

УДК 621.31

DOI: 10.22213/2413-1172-2021-3-88-96

Принципы преобразования в интегрированной энергетической системе при применении концепции энергетического хаба^{1,2}

Е. В. Сердюкова, аспирант, Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Стоимость электроэнергии и тепла для населения, предприятий и организаций в России за последние годы выросла в несколько раз. Актуальным вопросом для потребителей стал поиск возможностей экономии при оплате за энергию. Плата за отопление составляет примерно четвертую часть общей суммы квитанции за коммунальные услуги. Тариф, стоимость одной единицы энергии (Гкал/м²), затрачиваемой на обогрев помещения, ежегодно повышается. Соответственно, увеличивается и размер расходов на коммунальное обслуживание в каждой отдельно взятой семье или организации.

Рассмотрены принципы преобразования различных форм энергии в интегрированной энергетической системе на основе концепции энергетического хаба. Предлагается использовать возможности программного обеспечения MATLAB/Simulink. Библиотека программного обеспечения MATLAB/Simulink не содержит сложных элементов со структурой с несколькими входами и несколькими выходами. Сложные модели блоков энергетических хабов формируют специальную дополнительную библиотеку. Эти модели реализуют такие функции, как накопление, преобразование энергии и суммирование различных видов энергии. Существует два вида элементов преобразования энергии, представленных в статье. Представлен иллюстрационный пример, показывающий экономический эффект преобразования электроэнергии в тепловую энергию при льготных тарифах в ночной период времени. Выполнен расчет количественного потенциала электроэнергии для преобразования.

Исследования показали, что гибкое сочетание различных энергоносителей с использованием технологий преобразования и накопления сохраняет потенциал для различных улучшений системы: общая стоимость энергии может быть снижена, надежность энергосистемы увеличена, перегрузка сетей может быть снижена, потери передачи уменьшены.

Ключевые слова: принципы преобразования, энергетическая система, энергетический хаб, интегрированная система энергоснабжения, эффективность преобразования.

Введение

Цель данной статьи – рассмотреть принципы преобразования электроэнергии в тепловую и показать возможность сокращения затрат с использованием концепции энергетического хаба.

В статьях [1–7] авторы анализируют возможность рассмотрения нескольких видов энергии в одной интегрированной энергосистеме. Представлена модель потокораспределения, включающая преобразование и передачу произвольного числа энергоносителей. Данный подход сравнивается с традиционным методом, используемым для систем электроснабжения. Была высказана идея о том, что синергетическое рассмотрение систем энергоснабжения с различными формами энергии дает реальные возможности повышения эффективности энергоснабжения в целом. С учетом этого было впервые

введено понятие и сформулирована концепция энергетического хаба, под которым понимается интегрированный объект с множествами входов и выходов, которые представляют различные виды энергии, и с реализацией внутренних функций этого объекта по передаче, хранению и преобразованию различных видов энергии.

Принципы преобразования электрической энергии в тепловую энергию в интегрированной энергетической системе

Интеграция многих отдельных систем в единое технологическое целое может обеспечить новые функциональные возможности, применение более совершенных технологий эксплуатации и создание интеллектуальных интегрированных энергетических систем (ИИЭС). Такие системы имеют многомерную структуру функциональных признаков и свойств развития. Они учитывают большое количество факторов: эф-

© Сердюкова Е. В., 2021

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90198.

² Работа выполнена в рамках проекта государственного задания (№ FWEU-2021-0002) программы фундаментальных исследований РФ на 2021–2025 гг.

фективность, надежность, управляемость, гибкое использование технологий преобразования энергии, транспортировки и хранения, активный спрос [8–13].

В крупномасштабных исследованиях энергетических систем энергетическая система обычно представлена моделью большой системы, где ресурсы вводятся с одной стороны, а конечное их использование извлекается с другой. Внутри системы моделируются различные технологии с выбросами и потерями энергии. Такого подхода обычно достаточно для системных исследований на национальном или международном уровне. Однако для местных энергетических систем необходимо идентифицировать различные технологии внутри системы.

В энергетической системе используются в основном три технологии [14]:

- конверсионные технологии, преобразующие один энергоноситель в другой в определенном географическом месте;

- транспортные технологии, которые транспортируют данный энергоноситель на определенное географическое расстояние;

- технологии накопления, которые хранят данный энергоноситель в течение определенного времени в определенном географическом месте.

Некоторые из энергетических ресурсов должны быть преобразованы в другие формы энергии, такие как электроэнергия, прежде чем они могут быть транспортированы конечным потребителям (гидро, ветер), в то время как другие также являются энергоносителями, которые могут быть транспортированы через энергетическую систему к конечным потребителям (газ, уголь, биомасса).

География и топология являются ключевыми элементами в усовершенствованном подходе к оптимизации. Таким образом, речь идет не только о том, какие ресурсы и какие объемы использовать, но и о том, в какой системе должны происходить необходимые преобразования.

