

ПУБЛИКАЦИИ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА

PUBLICATIONS OF THE UNION STATE

УДК 621.31

И. В. Войтов¹, С. Г. Левицкий², В. В. Бобров², В. П. Тюленев¹

¹Белорусский государственный технологический университет

²Страновой офис Госкорпорации «Росатом»

в Республике Беларусь ООО «Русатом Бел»

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭКОНОМИИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ПРИ ВНЕДРЕНИИ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

По поручению Правительства Республики Беларусь от февраля 2023 года № 03/227-44 Белорусский государственный технологический университет разработал Методику расчета экономии топливно-энергетических ресурсов для внедрения систем накопления электрической энергии.

Методика является первым нормативно-правовым документом в Республике Беларусь, который дает возможность предприятиям Республики Беларусь выполнить обоснование окупаемости при внедрении новейшей технологии – систем накопления электрической энергии.

Данная Методика рассмотрена экспертной рабочей группой, созданной по поручению Правительства Республики Беларусь № 03/542-15 от июля 2023 года при Департаменте по энергоэффективности Госстандарта. С учетом полученных замечаний от 11 министерств и концернов и решения Межведомственного экспертного совета по вопросам применения энергоэффективных технологий, оборудования, приборов и материалов рекомендовано рассматривать мероприятие по внедрению систем накопления электрической энергии как энергосберегающее, с включением его в соответствующие отраслевые документы расчета экономии топливно-энергетических ресурсов от внедрения энергосберегающих мероприятий.

На текущий момент внедрение систем накопления электрической энергии является наиболее востребованной тематикой в ведущих странах мира как с точки зрения участия в сфере торговли электроэнергией, так и осуществления регулирования графика нагрузки, в том числе при использовании электрической энергии от возобновляемых источников энергии, но реализация данного мероприятия отсутствует в Республике Беларусь, хотя вопрос оптимизации суточного графика электрической нагрузки очень актуален для режимов работы энергетического оборудования страны.

Ключевые слова: система накопления электрической энергии, топливно-энергетические ресурсы, суточный график нагрузки, реактивная мощность.

Для цитирования: Войтов И. В., Левицкий С. Г., Бобров В. В., Тюленев В. П. Методика расчета экономии топливно-энергетических ресурсов при внедрении систем накопления электрической энергии // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 225–229.
DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-28.

I. V. Voitau¹, S. G. Levitsky², V. V. Bobrov², V. P. Tsiuleneu¹

¹Belarusian State Technological University

²Country Office of the State Corporation “Rosatom”

in the Republic of Belarus LLC “Rusatom Bel”

THE METHODOLOGY FOR CALCULATING FUEL AND ENERGY RESOURCES SAVINGS TO BE IMPLEMENTED INTO ELECTRIC ENERGY STORAGE SYSTEMS

On behalf of the Government of the Republic of Belarus mandate agreement No. 03/227-44 dated February 2023, the Belarusian State Technological University has developed a Methodology for calculating fuel and energy resources savings to introduce into the electric energy storage systems.

The methodology is the first regulatory document in the Republic of Belarus, which makes it possible to justify the payback to enterprises of the Republic of Belarus when introducing the latest technology, i.e. electric energy storage systems.

This Methodology was reviewed by an expert working group, established on behalf of the Government of the Republic of Belarus mandate agreement No. 03/542-15 dated July 2023 at the Department for Energy Efficiency of the State Standard, taking into account technical comments received from 11 ministries and concerns and the decision of the Interdepartmental Expert Council on the Application of Energy-efficient Technologies, Equipment, Devices and Materials. It was recommended to consider measurements on introducing electric energy storage systems as energy-saving ones; these documents must be included into the relevant industry documents for calculating the savings of fuel and energy resources from introducing energy-saving measures.

Nowadays, the implementation of electric energy storage systems is the most in-demand trend in leading countries of the world both in terms of electricity trade and the regulation of the load schedule, including electric energy from renewable energy sources. There is no application of this Methodology in the Republic of Belarus, although the issue of optimizing the daily schedule of electric power load is quite relevant for the operating modes of the country's energy equipment.

