

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

А.В. Варганова, И.Н. Гончарова, Ю.М. Байрамгулова, В.А. Ефимова

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
г. Магнитогорск, Россия*

Рассматривается вопрос об оценке технико-экономической эффективности установки объектов распределенной генерации в условиях действующих или проектируемых систем электроснабжения. Алгоритм расчета адаптирован к программно-вычислительному комплексу КАТРАН-OptActivePower и позволяет на основании технико-экономических моделей генераторов, заданной конфигурации электрической сети и параметров ее оборудования определять основные показатели эффективности: затраты на потери мощности в сети, суммарные затраты с учетом издержек на обслуживание и ремонт, капитальные вложения в оборудование. Эффективность внедрения источников энергии оценивается путем сравнения затрат на выработку и передачу мощности в сети без дополнительных источников с затратами, полученными в результате установки источников, при этом считается, что срок окупаемости установки составляет 8 лет. При расчетах учитываются технологические особенности работы генераторов. В статье приведен пример оценки эффективности установки генераторов в условиях действующей системы электроснабжения.

Ключевые слова: распределенная генерация, экономический эффект, оптимизация, тепловая электростанция, тариф на электроэнергию, система электроснабжения.

Введение

Энергетика Российской Федерации в настоящее время претерпевает серьезные изменения. Ввиду роста нагрузок большое распространение получают источники распределенной генерации [1, 2]. В связи с этим встают вопросы проектирования, подключения, эксплуатации данных элементов системы [3].

Для повышения эффективности работы объектов электроэнергетики используются методы математической оптимизации [4]. Решаются вопросы оптимального распределения мощностей между генераторами электростанций [5, 6] в условиях промышленных систем электроснабжения [7]. При одновременной выработке тепловой и электрической мощности разработаны алгоритмы определения экономически целесообразных режимов работы котлоагрегатов и турбогенераторов тепловых электростанций [8, 9].

Кроме того, решаются вопросы определения оптимального местоположения источников распределенной генерации [10], их влияние на параметры режимов электрических сетей [11]. Уделено внимание экономически целесообразному выбору источников распределенной генерации в зависимости от числа и мощности [12]. Автором работы [13] разработан алгоритм, позволяющий осуществлять расчет параметров электрических сетей с источниками распределенной генерации. В статьях [14, 15] говорится об особенностях работы автоматики в таких сетях.

Немаловажной задачей является оценка эффективности внедрения источников распределенной генерации. Так, в [16] автором разработана

модель, оценивающая эффективность сооружения объектов малой генерации, а в [17] приведена методика экономически целесообразного числа и мощности генераторов до 25 МВт.

Проблемы распределенной генерации рассматриваются и зарубежными учеными. В работе [18] авторы разрабатывают модель электрической сети, позволяющей снизить проблемы при подключении источников распределенной генерации к сети. В [19–21] рассматривается вопрос об экономически целесообразном размещении объектов распределенной генерации в сети. Автор диссертации [22] разработал систему, позволяющую планировать режимы работы сетей с источниками распределенной генерации. В [23] рассматривается вопрос об оптимальной мощности и местоположении генераторов с использованием иммунного алгоритма.

Таким образом, вопросы повышения эффективности работы источников распределенной генерации являются актуальными.

В данной работе предлагается методика оценки эффективности внедрения источников распределенной генерации в условиях действующих систем электроснабжения с использованием оригинального программного продукта КАТРАН-OptActivePower [24].

Теоретическая часть исследования

Одной из целей оценки эффективности является обоснование лучшего выбора на основе сопоставления финансовых затрат на реализацию указанных мероприятий и эффекта в виде экономии энергетических ресурсов при их обращении

(производстве, транспорте, потреблении); необходимо конкретизировать последовательность и условия применения показателей для оценки вводимых мероприятий.

В данной работе для оценки эффективности установки источников распределенной генерации рассчитывается экономический эффект, определяемый по выражению

$$\text{Эффект} = Z_{1\varepsilon/\varepsilon} - Z_{2\varepsilon/\varepsilon}, \quad (1)$$

где $Z_{1\varepsilon/\varepsilon}$ – затраты без учета установки источников распределенной генерации, млн руб./год; $Z_{2\varepsilon/\varepsilon}$ – затраты с учетом установки источников распределенной генерации, млн руб./год.