Использование в системах энергоснабжения понятия энергетического хаба как объекта, который позволяет преобразовывать различные виды энергии, делает актуальным подход интегрированных энергетических систем. Совместное развитие и функционирование отдельных систем энергоснабжения в составе интегрированных систем позволяет обеспечить более высокие уровни эффективности и надежности энергоснабжения по сравнению с раздельным рассмотрением этих систем.

В исследованиях [15–22 и др.] проделана существенная работа, которая является базой для

дальнейших исследований. Концепция энергетического хаба позволяет применять новые подходы к проектированию энергетических систем. При моделировании энергетического хаба возникает сложность при определении коэффициентов преобразования в матричном подходе, которую нельзя решить с помощью традиционных методов.

Концепция энергетического хаба является конструктивным подходом к имитационному моделированию комплексных интегрированных энергетических систем. Подход имитационного моделирования может быть использован в качестве базовой технологии для построения интегрированной модели энергосистемы с несколькими видами энергии. Предлагается использовать возможности программного обеспечения MATLAB/Simulink для разработки технологии исследований. В основу конструирования имитационной модели интегрированной энергетической системы заложены следующие базовые принципы:

- Библиотека программного обеспечения MATLAB/Simulink не содержит сложных элементов со структурой с несколькими входами и несколькими выходами. Такие элементы являются энергетическими хабами. ТЭЦ может быть примером такого сложного элемента (объекта) с одним входом (газ) и двумя выходами (электроэнергия и тепло). На уровне потребления такие элементы интегрированной энергосистемы с несколькими входами включают функцию преобразования одного вида энергии в другой. Подобные модели энергетических хабов формируют специальную дополнительную библиотеку. Эти модели также реализуют такие функции, как накопление энергии и суммирование различных видов энергии.

- Необходимо отметить, что существует два вида элементов преобразования энергии: 1) изменяют характеристики энергетического канала без преобразования формы энергии в другую (например, электрический трансформатор, теплообменник и т. д.); 2) изменяют не только характеристики энергетического канала, но и преобразуют один вид энергии в другой.

Иллюстративный пример преобразования электрической энергии в тепловую энергию

Рассматривается интегрированная система энергоснабжения в составе систем электро- и теплоснабжения блока из 9 общежитий кампуса университета (рис. 1). На основе исходной электрической схемы сформирована расчетная схема при агрегированном представлении разводки электроэнергии по корпусам общежитий

от трансформаторных подстанций 6/0,4 кВ, обозначенных малыми квадратами на рисунке 1. Расчетные схемы электрической и тепловой сети интегрированной системы энергоснабжения показаны на рисунке 2. Сплошными линиями обозначена электрическая сеть, пунктирными – тепловая сеть. РП – питающая подстанция. ТП – тепловая подстанция. Квадрат обозначает потребителя. Нумерация узлов для электрической сети представлена без штрихов, для тепловой – со штрихами.

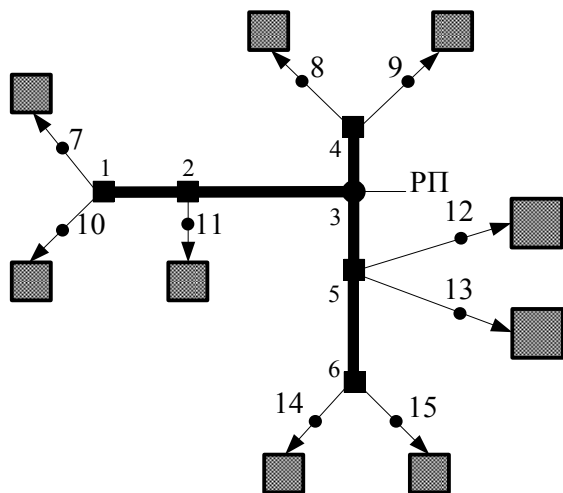


Рис. 1. Электрическая схема для электроснабжения общежитий

Fig. 1. Electrical diagram for the power supply of the hostels

Как видно из рисунка 2, к одному потребителю поступает два канала энергии. Нагрузки представляются моделями энергетического хаба, в которых входными переменными являются электроэнергия и централизованное тепло, вы-

ходными – электроэнергия и тепло. Модель энергетического хаба потребителей представлена на рисунке 3.

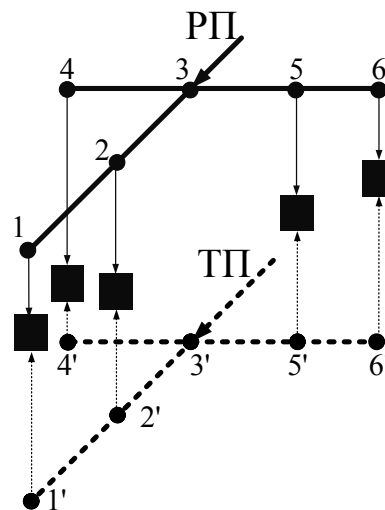


Рис. 2. Интегрированная система электро- и теплоснабжения блока из 9 общежитий

Fig. 2. Integrated system of electricity and heat supply for a block of 9 dormitories

На рисунках 4 и 5 представлены суммарные по всему блоку общежитий годовые графики электро- и теплоснабжения соответственно.