Keywords: electric energy storage system, fuel and energy resources, daily load schedule, reactive power.

For citation: Voitau I. V., Levitsky S. G., Bobrov V. V., Tsiuleneu V. P. The methodology for calculating fuel and energy resources savings to be implemented into electric energy storage systems. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 225–229 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-28.

Введение. Системы накопления электрической энергии (СНЭ) имеют достаточно высокую экономическую эффективность при сложившихся условиях режимов энергосистемы Беларуси, связанных с необходимостью регулирования графика нагрузок в связи с вводом в работу Белорусской АЭС. При этом экономический эффект достигается не только за счет оптимизации режимов работы энергетического оборудования и электрических сетей, но и за счет снижения затрат на их ремонт. В данной статье рассмотрена эффективность внедрения систем накопления электрической энергии за счет повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) [1–3].

Основная часть. Установка систем накопления позволяет обеспечить экономию топливно-энергетических ресурсов в энергосистеме Беларуси за счет следующих составляющих:

– выравнивание суточного графика нагрузки генерирующего оборудования:

а) повышение нагрузки энергетического оборудования с повышением коэффициента полезного действия в ночное время (минимум нагрузок) за счет заряда систем накопления;

б) снижение нагрузки энергетического оборудования в дневное время (максимум нагрузки) с исключением необходимости запуска недостаточно эффективного оборудования;

в) снижение числа пусков и остановов генерирующего оборудования в течение суток с расходом ТЭР без отпуска продукции (электроэнергии);

– компенсация реактивной мощности, генерируемой в ночное время, для снижения потерь в электрических сетях;

– компенсация холостого хода трансформаторов повышенной мощности для потенциального обеспечения отопления и горячего водоснабжения с использованием электрической энергии в летнее время при реконструкции распределительных сетей.

При этом необходимо учитывать, что СНЭ обеспечивает выравнивание графика потребления электрической энергии за счет потребления электроэнергии, выработанной на Белорусской АЭС в ночное время, и вытеснения электрической энергии, выработанной электростанциями на органическом виде топлива (природном газе, мазуте и др.) в дневное время в час пик.

Расчет экономии ТЭР за счет внедрения систем накопления электроэнергии.

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

1.1. Расчет экономии топлива за счет повышения 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:

$$\Delta B_{\text{тр}}^3 = N_{\text{эс}}^{\text{бл}} \cdot n \cdot t_3 \cdot \delta b_{\text{эс}}^{\text{гт}} \cdot N_{\text{СНЭ}} \times \\ \times 1 / \eta_{\text{СНЭ}} \cdot K \cdot 10^{-9}, \text{ т у. т.},$$

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; $\delta b_{33}^{гг}$ – 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; $N_{СНЭ}$ – мощность применяемой системы накопления электрической энергии, кВт; $\eta_{СНЭ}$ – 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).

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

$$\Delta B_{гп}^p = N_{СНЭ} \cdot n \cdot t_p \cdot b_{33}^{кэс} \cdot K \cdot 10^{-6}, \text{ т у. т.},$$

где t_p – время разряда системы накопления электрической энергии, ч/сут; $b_{33}^{кэс}$ – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии, который принимается равным фактическому расходу топлива на замыкающей станции в энергосистеме (Лукомльской ГРЭС) за год, предшествующий составлению расчета, г у. т./кВт·ч.

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

$$\Delta B_{пoo} = B_{пnc} \cdot K_{пoo} \cdot N_{СНЭ} \cdot 10^{-3}, \text{ т у. т.},$$

где $B_{пnc}$ – расход топливно-энергетических ресурсов на пуск-останов энергоблока из неостывшего состояния согласно нормативным характеристикам оборудования, т у. т.; $K_{пoo}$ – 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 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 $K_{пoo} = 252 \cdot 1 / 130$, кол-во пусков на 1 МВт установленной мощности накопителей.