Величина $Z_{1\varepsilon/\varepsilon}$ определяется для существующей схемы и рассчитывается по выражению

$$Z_{1\varepsilon/\varepsilon} = Z'_{\text{прием } \varepsilon/\varepsilon} + Z'_{\text{генерацию } \varepsilon/\varepsilon} + Z'_{\text{передачу } \varepsilon/\varepsilon}, \quad (2)$$

где $Z'_{\text{прием } \varepsilon/\varepsilon}$, $Z'_{\text{генерацию } \varepsilon/\varepsilon}$, $Z'_{\text{передачу } \varepsilon/\varepsilon}$ – затраты соответственно на прием мощности из энергосистемы, на генерацию мощности местными электростанциями, на потери мощности в элементах рас-

пределительных сетей без дополнительных источников, млн руб./год.

$$Z_{2\varepsilon/\varepsilon} = Z''_{\text{прием } \varepsilon/\varepsilon} + Z''_{\text{генерацию } \varepsilon/\varepsilon} + Z''_{\text{передачу } \varepsilon/\varepsilon} + Z, \quad (3)$$

где $Z''_{\text{прием } \varepsilon/\varepsilon}$, $Z''_{\text{генерацию } \varepsilon/\varepsilon}$, $Z''_{\text{передачу } \varepsilon/\varepsilon}$ – затраты соответственно на прием мощности из энергосистемы, на генерацию мощности местными электростанциями, на потери мощности в элементах распределительных сетей с дополнительными источниками, млн руб./год; Z – приведенные затраты на строительство и обслуживание генераторов, млн руб./год.

Затраты, учитывающие установку, являются дисконтированными и находятся по формуле

$$Z = 0,12 K + И, \quad (4)$$

где K – капитальные вложения в строительство источников распределенной генерации, млн руб./год; $И$ – издержки на обслуживание, ремонт и потери мощности в сети, млн руб./год [25].

На рис. 1 приведена блок-схема алгоритма

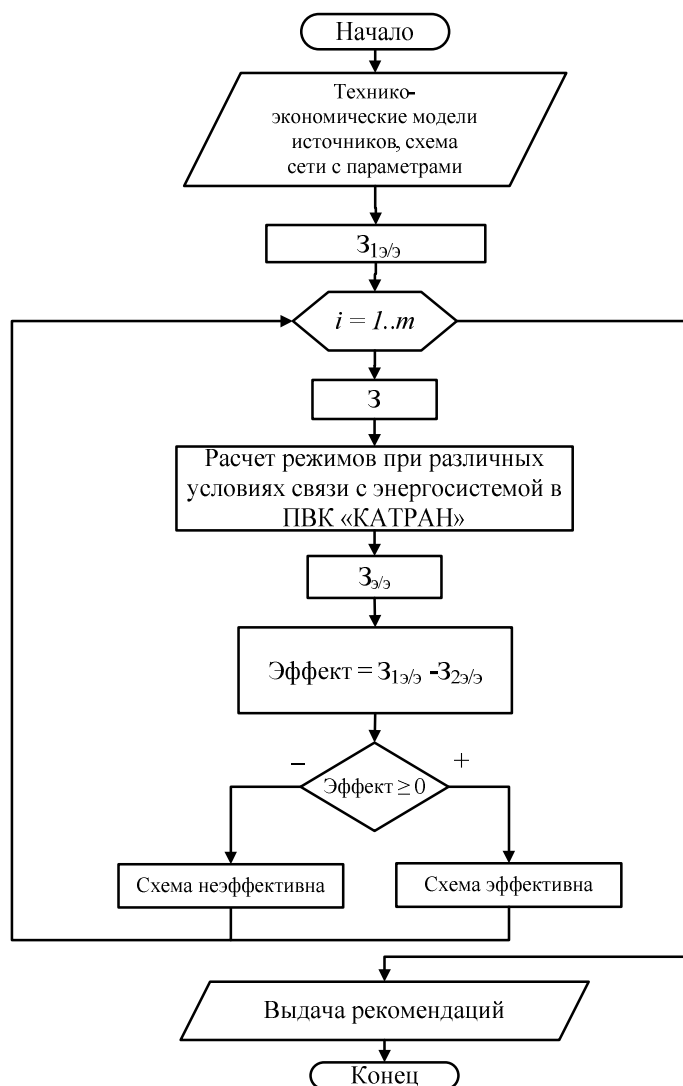


Рис. 1. Блок-схема алгоритма оценки эффективности установки источников распределенной генерации

оценки эффективности установки источников распределенной генерации.