При этом принимаем, что тепловая энергия расходуется только на отопление. Суточный график электрической нагрузки имеет коэффициент неравномерности, равный 0,4 (отношение значения нагрузки в период ночного минимума с 23.00 до 7.00 к значению пиковой нагрузки). Суточные графики тепловой и электрической нагрузки для всех общежитий принимаются одинаковыми.

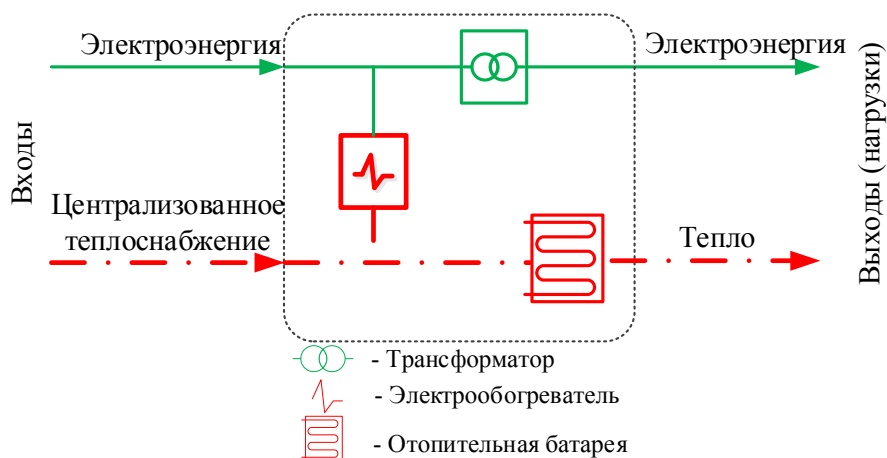


Рис. 3. Энергетический хаб потребителя

Fig. 3. Consumer energy hub

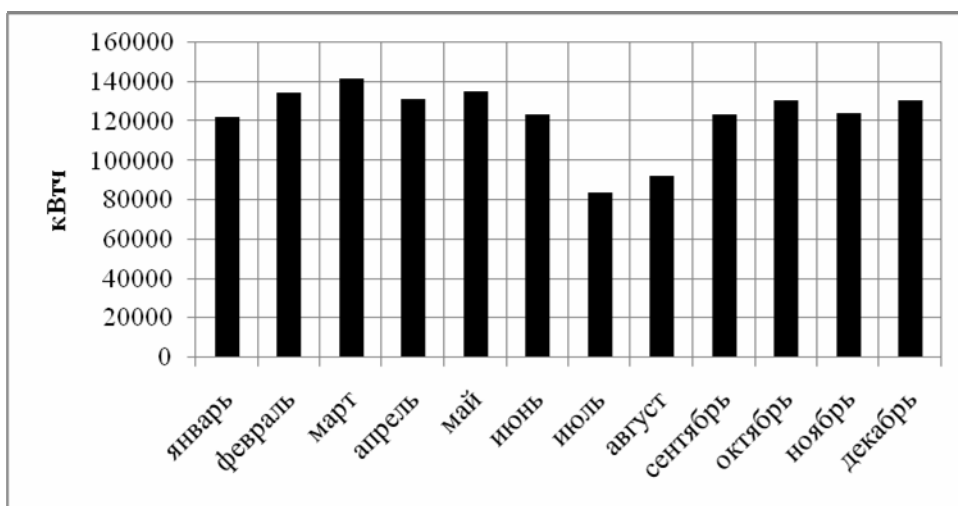


Рис. 4. Электропотребление 9 общежитий

Fig. 4. Electricity consumption of 9 dormitories

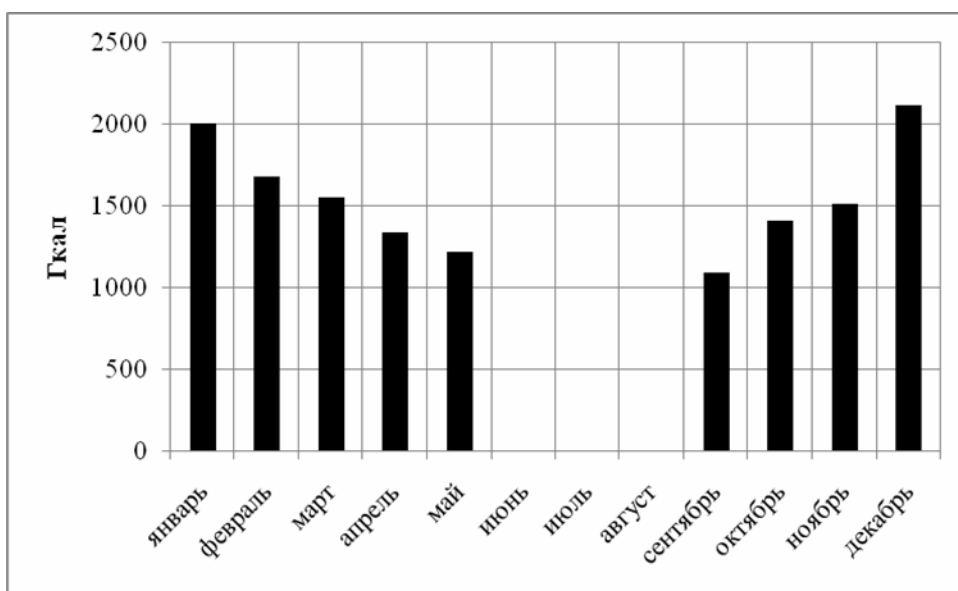


Рис. 5. Теплопотребление 9 общежитий

Fig. 5. Heat consumption of 9 dormitories

Рассматриваются условия недопущения перегрузки электрической сети, для этого принимается, что суммарная мощность нагрузки в период ночного минимума суточного графика, включающая собственный уровень мощности плюс величину потребляемой мощности при преобразовании электроэнергии в тепло, не должна превышать суточного максимума нагрузки. В этом случае потокораспределение в электрической сети в ночной период не превысит потокораспределения в суточный максимум нагрузки и перегрузок не будет.

В таблице приведены помесечные данные о параметрах электроснабжения потребителей кампуса университета.

На основании значений суточного максимума нагрузки рассчитываются величины условного максимально возможного электропотребления кампуса в месяц по формуле

$$E_{mon.max} = (P_{day.max} \cdot 24) \cdot 30, \quad (1)$$

где $E_{mon.max}$ – максимально возможное условное значение потребления электроэнергии в месяц; $P_{day.max}$ – суточный максимум нагрузки.