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

2.1. Определение компенсации реактивной мощности компенсирующих устройств:

$$Q_{кв} = N_{СНЭ} \cdot n \cdot t_3 \cdot k_{квар}, \text{ квар},$$

где $k_{квар}$ – 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. Годовая экономия электроэнергии при установке компенсирующих устройств:

$$\Delta Э = Q_{кв} \cdot K_э, \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

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

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:

$$\Delta B_{реакт} = \Delta Э \cdot b_{33}^{кэс} \cdot (1 + k_{пот} / 100) \cdot 10^{-6}, \text{ т у. т.},$$

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

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:

$$\Delta B_{хх} = (P_{гп}^н - P_{гп}^{сущ}) \cdot K_{хх} \cdot n_{моп} \cdot 24 \cdot b_{33}^{кэс} \times \\ \times (1 + k_{пот} / 100) \cdot 10^{-6} \text{ т у. т.},$$

где $P_{гп}^н$ – мощность требуемого к установке трансформатора для обеспечения нагрузки электроотопления, кВт; $P_{гп}^{сущ}$ – мощность существующего трансформатора на комплексной трансформаторной подстанции (КТП), кВт; $K_{хх}$ – коэффициент

холостого хода, $K_{xx} = 0,05-0,25$; $n_{\text{моп}}$ – продолжительность использования систем накопления электрической энергии в межтопильный период, сут.

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

$$\Delta B = \Delta B_{\text{гр}}^3 + \Delta B_{\text{гр}}^p + \Delta B_{\text{поо}} + \Delta B_{\text{реакт}} + \Delta B_{\text{xx}}, \text{ т у. т.}$$

5. Расчет сроков окупаемости внедрения систем накопления.

5.1. 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 их поставку, руб.;

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

– стоимость СМР определяется исходя из модульно-контейнерной сборки и составляет

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:

$$\Delta K = C_{\text{об}} + (0,10-0,15)C_{\text{смп}} + (0,05-0,10)C_{\text{об}} + (0,03-0,05)C_{\text{об}}, \text{ руб.}$$

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

5.2. Определение срока окупаемости мероприятия:

$$C_{\text{рок}} = \Delta K / (\Delta B \cdot C_{\text{топл}}), \text{ лет,}$$

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.

Вывод. Изложенная методика расчета экономии ТЭР доказывает эффективность внедрения систем накопления электрической энергии.

Список литературы

1. Гуртовцев А. Л., Забелло Е. П. Выравнивание графика электрической нагрузки // Энергетика и ТЭК. 2008. № 8. С. 13–20.
2. Шаюхов Т. Т., Ковалев А. А. Методы выравнивания графиков нагрузки энергосистемы // Энергетика, электропривод, энергосбережение и экономика предприятий, организаций, учреждений. 2011. № 3. С. 28–37.
3. Зуев А. Э. Автоматизированная система энергетического менеджмента для выравнивания графиков электропотребления промышленных предприятий // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: материалы XX Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 23–24 апр. 2020 г. Гомель, 2020. С. 133–135.

References

1. Gurtovtsev A. L., Zabello E. P. Alignment of the electrical load schedule. *Energetika i TEK* [Energy and Fuel and Energy Complex], 2008, no. 8, pp. 13–20 (In Russian).
2. Shayukhov T. T., Kovalev A. A. Methods for leveling power system load schedules. *Energetika, elektroprivod, energosberezheniye i ekonomika predpriyatiy, organizatsiy, uchrezhdeniy* [Energy, electric drive, energy saving and economics of enterprises, organizations], 2011, no. 3, pp. 28–37 (In Russian).
3. Zuev A. E. Automated energy management systems for leveling power consumption schedules of industrial enterprises. *Issledovaniya i razrabotki v oblasti mashinostroyeniya, energetiki i upravleniya: materialy XX Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Research and development in the field of mechanical engineering, energy and management: materials of the International scientific and technical conference of students, postgraduate students and young scientists]. Gomel, 2020, pp. 133–135 (In Russian).

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