

¹Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова²АО «Магнитогорский Гипромет»³АО «Магнитогорский Граждан Проект»

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕСТА УСТАНОВКИ ИСТОЧНИКОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

В статье предлагается подход по определению оптимального места расположения источников распределенной генерации в условиях систем электроснабжения. Разработка подхода обусловлена необходимостью повышения эффективности функционирования существующих и вводимых в эксплуатацию объектов электроэнергетики. В работе отражена методика, позволяющая на этапе проектирования новой или реконструкции существующей электрической сети осуществлять поиск экономически целесообразного места установки источников электрической и тепловой энергии в зависимости от их мощности и удаленности от потребителей. Критерием оптимальности является минимум затрат на передачу мощности в сети. Алгоритм реализован с использованием метода прямого перебора. Учитываются ограничения по пропускной способности отдельных элементов системы электроснабжения (линии электропередачи, трансформаторы) и допустимой потере напряжения в ее узлах. Методика адаптирована к условиям программно-вычислительного комплекса «КАТРАН-OptActivePower». Определение затрат на потери мощности в сети осуществляется с использованием модифицированного метода динамического программирования в сочетании с методом последовательного эквивалентирования. В качестве исходных данных для расчета используются технико-экономические модели генераторов, представляющие собой зависимость мощности от себестоимости тонны свежего пара, необходимого на выработку тепловой и электрической энергии, для источников тепловых электростанций, и зависимость мощности от затрат на используемый энергоноситель - для газотурбинных, парогазовых и газопоршневых установок. Модели учитывают эксплуатационные характеристики источников энергии и представляются в табличной форме. В статье приводится расчет по оценке оптимального места установки генераторов в условиях действующей системы электроснабжения, по критерию минимума затрат на потери активной мощности.

Ключевые слова: электрическая сеть, система электроснабжения, распределенная генерация, газотурбинная установка, парогазовая установка, технико-экономические показатели, затраты, потери мощности, тариф на электроэнергию.

ВВЕДЕНИЕ

Современные темпы строительства и введения в эксплуатацию объектов электроэнергетики ставят вопросы необходимости разработки подходов, позволяющих эффективно их проектировать и управлять. С этой целью используются методы оптимизации, позволяющие решать задачи повышения эффективности работы электроустановок на стадии их проектирования и эксплуатации [1].

Вопросы оптимизации работы электроустановок решаются и для гидроэлектростанций [2], и для атомных электростанций [3], и для тепловых [4]. Исследуются проблемы не только распределения активной и тепловой мощности между агрегатами [5], но и распределения реактивной мощности [6]. При этом используются различные методы оптимизации: метод динамического программирования [5], нечеткий адаптивный генетический алгоритм [6] и др. [1].

В научных статьях уделяется также внимание работе источников распределенной генерации в небольших системах электроснабжения [7].

В связи с ускорением строительства новых жилых, промышленных, сельскохозяйственных объектов остро встают вопросы их подключения к энергосистеме. В настоящее время данную проблему в основном решают путем строительства источников распределенной генерации [8]. Питание удаленных потребителей также осуществляется за счет введения в эксплуатацию данных электроустановок [9].

Внедрение таких объектов влечет за собой проведение исследований, посвященных повышению эффективности их работы за счет определения экономически целесообразного размещения [10], выбора числа и мощности генераторов [11], расчета параметров режима систем электроснабжения [12].

Рассматриваются особенности режимов работы электрических сетей с источниками распределенной генерации [13, 14] в условиях промышленных энергорайонов.

На стадии проектирования объектов необходимо осуществлять оценку эффективности их внедрения. В работе [15] предлагается модель, позволяющая определять экономические показатели и осуществлять технико-экономическое обоснование внедрения объектов распределенной генерации.

Предлагаемый подход в [16] обеспечит надежность энергоснабжения, снизит потери энергии в распределительных сетях, особенно если потребитель находится на значительном расстоянии от источника генерации. В результате эффективного распределения мощности между генераторами в энергосистеме значение потерь оптимизируется, и, как следствие, минимизируются расходы топлива на ТЭС.

Рассматриваемые электроустановки нашли широкое применение в условиях сельскохозяйственных объектов [17] и на промышленных предприятиях [18].

Таким образом, вопросам оптимизации режимов работы объектов электроэнергетики и, в частности, источников распределенной генерации, посвящено большое число работ.

В данной статье авторами предлагается подход, позволяющий определять оптимальное месторасположение объектов распределенной генерации с использованием программного продукта КАТРАН-OptActivePower.