Количество электроэнергии, возможной для преобразования в тепло (потенциал преобразования) определяется выражением

$$E_p = E_{mon.max} \cdot 0,6 \cdot 0,33, \quad (2)$$

где E_p – потенциал преобразования электроэнергии в тепло в месяц; коэффициент 0,6 отражает долю свободной мощности в пределах ночного минимума нагрузки; коэффициент 0,33 определяет долю продолжительности ночного минимума суточного графика нагруз-

ки (8 часов), в течение которого электроэнергия оплачивается по минимальному ночному тарифу.

На рисунке 6 представлен потенциал преобразования электроэнергии в ночной период времени по льготным тарифам.

Данные по электропотреблению 9 общежитий кампуса университета
Energy consumption data for 9 dormitories of the university campus

Месяц	Электропотребление 9 общежитий, кВт·ч	Ночная зона (с 23.00 до 7.00), кВт·ч	Оплата за электропотребление в ночное время без учета преобразования, руб.	Суточный максимум нагрузки, кВт	Максимальное потребление электроэнергии в месяц, кВт	Количество электроэнергии (потенциал) для преобразования в тепло в месяц, кВт	50 % электроэнергии для преобразования в тепло в месяц, кВт
январь	122 400	47 000	33 900	480	343 000	68 000	34 000
февраль	135 000	50 000	35 600	460	331 000	66 000	33 000
март	142 000	53 000	38 000	420	301 000	60 000	30 000
апрель	131 400	48 000	34 300	390	282 000	56 000	28 000
май	135 000	50 000	36 000	490	352 000	70 000	35 000
июнь	123 300	48 000	34 000	440	318 000	63 000	31 000
июль	84 000	33 000	24 000	320	233 000	46 000	23 000
август	92 000	36 000	26 000	340	248 000	49 000	25 000
сентябрь	124 000	49 000	35 000	450	319 000	63 000	32 000
октябрь	131 000	51 000	37 000	410	295 000	59 000	29 000
ноябрь	125 000	49 000	35 000	450	324 000	64 000	32 000
декабрь	130 000	51 000	36 000	490	352 000	70 000	35 000

