и материалов $C_{об}$ определяется проектно-сметной документацией и уточняется по результатам конкурсных торгов на его поставку, руб. (принимается 737 долл. США/кВт·ч при курсе доллара США к белорусскому рублю 3,19);

– стоимость проектных работ принимается равной 10–15% от стоимости строительно-монтажных работ (СМР) $C_{смр}$, руб.;

– стоимость СМР – 5–10% от стоимости оборудования и материалов, руб.;

– стоимость пуско-наладочных работ – 3–5% от стоимости оборудования и материалов, руб.

Капиталовложения в мероприятие определяются следующим образом, руб.:

$$\Delta K = C_{об} + 0,15C_{смр} + 0,10C_{об} +$$

$$+ 0,05C_{об} = 752\,329,6 + 11\,284,9 +$$

$$+ 75\,233 + 37\,616,5 = 876\,464 \text{ руб.}$$

В состав затрат на оборудование и материалы входят расходы на приобретение материалов и оборудования, необходимых для реализации мероприятия.

2.5.2. Определение срока окупаемости мероприятия:

$$Cp_{ок} = \Delta K / (\Delta B \cdot C_{топл}) =$$

$$= 876\,464 / (137,4 \cdot 638) = 10 \text{ лет},$$

где ΔB – общая экономия топливно-энергетических ресурсов от реализации мероприятия по внедрению систем накопления электрической энергии, т у.т.; $C_{топл}$ – стоимость 1 т у. т. (руб.), уточняется на момент составления расчета (принимается 200 долл. США за 1 т у. т.).

Вывод. В статье на примерах продемонстрирована достаточно высокая окупаемость экономии ТЭР при внедрении систем накопления электрической энергии.

Информация об авторах

Войтов Игорь Витальевич – доктор технических наук, профессор, ректор. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь) E-mail: rektor@belstu.by

Левицкий Станислав Григорьевич – директор. Страновой офис Госкорпорации «Росатом» в Республике Беларусь ООО «Русатом Бел» (220006, г. Минск, ул. Мясникова, 70, Республика Беларусь). E-mail: SGrLevitsky@rosatom.com

Бобров Владимир Владимирович – советник директора. Страновой офис Госкорпорации «Росатом» в Республике Беларусь ООО «Русатом Бел» (220006, г. Минск, ул. Мясникова, 70, Республика Беларусь). E-mail: vvbobrov@rosatom.by

Тюленев Виктор Петрович – ведущий специалист Международного информационно-аналитического центра трансфера технологий. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: victorpowersys@gmail.com

Information about the authors

Voitau Ihar Vital'evich – DSc (Engineering), Professor, Rector. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rektor@belstu.by

Levitsky Stanislav Grigor'evich – Director. Country Office of the State Corporation “Rosatom” in the Republic of Belarus LLC “Rusatom Bel” (70, Myasnikova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: SGrLevitsky@rosatom.com

Bobrov Vladimir Vladimirovich – Director’s Advisor. Country Office of the State Corporation “Rosatom” in the Republic of Belarus LLC “Rusatom Bel” (70, Myasnikova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: vvbobrov@rosatom.by

Tsiuleneu Viktor Petrovich – Leading Specialist, the International Information and Analytical Center for Technology Transfer. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: victorpowersys@gmail.com

Поступила 12.06.2024