Применение разработанной методики позволит снизить затраты на передачу мощности в распределительной сети и повысить эффективность использования источников электрической и тепловой мощности.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО МЕСТА РАЗМЕЩЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

В данной работе предлагается осуществить расчет оптимального месторасположения генераторов с использованием метода прямого перебора. Методика реализована в программном комплексе КАТРАН - OrtActivePower [19].

Место размещения источников распределенной генерации определяется по критерию минимума затрат на потери мощности в сети

$$C(\Delta W_{\text{ЛЭП}}) = \Delta W_{\text{ЛЭП}} \beta = \Delta P_{\text{ЛЭП}} \tau \beta \rightarrow \min, \quad (1)$$

где C – стоимость потерь, руб./кВт·ч; $\Delta W_{\text{ЛЭП}}$ – потери электроэнергии в ЛЭП, кВт·ч; $\Delta P_{\text{ЛЭП}}$ – потери активной мощности в ЛЭП, кВт; β – тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч; τ – время наибольших потерь, ч.

При расчете учитывается условие

$$\sum P_{\text{ист}} = P_{\text{необходимое}}, \quad (2)$$

где $\sum P_{\text{ист}}$ – суммарная мощность источников распределенной генерации, МВт; $P_{\text{необходимое}}$ – необходимая величина мощности источников распределенной генерации, МВт.

На целевую функцию накладываются режимные ограничения:

$$\begin{cases} U_{i \min} \leq U_i \leq U_{i \max}; \\ S_{i \min} \leq S_i \leq S_{i \max}, \end{cases} \quad (3)$$

где $U_{i \min}$, $U_{i \max}$ – предельно допустимые потери напряжения в узле ($\pm 10\%$ от номинального значения), кВ; $S_{i \min}$, $S_{i \max}$ – минимально и максимально допустимое значение мощности, протекающей по элементам электрической сети, определяется нагрузочной способностью объекта, МВА.

В качестве исходных данных для расчета используются технико-экономические модели источников распределенной генерации: для газотурбинных, парогазовых и газопоршневых установок методика построения указанных моделей приведена в [20], для тепловых генераторов в [21]. В общем случае данные модели представляют собой зависимость мощности на клеммах генератора от единицы расхода используемого энергоносителя. Для турбогенераторов это пар, при этом методика расчета его себестоимости приведена в [22], для ГТУ, ПГУ, ГПУ это используемый газ (в основном природный газ).

Алгоритм позволяет определить оптимальное место установки источников при их заданном числе и мощности и возможных местах установки.

Число возможных вариантов расстановки источников определяется по выражению

$$n = \frac{m!}{(m-k)!}, \quad (4)$$

где n – возможное количество вариантов схем; m – заданное число мест установки источников распределенной генерации; k – число источников распределенной генерации.

Алгоритм расчета приведен на рис. 1.