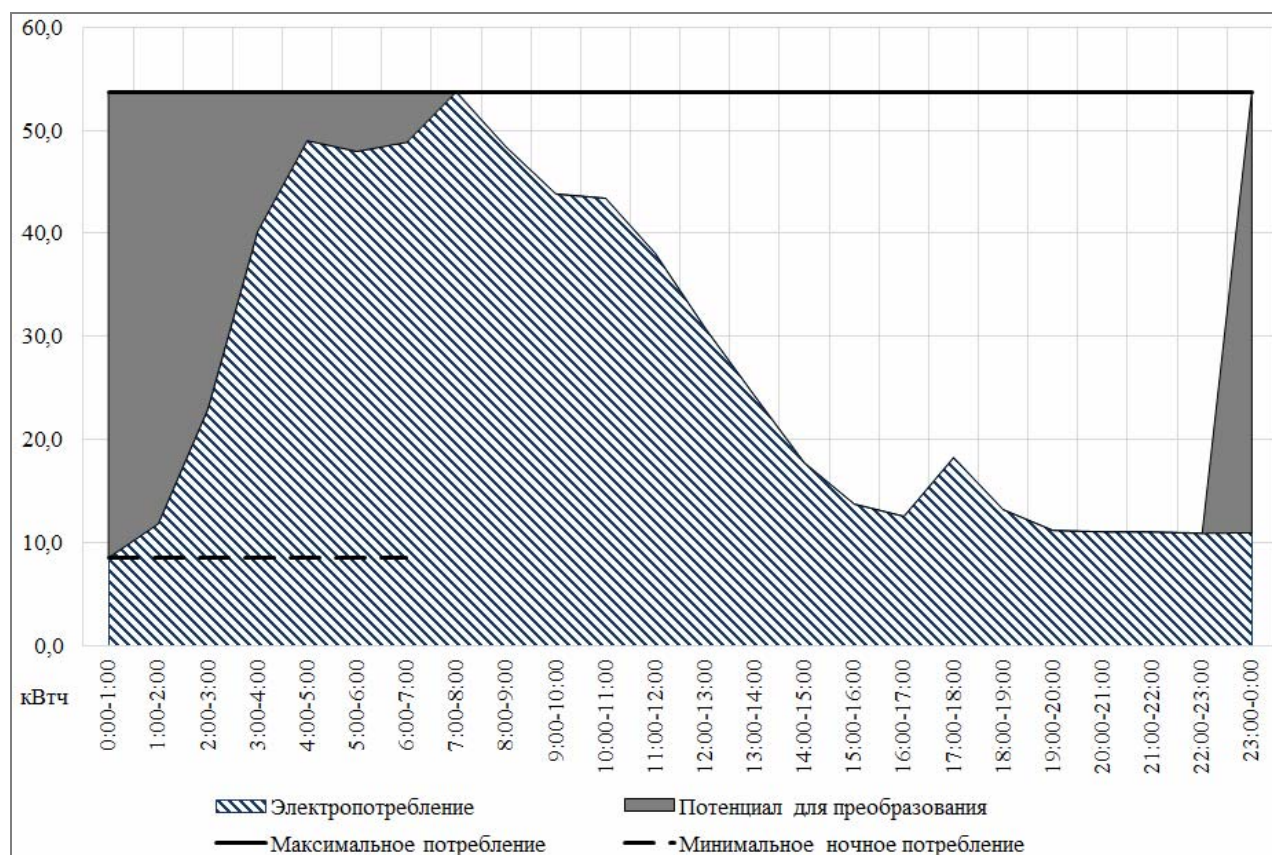


Рис. 6. Потенциал преобразования электрической энергии в тепловую энергию

Fig. 6. Potential for converting electrical energy into thermal energy

Пересчет электроэнергии в тепло производится по соотношению

$$1 \text{ кВт} = 0,00086 \text{ Гкал/ч} \quad (3)$$

В таблице в последних двух столбцах приведены два варианта количества электроэнергии для преобразования в тепло: весь потенциал преобразования и 50 % этого потенциала.

Результаты расчетов рассматриваемых вариантов преобразования электроэнергии в те-

пловую энергию представлены на рисунках 7 и 8.

Взаимодействие электрических сетей и сетей централизованного теплоснабжения демонстрирует существенные преимущества для повышения энергоэффективности, повышения надежности и снижения эксплуатационных расходов, что выгодно для эволюции интеллектуальных сетей. Скоординированные сети электроснабжения и централизованного теплоснабжения становятся все более распространенными в городских районах.

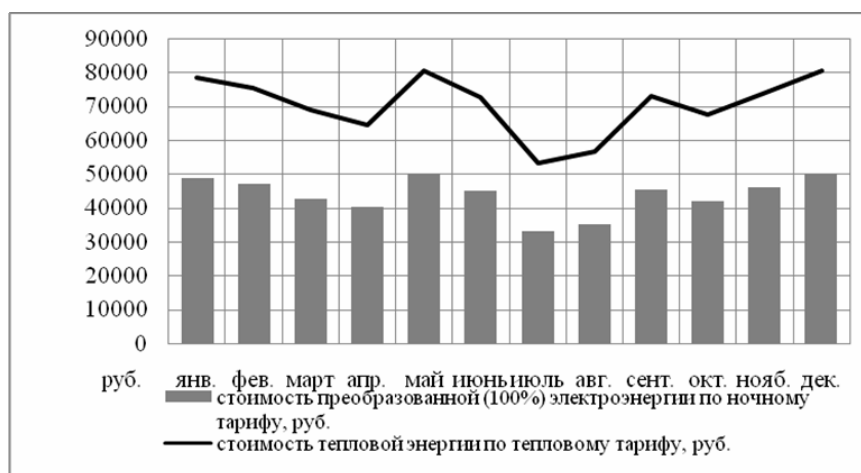


Рис. 7. Сравнение оплаты при учете преобразования электрической энергии в тепловую (100 %)