В качестве исходных данных для расчета используются технико-экономические модели генераторов, представляющие собой зависимость мощности на клеммах генератора от себестоимости единицы расходуемого энергоносителя [9].

Практическая часть исследования

Исследования проводились в условиях системы электроснабжения, структурная схема которой приведена на рис. 2. Предполагается установка источников распределенной генерации в три возможных узла подстанций № 9, 5 и 13. В каждую из точек могут быть установлены по 2 генератора мощностью по 10 МВт каждый.

Расчеты выполнены с использованием программы КАТРАН-OptActivePower [24]. Результаты расчета приведены в таблице.

На рис. 3 представлена диаграмма, которая по-

зволяет наглядно определить наиболее выгодное место установки источников малой генерации в условиях действующей системы электроснабжения.

Ввод генераторов на ПС № 5 и 9 и одновременный ввод на ПС № 5 и 9; № 9 и 13 считается неэффективным (срок окупаемости такого проекта будет более 8 лет) за счет повышения потерь мощности в распределительных сетях.

Наилучшие варианты связаны с вводом генераторов на подстанции № 13, так как именно эта точка распределительной сети ближе всего находится к нагрузке и имеет наибольшую нагрузку из трех приведенных узлов.

Таким образом, можно спрогнозировать оптимальный ввод в эксплуатацию источников распределенной генерации в заданной сети при необходимости ввода всей мощности: 1-й этап – ввод генераторов в районе ПС №13; 2-й этап – ввод генераторов в районе ПС № 5; 3-й этап – ввод генераторов в районе ПС № 9.