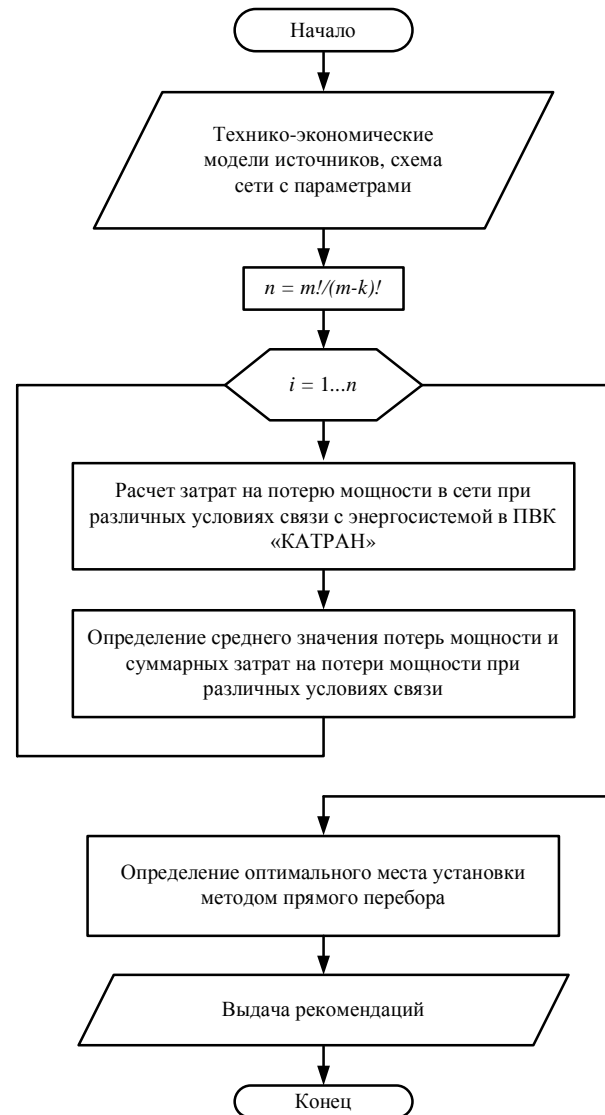


Рис. 1. Блок-схема методики определения экономически целесообразного места размещения источников распределенной генерации

Результатом работы алгоритма являются рекомендации по оптимальному расположению генераторов в системе электроснабжения и вывод технико-экономических показателей: затрат на передачу мощности в сети, потери активной мощности в сети.

ПРИМЕР РАСЧЕТА

В условиях действующей системы электроснабжения (рис. 2) необходимо осуществить расстановку генераторов по критерию минимума затрат на передачу мощности.

Необходимо установить 3 когенерационные энергетические установки с двумя газопоршневыми генераторами по 10, 12 и 15 МВт и двумя котлами-утилизаторами. Предполагается установка источников распределенной генерации около подстанций №16, 11, 9. С использованием разработанной методики получены следующие результаты (см. таблицу). Число возможных вариантов согласно (4) равно 6.

В результате анализа полученных данных можно сделать вывод, что наиболее лучший вариант будет при

установке генераторов суммарной мощностью 12 МВт

на ПС№9, 10 МВт - ПС №11 и 15 МВт – ПС №16.

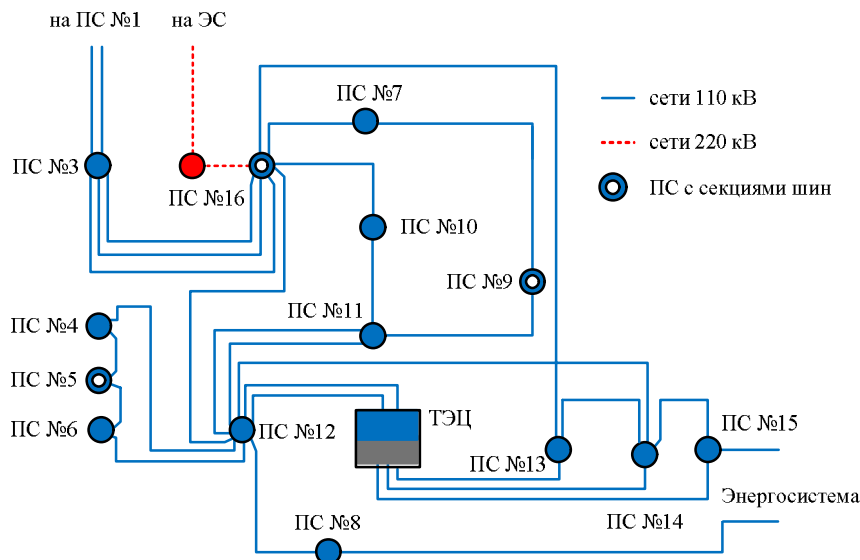


Рис. 2. Упрощенная схема рассматриваемого энергоузла

Таблица
Результаты расчета возможных мест расположения когенерационных установок

Схема ввода, МВт			ΔР, МВт·год	Зпередат., млн.руб.·год
ПС№9	ПС№11	ПС№16		
10	12	15	112128	316,186
10	15	12	106258,8	299,727
12	10	15	98112	312,128
12	15	10	110726,4	276,577
15	10	12	116858,4	425,178
15	12	10	117748,4	475,98

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методика определения экономически целесообразного места установки источников распределенной генерации позволит снизить потери мощности в распределительных сетях и тем самым повысить эффективность их работы. Разработанный подход предполагается использовать на стадии проектирования при реконструкции существующих объектов или введении в эксплуатацию новых объектов. Полученный подход позволяет учесть особенности работы генераторов тепловых электростанций.