Fig. 7. Comparison of payment when taking into account the conversion of electrical energy into heat (100 %)

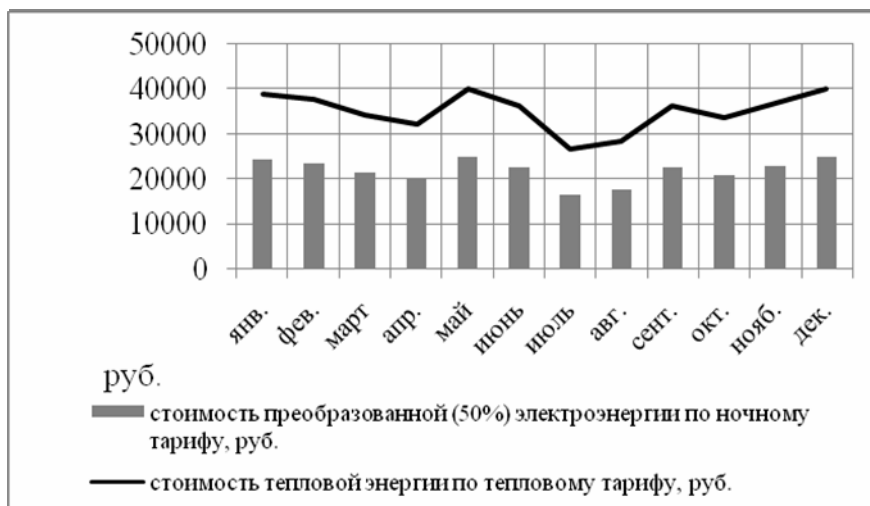


Рис. 8. Сравнение оплаты при учете преобразования электрической энергии в тепловую (50 %)

Fig. 8. Comparison of payment when taking into account the conversion of electrical energy into heat (50 %)

Приведенный иллюстрационный пример представляет собой общий и простой способ моделирования преобразования энергии между различными энергоносителями.

Заключение

Исследования показали, что гибкое сочетание различных энергоносителей с использова-

нием технологий преобразования и накопления сохраняет потенциал для различных улучшений системы: общая стоимость энергии может быть снижена, надежность энергосистемы увеличена, перегрузка сетей может быть снижена, потери передачи уменьшены. Взаимодействие между различными формами энергии в рамках энерге-

тического хаба служит основой повышения эффективности ее использования за счет преобразования, обмена и накопления различных форм энергии.

Выполненные исследования в интегрированной системе электро- и теплоснабжения девяти общежитий кампуса показали эффективность преобразования электроэнергии в тепловую энергию при использовании льготных ночных тарифов на электроэнергию.

Библиографические ссылки

1. Rose P.K., Neumann F. Hydrogen refueling station networks for heavy-duty vehicles in future power systems. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2020, 83, 102358.
2. Mohammadi M., Noorollahi Y., Mohammadi-ivatloo B., Hosseinzadeh M., Yousefi H., Khorasani S.T. Optimal management of energy hubs and smart energy hubs - a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, 89, 33-50.
3. G Shekhar A., Soeiro T.B., Wu Y., Bauer P. Optimal power flow control in parallel operating ac and dc distribution links. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, (2020), 68(2), 1695-1706.
4. Sobhani S.O., Sheykha S., Azimi M.R., Madlenek R. Two-level distributed demand-side management using the smart energy hub concept. *Energy Procedia*, 2019, 158, 3052-3063.
5. Amini K., Momtaz A., Qoreishi E., Amini S., Haddadian S. Monte Carlo Approach Towards Evaluating Random Number Generators Based on Mathematical Schemes Driven from Chua's Circuit. *Contemporary Mathematics*, 2020.
6. Mohammadi M., Noorollahi Y., Mohammadi-ivatloo B., Yousefi H. Energy hub: from a model to a concept - a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 80, pp. 1512-1527.
7. Ordoudis C., Pinson P., Morales J.M. An integrated market for electricity and natural gas systems with stochastic power producers. *European Journal of Operational Research*, 2019, 272(2), 642-654.
8. Hashimov A.M., Rahmanov N.R., Ahmedova S.T., Mustafayev A.A. Voltage Stability Problem for GRID with Distribution Generation and Renewable Sources. In *Proceedings of the 11th International Conference on Technical and Physical Problems of Electrical Engineering, ICTPE-2015 (Bucharest, Romania)*, 2015, pp. 159-165.
9. Conejo A.J., Chen S., Constante G.E. Operations and long-term expansion planning of natural-gas and power systems: a market perspective. *Proceedings of the IEEE*, 2020. 108(9), 1541-1557.
10. Kumar P., Brar G.S., Singh L. Energy efficiency evaluation in commercial and residential buildings with demand side management: A review. In *2019 8th International Conference on Power Systems (ICPS)*, 2019, December, pp. 1-6.