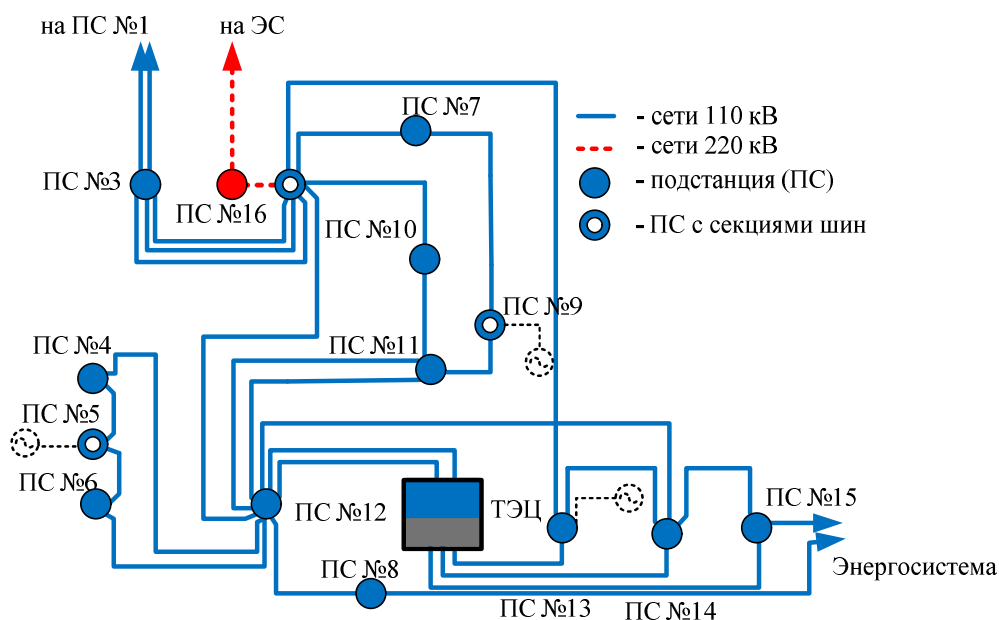


Рис. 2. Упрощенная схема рассматриваемой сети

Расчет эффективности внедрения источников распределенной генерации

№	Вариант схемы подключения	К, млн руб./год	З, млн руб./год	ΣЗ, млн руб./год	Эффект, млн руб./год	Рекомендации
1	Без ввода генераторов	0	0	5467,53	0	–
2	С вводом генераторов во всех пунктах	58,8	11,48	5420,57	46,97	Эффективно
3	Ввод в районе ПС № 5	19,6	3,83	5469,48	-1,94	Неэффективно
4	Ввод в районе ПС № 9	19,6	3,83	5530,56	-63,03	Неэффективно
5	Ввод в районе ПС № 13	19,6	3,83	5410,96	56,58	Эффективно
6	В районе ПС № 5 и 13	39,2	7,66	5405,9	61,64	Эффективно
7	Ввод в районе ПС № 5 и 9	39,2	7,66	5526,35	-58,82	Неэффективно
8	Ввод в районе ПС № 9 и 13	39,2	7,66	5475,42	-7,89	Неэффективно

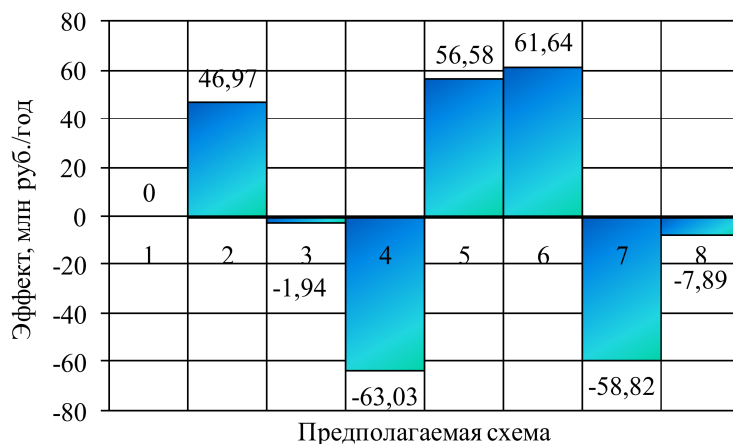


Рис. 3. Диаграмма оценки эффективности места установки источников малой генерации

Заключение

Разработанный алгоритм позволяет определять основные показатели эффективности работы распределительной сети с источниками распределенной генерации. Рассчитываются капитальные вложения на генераторы, приведенные затраты, учитывающие издержки на эксплуатацию, обслуживание и ремонт. Оценивается эффект от введения в эксплуатацию источников распределенной генерации, на основании которого можно осуществлять планирование ввода в эксплуатацию источников энергии и оценивать неэффективные точки подключения в сети. Разработанный алгоритм предназначен для проектно-исследовательских институтов и отделов планирования промышленных и городских энергохозяйств.

Литература

1. Ackermann, T. *Distributed Generation: A Definition* / T. Ackermann, G. Anderson, L. Soder // *Electric Power Systems Research*. – 2001. – No. 57. – P. 195–204. DOI: 10.1016/s0378-7796(01)00101-8
2. Никулин, П.А. Проблемы и перспективы развития распределенной генерации в Российской Федерации / П.А. Никулин // *Экономика и социум*. – 2018. – № 6 (49). – С. 802–804.
3. Kyrylenko, O.V. *Technical aspects of adoption of distributed generation sources in electric mains* / O.V. Kyrylenko, V.V. Pavlovskiyi, V.V. Pavlovskiyi // *Tekhnichna elektrodynamika*. – 2011. – No. 1. – P. 46–53.
4. Варганова, А.В. О методах оптимизации режимов работы электроэнергетических систем и сетей / А.В. Варганова // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика»*. – 2017. – Т. 17, № 3. – С. 76–85. DOI: 10.14529/power170309
5. Малафеев, А.В. Оптимальное распределение мощностей между генераторами электростанций промышленного предприятия при длительном пофазном ремонте оборудования питающих сетей / А.В. Малафеев, А.В. Кочкина, Е.А. Панова // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. – 2012. – № 4 (40). – С. 78–81.

6. Кочкина, А.В. Применение метода динамического программирования для решения задач оптимального распределения активных мощностей между разнородными генерирующими источниками собственных электростанций предприятий черной металлургии / А.В. Кочкина // *Наука и производство Урала*. – 2012. – № 8. – С. 204–209.

7. Малафеев, А.В. Анализ оптимальных режимов работы турбогенераторов собственных электростанций ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» / А.В. Малафеев, В.А. Игуменицев, А.В. Хламова // *Известия высших учебных заведений. Электромеханика*. – 2011. – № 4. – С. 111–114.