Результаты работы предназначены для проектных организаций, а также для отделов планирования энергохозяйством крупных промышленных или городских систем электроснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варганова А.В. О методах оптимизации режимов работы электроэнергетических систем и сетей // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2017. Т. 17. № 3. С. 76-85.
2. Sovban E. A., Filippova T. A., Pantelev V. I. and Trufakin S.S. "The Features of Mathematical Optimization Models of Modes Hydro-Power Stations," 2018 XIV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE), Novosibirsk, 2018, pp. 428-432.
3. Zhang S. et al. "Compilation and optimization of nuclear power plant preventive maintenance program," 2013 International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering (QR2MSE), Chengdu, 2013, pp. 748-753.
4. Li Y. and Li R. "Simulation and Optimization of the Power

- Station Coal-Fired Logistics System Based on Witness Simulation Software," 2008 Workshop on Power Electronics and Intelligent Transportation System, Guangzhou, 2008, pp. 394-398.
5. Варганова А.В. Алгоритм внутростанционной оптимизации режимов работы котлоагрегатов и турбогенераторов промышленных электростанций // Промышленная энергетика. 2018. № 1. С. 17-22.
6. Li X. "Application of Fuzzy Adaptive Genetic Algorithm in Reactive Power Compensation Optimization of Power Station," 2011 International Symposium on Computer Science and Society, Kota Kinabalu, 2011, pp. 214-217.
7. Dzobo O. "Virtual power plant energy optimisation in smart grids," 2019 Southern African Universities Power Engineering Conference/Robotics and Mechatronics/Pattern Recognition Association of South Africa (SAUPEC/RobMech/PRASA), Bloemfontein, South Africa, 2019, pp. 714-718.
8. Краснов А.В., Шакирзянов И.В. Развитие малой энергетики на предприятиях агропромышленного комплекса // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2014. №2. С.82-84.
9. Нефедова Л.В., Соловьев А.А. Новые вызовы и риски на пути развития распределенной энергогенерации в арктическом регионе России // Энергетическая политика. 2018. №4. С.99-108.
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. Ахтулов А.Л., Леонов Е.Н., Федоров В.К. Методика оптимального выбора источников энергии в электротехнических системах с распределённой генерацией // Динамика систем, механизмов и машин. 2016. №1. С.20-25.
12. Тарасенко В.В. Алгоритмизация расчётов электрических сетей с распределённой генерацией // 63-я научная конференция «Наука ЮУрГУ». Секция технических наук. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. С. 238–242.
13. Погодин А.А. Распределенная генерация в схемах электроснабжения промышленного производства // Ростовский научный журнал. 2018. №12. С.374-381.
14. Илюшин П.В. Анализ особенностей сетей внутреннего электроснабжения промышленных предприятий с объектами распределённой генерации // Энергетик. 2016. №12. С. 21-25.
15. Ерошенко С.А. Модель интеллектуальной системы оценки эффективности внедрения объектов распреде-

- лённой генерации // Материалы VIII Международной научно-технической конференции. 2017. С. 41-44.
16. Рига И.Л., Иваненко Ю.П. Оценка эффективности использования объектов малой генерации вблизи потребителя электрической энергии // Радиотехника, электротехника и энергетика. 2017. С.385.
 17. Сухов А.А., Стушкина Н.А. Модернизация систем электроснабжения сельских потребителей путем внедрения распределенной генерации // Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина». 2018. №5(87). С.69-74.
 18. Кочкина А.В., Варганов Д.Е., Ковалев А.Д., Малафеев А.В. Оптимизация распределения активных мощностей между разнородными генерирующими источниками в системе электроснабжения промышленного предприятия // Электротехника глазами молодежи: III Международная научно-техническая конференция: сб. докл. 2012. С. 280-284.
 19. А.с. 2019618397 Российская Федерация. КАТРАН-OptActivePower / Варганова А.В., Малафеев А.В.; заявитель ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». № 2019616954; заявл. 07.06.2019; опубл. 01.07.19.
 20. Варганов Д.Е., Варганова А.В., Баранкова И.И. Применение экономико-математических моделей газопоршневых установок с целью повышения эффективности работы энергоузлов с источниками распределенной генерации // Электротехнические системы и комплексы. 2016. №4(33). С. 29-34.
 21. Малафеев А.В., Игуменцев В.А., Хламова А.В. Получение экономико-математических моделей турбогенераторов промышленных электростанций с целью оптимизации режима системы электроснабжения // Электротехнические комплексы и системы управления. 2009. №4. С. 34-38.
 22. Варганов Д.Е., Варганова А.В. Расчет себестоимости свежего пара на крупных тепловых промышленных электростанциях // Электротехнические системы и комплексы. 2016. № 1 (30). С. 24-28.