11. Valinejad J., Marzband M., Korkali M., Xu Y., Al-Sumaiti A.S. Coalition formation of microgrids with distributed energy resources and energy storage in energy market. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 2020, 8(5), 906-918.

12. Kloubert M.L., Rehtanz C. Enhancement to the combination of point estimate method and Gram-Charlier Expansion method for probabilistic load flow computations. In *2017 IEEE Manchester PowerTech*, 2017, June, pp. 1-6.

13. Wang J., Zhong H., Ma Z., Xia Q., Kang C. Review and prospect of integrated demand response in the multi-energy system. *Applied Energy*, 2017, 202, pp. 772-782.

14. Lim C., Maglio P.P. Data-driven understanding of smart service systems through text mining. *Service Science*, 2018, 10(2), 154-180.

15. Beccuti G., Demiray T., Batic M., Tomasevic N., Vranes S. Energy hub modelling and optimisation: an analytical case-study. In *2015 IEEE Eindhoven PowerTech*, 2015, June, pp. 1-6.

16. Yang Y., Li D., Zhang S.J., Xiao Y.H. Optimal design of distributed energy resource systems under large-scale uncertainties in energy demands based on decision-making theory. *Thermal Science*, 23(2 Part B), 2019, 873-882.

17. Ghasemi A., Banejad M., Rahimiyan M. Integrated energy scheduling under uncertainty in a micro energy grid. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 2018, 12(12), 2887-2896.

18. Scheller F., Burgenmeister B., Kondziella H., Kühne S., Reichelt D.G., Bruckner T. Towards integrated multi-modal municipal energy systems: An actor-oriented optimization approach. *Applied Energy*, 2018, 228, 2009-2023.

19. Lu S., Gu W., Zhang C., Meng K., Dong Z. Hydraulic-thermal cooperative optimization of integrated energy systems: A convex optimization approach. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2020, 11(6), pp. 4818-4832.

20. Ma T., Wu J., Hao L. Energy flow modeling and optimal operation analysis of the micro energy grid based on energy hub. *Energy conversion and management*, 2017, 133, pp. 292-306.

21. Ma R., Qin J. Multi-objective optimal power flow of multiple-energy system considering wind power penetration. In *2017 IEEE International Conference on Energy Internet (ICEI)*, 2017, April. pp. 13-17.

22. Wang H., Wang H., Haijian Z., Zhu T. Optimization modeling for smart operation of multi-source district heating with distributed variable-speed pumps. *Energy*, 2017, 138, 1247-1262.

References

1. Rose P.K., Neumann F. Hydrogen refueling station networks for heavy-duty vehicles in future power systems. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2020, 83, 102358.
2. Mohammadi M., Noorollahi Y., Mohammadi-ivatloo B., Hosseinzadeh M., Yousefi H., Khorasani S.T.

Optimal management of energy hubs and smart energy hubs - a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, 89, 33-50.

3. G Shekhar A., Soeiro T.B., Wu, Y., Bauer P. Optimal power flow control in parallel operating ac and dc distribution links. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2020, 68(2), 1695-1706.

4. Sobhani S.O., Sheykha S., Azimi M.R., Madlenc R. Two-level distributed demand-side management using the smart energy hub concept. *Energy Procedia*, 2019, 158, 3052-3063.

5. Amini K., Momtaz A., Qoreishi E., Amini S., Haddadian S. Monte Carlo Approach Towards Evaluating Random Number Generators Based on Mathematical Schemes Driven from Chua's Circuit. *Contemporary Mathematics*, 2020.

6. Mohammadi M., Noorollahi Y., Mohammadi-Ivatloo B., Yousefi H. Energy hub: from a model to a concept - a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 80, pp. 1512-1527.

7. Ordoudis C., Pinson P., Morales J.M. An integrated market for electricity and natural gas systems with stochastic power producers. *European Journal of Operational Research*, 2019, 272(2), 642-654.

8. Hashimov A.M., Rahmanov N.R., Ahmedova S.T., Mustafayev A.A. Voltage Stability Problem for GRID with Distribution Generation and Renewable Sources. In Proceedings of the 11th International Conference on Technical and Physical Problems of Electrical Engineering, ICTPE-2015 (Bucharest, Romania), 2015, pp. 159-165.