8. Варганова, А.В. Алгоритм внутростанционной оптимизации режимов работы котлоагрегатов и турбогенераторов промышленных электростанций / А.В. Варганова // *Промышленная энергетика*. – 2018. – № 1. – С. 17–22.

9. Варганова, А.В. Энергоэффективное распределение тепла в котлоагрегатах промышленных электростанций с применением ЭВМ / А.В. Варганова, А.В. Малафеев // *Электрические станции*. – 2017. – № 11 (1036). – С. 23–27.

10. Оптимизация местоположения и мощности малой генерации в распределительных сетях / С.А. Ерошенко, А.А. Карпенко, С.Е. Кокин, А.В. Паздерин // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. – 2012. – № 1-2. – С. 82–89.

11. Баембитов, Р.А. Влияние распределенной генерации на параметры сети / Р.А. Баембитов, Д.В. Саленик // *Электроэнергетика глазами молодежи*. – 2015. – С. 272–275.

12. Ахтулов, А.Л. Методика оптимального выбора источников энергии в электротехнических системах с распределенной генерацией / А.Л. Ахтулов, Е.Н. Леонов, В.К. Федоров // *Динамика*

систем, механизмов и машин. – 2016. – № 1. – С. 20–25.

13. Тарасенко, В.В. Алгоритмизация расчётов электрических сетей с распределённой генерацией. / В.В. Тарасенко // 63-я научная конференция «Наука ЮУрГУ». Секция технических наук. – Издат. центр ЮУрГУ, 2011. – С. 238–242.

14. Илюшин, П.В. Анализ влияния распределённой генерации на алгоритмы работы и параметры настройки устройств автоматики энергосистем / П.В. Илюшин // Энергетик. – 2018. – № 7. – С. 21–26.

15. Илюшин, П.В. Анализ особенностей сетей внутреннего электроснабжения промышленных предприятий с объектами распределённой генерации / П.В. Илюшин // Энергетик. – 2016. – № 12. – С. 21–25.

16. Ерошенко, С.А. Модель интеллектуальной системы оценки эффективности внедрения объектов распределённой генерации / С.А. Ерошенко // Материалы VIII Международной научно-технической конференции. – Самара: Изд-во Самар. гос. техн. ун-та. – 2017. – С. 41–44.

17. Александрова, А.Я. Экономическая оценка выбора оборудования для объектов малой генерации / А.Я. Александрова // Наука. Технологии. Инновации. – 2015. – С. 160–162.

18. Sakai, S. Development of distribution network equipment to support the solution of problem of connecting distributed generators (answer) and verification experiment of active coordinated operation of distributed generator and distribution network / S. Sakai, S. Kawasaki, J. Matsuki et al. // IEEE transactions on power and energy. – 2010. – No. 5. – P. 473–483. DOI: 10.1541/ieejpes.130.473

19. Acharya, N. An analytical approach for

DG allocation in primary distribution network / N. Acharya, P. Mahat, N. Mithulananthan // Electrical Power Systems Research. – 2007.

20. Georgilakis, P.S. Optimal distributed generation placement in power distribution networks: models, methods, and future research / P.S. Georgilakis, N.D. Hatziargyriou // IEEE Trans. Power Syst. – 2013. – Vol. 28, no. 3, pp 3420–3428. DOI: 10.1109/tpwrs.2012.2237043

21. Meera Shareef, Sd. A review on models and methods for optimal placement of distributed generation in power distribution systems / Sd. Meera Shareef, T. Vinod Kumar // UEAR. – 2014. – Vol. 4, iss. Spl-1.

22. Bin Humayd, A. Distribution system planning with distributed generation: optimal versus heuristic approach: A thesis for the degree of Master of Applied Science in Electrical and Computer Engineering. – University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 2011. – 72 p.

23. Ma, J. Size and location of distributed generation in distribution system based on immune algorithm / J. Ma, Y. Wang, L. Yang // The 2nd International Conference on Complexity Science & Information Engineering, Systems Engineering Procedia 4. – 2012. – pp. 124–132. DOI: 10.1016/j.sepro.2011.11.057

24. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ 2019618397 Российская Федерация, КАТРАН-OptActivePower / А.В. Варганова, А.В. Малафеев; заявитель ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – № 2019616954; заявл. 07.06.2019; опубл. 01.07.19.