Поступила в редакцию 23 июля 2019 г.

INFORMATION IN ENGLISH

TECHNICAL AND ECONOMIC SUBSTANTIATION OF THE PLACE OF INSTALLATION OF SOURCES OF DISTRIBUTED GENERATION

Aleksandra V. Varganova

Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Department of Electric Power Supply of Industrial Enterprises, Power Engineering and Automated Systems Institute, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: aleksandra-khlamova@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4675-7511>

Julia M. Bayramgulova

Engineer, Joint-stock company «Magnitogorskij Grazhdan Proekt», Magnitogorsk, Russia. E-mail: Luiza-marsovna@ya.ru.

Irina N. Goncharova

Engineer, Joint-stock company «Magnitogorskij Gipromez», Magnitogorsk, Russia. E-mail: irina_goncharova_2018@mail.ru.

Olga A. Krotkova

Master's degree student, Department of Electric Power Supply of Industrial Enterprises, Power Engineering and Automated Systems Institute, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

The article proposes an approach to determine the optimal location of distributed generation sources in the power supply systems. The development of the approach is due to the need to increase the operating efficiency of existing and commissioned electric power facilities. The work reflects a technique that makes it possible, at the stage of designing a new or reconstruction of an existing electric network, to search for an economically feasible installation site for electric and thermal energy sources depending on their capacity and distance from consumers. The criterion of optimality is the minimum cost of power transmission in the network. The algorithm is implemented using the direct enumeration method. The restrictions on the throughput of individual elements of the power supply system (power lines, transformers) and the allowable voltage loss in its nodes are taken into account. The technique is adapted to the conditions of the KATRAN-OptActivePower software and computer complex. The determination of the cost of power loss in the network is determined using a modified dynamic programming method in combination with the sequential equivalentization method. For the initial data for the calculation, technical and economic models of generators are used, which are the dependence of power on the cost per ton of fresh steam needed to generate thermal and electric energy for sources of thermal power plants, and the dependence of power on the cost of the energy source used for gas turbine, combined-cycle and gas piston units. The models take into account

the operational characteristics of energy sources and are presented in the tabular form. The article provides calculations to assess the optimal installation location of generators in the conditions of the current power supply system according to the criterion of the minimum cost of active power loss.

Keywords: electric network, power supply system, distributed generation, gas turbine installation, combined-cycle plant, technical and economic indicators, costs, power losses, electricity tariff.

REFERENCES

1. Varganova A.V. About Optimization Methods of Power Supply System and Network Modes. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Energetika* [Bulletin of South Ural State University. Series "Power Engineering"], 2017, vol. 17, no. 3, pp. 76-85. (In Russian)
2. Sovban E. A., Filippova T. A., Panteleev V. I. and Trufakin S.S. "The Features of Mathematical Optimization Models of Modes Hydro-Power Stations," 2018 XIV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE), Novosibirsk, 2018, pp. 428-432.
3. Zhang S. et al. "Compilation and optimization of nuclear power plant preventive maintenance program," 2013 International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance

- nance, and Safety Engineering (QR2MSE), Chengdu, 2013, pp. 748-753.
4. Li Y. and Li R. "Simulation and Optimization of the Power Station Coal-Fired Logistics System Based on Witness Simulation Software," 2008 Workshop on Power Electronics and Intelligent Transportation System, Guangzhou, 2008, pp. 394-398.
 5. Varganova A.V. Algorithm of the Intra-Station Unit Optimization of Operating Modes of Boiler Units and Turbo Generators for Industrial Power Plants. *Promyshlennaya teploenergetika* [Industrial Heat Power Engineering], 2018, no. 1, pp. 17-22. (In Russian)
 6. Li X. "Application of Fuzzy Adaptive Genetic Algorithm in Reactive Power Compensation Optimization of Power Station," 2011 International Symposium on Computer Science and Society, Kota Kinabalu, 2011, pp. 214-217.
 7. Dzobo O. "Virtual power plant energy optimisation in smart grids," 2019 Southern African Universities Power Engineering Conference/Robotics and Mechatronics/Pattern Recognition Association of South Africa (SAUPEC/RobMech/PRASA), Bloemfontein, South Africa, 2019, pp. 714-718.
 8. Krasnov A.V., Shakirzyanov I.V. The development of small energy at enterprises of the agroindustrial complex electronic. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Bashkir State Agrarian University], 2014, no. 2, pp. 82-84. (In Russian)
 9. Nefedova L.V., Solov'ev A.A. New challenges and risks in the development of distributed energy generation in the Arctic region of Russia. *Energeticheskaya politika* [Energy policy], 2018, no. 4, pp. 99-108. (In Russian)
 10. Eroshenko S.A., Karpenko A.A., Kokin S.E., Pazderin A.V. Optimization of location and power of small generation in distribution networks. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Problemy energetiki* [Proceedings of Universities. Power engineering issues], 2012, no. 1-2, pp. 82-89. (In Russian)
 11. Akhtulov A.L., Leonov E.N., Fedorov V.K. Methodology of the optimal choice of energy sources in electrotechnical systems with distributed generation. *Dinamika sistem, mekhanizm i mashin* [Dynamics of systems, mechanisms and machines.], 2016, no. 1, pp. 20-25. (In Russian)
 12. Tarasenko V.V. Algorithmization of calculations of electric networks with distributed generation. *63-ya nauchnaya konferenciya «Nauka YUUrGU». Sekciya tekhnicheskikh nauk* [63rd Scientific Conference "Science of SUSU". Section of Technical Sciences], Chelyabinsk, 2011, pp. 238-242. (In Russian)
 13. Pogodin A.A. Distributed Generation in Power Supply Schemes for Industrial Production. *Rostovskij nauchnyj zhurnal* [Rostov Scientific Journal], 2018, no. 12, pp. 374-381. (In Russian)
 14. Pyushin P.V. Analysis of the peculiarities of internal power supply networks of industrial enterprises with distributed generation facilities. *Energetik* [Power engineer], 2016, no. 12, pp. 21-25. (In Russian)
 15. Eroshenko S.A. A model of an intellectual system for assessing the effectiveness of the implementation of distributed generation facilities. *Materialy VIII Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*. [Materials of the VIII International Scientific and Technical Conference], 2017, pp. 41-44. (In Russian)
 16. Riga I.L., Ivanenko YU.P. Evaluation of efficiency of using small generation facilities near an electric energy consumer. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Problemy energetiki* [Proceedings of Universities. Radio electronics, electrical engineering and energy issues], 2017, pp. 385. (In Russian)
 17. Sukhov A.A., Stushkina N.A. Modernization of power supply systems for rural consumers through the introduction of distributed generation. *Vestnik federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet im. V.P. Goryachkina»* [Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin], 2018, no. 5(87), pp. 69-74. (In Russian)
 18. Kochkina A.V., Varganov D.E., Kovalev A.D., Malafeev A.V. Optimization of Distribution of Active Power Between Generating Sources in the Power Supply System of an Industrial Enterprise. *Elektroenergetika glazami molodezhi III Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya* [Electric power engineering through the eyes of the youth III International Scientific and Technical Conference: a collection of reports], 2012, pp. 280-284. (In Russian)
 19. Varganova A.V., Malafeev A.V. KATRAN-OptActivePower [KATRAN-OptActivePower]. Software RF, no. 2019618397, 2019.
 20. Varganov D.E., Varganova A.V., Barankova I.I. Application of Econometric Models of Gas Piston Plants in Order to Increase the Efficiency of Power Unit with Distributed Generation Sources. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical systems and complexes], 2016, no. 4 (33), pp. 29-34. (In Russian)
 21. Malafeev A.V., Igumenshchev V.A., Khlamova A.V. Obtaining Economic and Mathematical Models of Turbogenerators of Industrial Power Plants in Order to Optimize the Mode of the Power Supply System. *Elektrotekhnicheskie komplekсы i sistemy upravleniya* [Electrotechnical complexes and control systems], 2009, no. 4, pp. 34-38. (In Russian)
 22. Varganov D.E., Varganova A.V. Cost Calculation of Working Steam in Terms of Industrial Thermal Power Stations. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical systems and complexes], 2016, no. 1 (30), pp. 24-28. (In Russian)

Варганова А.В., Байрамгулова Ю.М., Гончарова И.Н., Кроткова О.А. Технико-экономическое обоснование места установки источников распределенной генерации // *Электротехнические системы и комплексы*. 2019. № 3(44). С. 68-72. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-3\(44\)-68-72](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-3(44)-68-72)

Varganova A.V., Bayramgulova Ju.M., Goncharova I.N., Krotkova O.A. Technical and Economic Substantiation of the Place of Installation of Sources of Distributed Generation. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2019, no. 3(44), pp. 68-72. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-3\(44\)-68-72](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-3(44)-68-72)