9. Conejo A.J., Chen S., Constante G.E. Operations and long-term expansion planning of natural-gas and power systems: a market perspective. Proceedings of the IEEE, 2020, 108(9), 1541-1557.

10. Kumar P., Brar G.S., Singh L. Energy efficiency evaluation in commercial and residential buildings with demand side management: A review. In 2019 8th International Conference on Power Systems (ICPS), 2019, December, pp. 1-6.

11. Valinejad J., Marzband M., Korkali M., Xu Y., Al-Sumaiti A.S. Coalition formation of microgrids with distributed energy resources and energy storage in energy market. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 2020, 8(5), 906-918.

12. Kloubert M.L., Rehtanz C. Enhancement to the combination of point estimate method and Gram-Charlier Expansion method for probabilistic load flow computations. In 2017 IEEE Manchester PowerTech, 2017, June, pp. 1-6.

13. Wang J., Zhong H., Ma Z., Xia Q., Kang C. Review and prospect of integrated demand response in the multi-energy system. *Applied Energy*, 2017, 202, pp. 772-782.

14. Lim C., Maglio P.P. Data-driven understanding of smart service systems through text mining. *Service Science*, 2018, 10(2), 154-180.

15. Beccuti G., Demiray T., Batic M., Tomasevic N., Vranes S. Energy hub modelling and optimisation: an analytical case-study. In 2015 IEEE Eindhoven PowerTech, 2015, June, pp. 1-6.

16. Yang Y., Li D., Zhang S.J., Xiao Y.H. Optimal design of distributed energy resource systems under large-scale uncertainties in energy demands based on decision-making theory. *Thermal Science*, 23(2 Part B), 2019, 873-882.

17. Ghasemi A., Banejad M., Rahimiyan M. Integrated energy scheduling under uncertainty in a micro energy grid. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 2018, 12(12), 2887-2896.

18. Scheller F., Burgenmeister B., Kondziella H., Kühne S., Reichelt D.G., Bruckner T. Towards integrated multi-modal municipal energy systems: An actor-oriented optimization approach. *Applied Energy*, 2018, 228, 2009-2023.

19. Lu S., Gu W., Zhang C., Meng K., Dong Z. Hydraulic-thermal cooperative optimization of integrated energy systems: A convex optimization approach. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2020, 11(6), pp. 4818-4832.

20. Ma T., Wu J., Hao L. Energy flow modeling and optimal operation analysis of the micro energy grid based on energy hub. *Energy conversion and management*, 2017, 133, pp. 292-306.

21. Ma R., Qin J. Multi-objective optimal power flow of multiple-energy system considering wind power penetration. In 2017 IEEE International Conference on Energy Internet (ICEI), 2017, April, pp. 13-17.

22. Wang H., Wang H., Haijian Z., Zhu T. Optimization modeling for smart operation of multi-source district heating with distributed variable-speed pumps. *Energy*, 2017, 138, 1247-1262.

Principles of Transformation in an Integrated Energy System when Applying the Concept of an Energy Hub

E.V. Serdyukova, Post-graduate, L. A. Melentyev Institute of Energy Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

The cost of electricity and heat for the population, enterprises and organizations in Russia has increased several times in recent years. An urgent issue for consumers was the search for opportunities to save money when paying for energy. The heating fee is about a quarter of the total amount of the utility bill. The tariff, the cost of one unit of energy (Gcal/m²) spent on heating a room, increases annually. Accordingly, the amount of expenses for public services in each individual family or organization also increases.

The principles of transformation of various forms of energy in an integrated energy system based on the concept of an energy hub are considered. It is proposed to use the capabilities of the MATLAB/Simulink software. The MATLAB/Simulink software library does not contain complex elements with a structure with multiple inputs and multiple outputs. Complex models of energy hub blocks form a special additional library. These models implement such functions as energy storage, energy conversion and summation of various types of energy. There are two types of en-

ergy transformation elements presented in the article. An illustrative example is presented that shows the economic effect of converting electricity into heat energy at preferential tariffs during the night period. The calculation of the quantitative potential of electricity for conversion is performed.

Studies have shown that a flexible combination of various energy carriers using conversion and storage technologies preserves the potential for various system improvements: the total cost of energy can be reduced, the reliability of the power system is increased, network overload can be reduced, transmission losses are reduced.

Keywords: principles of transformation; energy system; energy hub; integrated energy supply system; conversion efficiency.

Получено 20.09.2021

Образец цитирования

Сердюкова Е. В. Принципы преобразования в интегрированной энергетической системе при применении концепции энергетического хаба // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2021. Т. 24, № 3. С. 88–96. DOI: 10.22213/2413-1172-2021-3-88-96.

For Citation

Serdyukova E.V. [Principles of Transformation in an Integrated Energy System when Applying the Concept of an Energy Hub]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2021, vol. 24, no. 3, pp. 88-96 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2021-3-88-96.