25. Карапетян, И.Г. Справочник по проектированию электрических сетей / И.Г. Карапетян, Д.Л. Файбисович, И.М. Шапиро. – М.: ЭНАС, 2012. – 376 с.

Варганова Александра Владимировна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск; alexandra-khlamova@yandex.ru.

Гончарова Ирина Николаевна, студент, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск.

Байрамгулова Юлия Марсовна, студент, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск.

Ефимова Валерия Артуровна, студент, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск.

Поступила в редакцию 28 августа 2019 г.

EFFICIENCY ESTIMATION METHOD USED TO EVALUATE DISTRIBUTED GENERATION SOURCES INTRODUCTION

A.V. Varganova, aleksandra-khlamova@yandex.ru,
I.N. Goncharova, Yu.M. Bajramgulova, V.A. Efimova,
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

This article reviews the distributed generation facilities techno-economic efficiency evaluation conducted in the existing or projected power supply systems. It suggests the calculation algorithm, adapted to KATRAN-OptActivePower software. It accounts for the technical-economic models of generators, the configuration and the equipment parameters to evaluate the main performance indicators: network power losses costs, total expenses (including the maintenance and repair costs, and the volume of capital investment in equipment). To evaluate the energy sources implementation efficiency the network generation and transmission costs, before the additional sources are installed, are compared to those after the installation. The payback period is set as 8 years. The calculations also account for the generators' technological features. The article presents an exemplary case of efficiency evaluation for the generators installed in the active power supply grid.

Keywords: distributed generation, economic effects, optimization, thermal power plant, electricity tariff, power supply system.

References

1. Ackermann T., Anderson G., Soder L. Distributed Generation: A Definition. *Electric Power Systems Research*, 2001, no. 57, pp. 195–204. DOI: 10.1016/s0378-7796(01)00101-8
2. Nikulin P.A. Problems and Prospects of Development of Distributed Generation in the Russian Federation. *Economics and Society*, 2018, no. 6 (49), pp. 802–804. (in Russ.)
3. Kyrlyenko O.V., Pavlovskiy V.V., Pavlovskiy V.V. Technical Aspects of Adoption of Distributed Generation Sources in Electric Mains. *Tekhnichnaelektrodynamika*, 2011, no. 1, pp. 46–53.
4. Varganova A.V. About Optimization Methods of Power Supply System and Network Modes. *Bulletin of South Ural State University. Series "Power Engineering"*, 2017, T. 17, no. 3, pp. 76–85. (in Russ.) DOI: 10.14529/power170309
5. Malafeev A.V., Kochkina A.V., Panova E.A. Optimal Distribution Between the Generators of Power Plant Capacity of Industrial Enterprises with Long-Term Pofaznom Repair Equipment Supplying Networks. *The Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2012, no. 4 (40), pp. 78–81. (in Russ.)
6. Kochkina A.V. Dynamic Programming Method for Solving Problems of Optimum Allocation of Active Capacity Between Dissimilar Generating Sources of Own Power Plants, Steel Mills. *Urals Science and Production*, 2012, no. 8, pp. 204–209. (in Russ.)
7. Malafeev A.V., Igumenshhev V.A., Khlamova A.V. Analysis of Optimum Modes of Turbogenerators of Own Power Plants of OJSC Magnitogorsk Iron and Steel Works. *Russian Electromechanics*, 2011, no. 4, pp. 111–114. (in Russ.)
8. Varganova A.V. The Algorithm of the Intra-Station Unit Optimization of Operating Modes of Boiler Units and Turbo Generators for Industrial Power Plants. *Industrial Power Engineering*, 2018, no. 1, pp. 17–22. (in Russ.)
9. Varganova A.V., Malafeev A.V. Energy Efficient Heat Distribution in Industrial-Sized Power Plants Using Computers. *Electrical Stations*, 2017, no. 11 (1036), pp. 23–27. (in Russ.)
10. Eroshenko S.A., Karpenko A.A., Kokin S.E., Pazderin A.V. Optimization of Location and Power of Small Generation in Distribution Networks. *Proceedings of higher educational establishments. Energy problem*, 2012, no. 1-2, pp. 82–89. (in Russ.)
11. Baembitov R.A., Salenik D.V. Impact of Distributed Generation on Network settings. *Power through the Eyes of Young People*, 2015, pp. 272–275. (in Russ.)
12. Akhtulov A.L., Leonov E.N., Fedorov V. Technique of Optimizing the Energy Sources in Electrical Systems with Distributed Generation. *Speaker Systems, Mechanisms and Machines*, 2016, no. 1, pp. 20–25. (in Russ.)
13. Tarasenko V.V. Algorithmization of Calculations of Electric Networks with Distributed Generation. *63rd Scientific Conference "Science of SUSU". Section of Technical Sciences*, 2011, pp. 238–242. (in Russ.)
14. Ilyushin P.V. Analysis of the Impact of Distributed Generation on Algorithms and Automated Device Configuration Parameters of Power Systems. *Energetic*, 2018, no. 7, pp. 21–26. (in Russ.)
15. Ilyushin P.V. Analysis of the Peculiarities of Internal Power Supply Networks of Industrial Enterprises with Distributed Generation Facilities. *Energetic*, 2016, no. 12, pp. 21–25. (in Russ.)

16. Eroshenko S.A. A Model of an Intellectual System for Assessing the Effectiveness of the Implementation of Distributed Generation Facilities. *Materials of the VIII International Scientific and Technical Conference*, 2017, pp. 41–44. (in Russ.)
17. Alexandrova A. Ya. Economic Evaluation of the Choice of Equipment for Small Generation Facilities. *Science. Technologies. Innovations*, 2015, pp. 160–162. (in Russ.)
18. Sakai S., Kawasaki S., Matsuki J., Mori K., Fuwa Y., Hayashi Y., Wakao S., Baba J., Yokoyama A., Hojo M. Development of Distribution Network Equipment to Support the Solution of Problem of Connecting Distributed Generators (Answer) and Verification Experiment of Active Coordinated Operation of Distributed Generator and Distribution Network. *IEEE transactions on power and energy*, 2010, no. 5, pp. 473–483. DOI: 10.1541/ieejpes.130.473
19. Acharya N., Mahat P., Mithulananthan N. An Analytical Approach for DG Allocation in Primary Distribution Network. *Electrical Power Systems Research*, 2007.
20. Georgilakis P.S., Hatziargyriou N.D. Optimal Distributed Generation Placement in Power Distribution Networks: Models, Methods, and Future Research. *IEEE Trans. Power Syst*, 2013, Vol. 28, no 3. pp 3420–3428. DOI: 10.1109/tpwrs.2012.2237043
21. Meera Shareef Sd., Vinod Kumar T. A Review on Models and Methods for Optimal Placement of Distributed Generation in Power Distribution Systems. *UEAR*, 2014, vol. 4, iss. Spl-1.
22. Bin Humayd A. Distribution System Planning with Distributed Generation: Optimal Versus Heuristic Approach: A Thesis for the Degree of Master of Applied Science in Electrical and Computer Engineering. University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 2011. 72 p.
23. Ma J., Wang Y., Yang L. Size and Location of Distributed Generation in Distribution System Based on Immune Algorithm. *The 2nd International Conference on Complexity Science & Information Engineering, Systems Engineering Procedia 4*, 2012, pp. 124–132. DOI: 10.1016/j.sepro.2011.11.057
24. Varganova A.V., Malafeev A.V. KATRAN-OptActivePower. Software RF, no. 2019618397, 2019.
25. Karapetyan I.G., Fajbisovich D.L., Shapiro I.M. Handbook of electrical network design. Moscow, ENAS Publ., 2012. 376 p.

Received 28 August 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Методика оценки эффективности внедрения источников распределенной генерации / А.В. Варганова, И.Н. Гончарова, Ю.М. Байрамгулова, В.А. Ефимова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2019. – Т. 19, № 4. – С. 52–58. DOI: 10.14529/power190406

FOR CITATION

Varganova A.V., Goncharova I.N., Bajramgulova Yu.M., Efimova V.A. Efficiency Estimation Method Used to Evaluate Distributed Generation Sources Introduction. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2019, vol. 19, no. 4, pp. 52–58. (in Russ.) DOI: 10.14529/power190406
