

АЛГОРИТМ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОЙ ТОЧКИ ПОДКЛЮЧЕНИЯ К ВНЕШНИМ ИСТОЧНИКАМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ

В статье рассматривается алгоритм определения экономически обоснованных мест подключения систем электроснабжения с источниками распределенной генерации к внешней сети. Алгоритм основан на методе динамического программирования. Критерием оптимизации является минимум затрат на покупку и передачу электроэнергии от внешних источников местным сетям, учитывая при этом надежность электроснабжения в виде экономического ущерба, возникающего как у потребителей, так и поставщиков электроэнергии. Для поиска оптимального решения используются модели источников электроэнергии, которые представляют собой зависимость покупаемой мощности от тарифа на электроэнергию, потерь мощности в элементах сети и надежности электроснабжения. При оценке надежности электроснабжения учитываются особенности режимов работы схем распределительных устройств подстанции, оборудование подстанции, длина и конструкция линий электропередачи, питающих подстанцию и отходящих до исследуемой системы электроснабжения. Разработанный алгоритм позволит определять оптимальные точки подключения к внешней сети, что обеспечит экономичное и надежное функционирование систем электроснабжения, а также позволит спланировать схему электроснабжения на этапе проектирования новой или реконструкции существующей сети.

Ключевые слова: надежность электроснабжения, распределенная генерация, внешний источник, точка подключения к внешней сети, оптимизация, микрогенерация.

ВВЕДЕНИЕ

Энергетическая стратегия Российской Федерации до 2035 г. ориентирована на введение источников распределенной генерации, в том числе возобновляемых, что обеспечит дешевой и чистой электроэнергией новых потребителей. Существующим проблемам распределенной энергетики учеными посвящено большое число работ [1].

Одной из решаемых задач в данной области является проектирование оптимальных схем электроснабжения с источниками распределенной генерации, что может быть обеспечено за счет установки малой генерации в наилучших точках сети и тем самым позволит сократить потери мощности и электроэнергии [2, 3]. Данная задача решается большим числом методов в зависимости от особенностей сетей, источников и потребителей энергии, например, предлагается использовать модифицированный метод отсекающих плоскостей Келли [4], модифицированный метод динамического программирования [5], применение иммунного алгоритма [6].

Авторы [7] предлагают для повышения эффективности режимов работы систем с распределенной генерацией осуществлять экономически обоснованный выбор первичных источников энергии, что обеспечит повышение надежности и безопасности без удорожания проектируемой электротехнической системы. Уделяется внимание особенностям режимов работы систем электроснабжения с источниками распределенной генерации, работающих автономно [8].

На этапе проектирования важно оценивать эффективность внедрения источников энергии. В работе [9]

данная задача решается путем созданной интеллектуальной системы, обеспечивающей моделирование и прогнозирование режимов работы энергосистем с распределенной генерацией и поиск ее наилучших режимов. Также режимные задачи рассматриваются в условиях промышленных систем электроснабжения с собственной генерацией с целью оценки надежности потребителей и устойчивости источников [10, 11].

Реконструкция существующих сетей с собственными источниками энергии и повышение эффективности их функционирования – это еще одна из исследовательских задач. Большое число работ посвящено реконфигурации электрических сетей различных уровней напряжения [12–14], разделению сложносвязанных сетей, в том числе и с источниками электроэнергии [15].

Решаются задачи не только режимного характера, но и вопросы регулирования отношений между поставщиками, источниками и покупателями электроэнергии. В настоящее время ведется разработка крупного программного продукта – А-Платформа – платформа распределенной генерации [16], которая в перспективе позволит обеспечить регулирование отдельных игроков рынка малой генерации.

В системах электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии уделяется внимание повышению эффективности их режимов работы. В работе [17] авторы рассматривают вопрос поиска оптимального распределения мощности между станциями хранения энергии, в [18, 19] предлагаются методы управления режимами распределительных сетей с гибридной энергосистемой, что обеспечивает сокращение потерь.

Данная работа посвящена разработке алгоритма поиска экономически целесообразного места подключения системы электроснабжения с разнородными

источниками распределенной генерации к внешнему источнику электроэнергии с целью обеспечения надежного и экономного электроснабжения потребителей.

АЛГОРИТМ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОЙ ТОЧКИ ПОДКЛЮЧЕНИЯ К ВНЕШНЕМУ ИСТОЧНИКУ

В данной работе предлагается алгоритм, позволяющий определять оптимальную точку подключения к внешней сети с использованием метода динамического программирования. Выбор метода оптимизации обусловлен необходимостью ввода исходных данных в табличной форме, наличием нескольких составляющих целевой функции, заданием ограничений в форме равенств и неравенств. Критерием оптимизации является минимум затрат (3) на передачу электроэнергии, учитывая при этом надежность электроснабжения в виде экономического ущерба.

В общем виде задача оптимизации имеет следующий вид:

$$Z = (C_{ЭЭ} + C_{\Delta W} + \alpha Y) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $C_{ЭЭ}$ – стоимость электроэнергии, руб.; $C_{\Delta W}$ – стоимость потерь электроэнергии, руб.; α – коэффициент надежности внешнего источника; Y – экономический ущерб от перерыва электроснабжения, руб.

На целевую функцию накладываются ограничения:

$$\begin{cases} \sum P_{\text{ист}} = P_{\text{нагр}} + \Delta P - P_{\text{собств}}, \\ U_{i \min} \leq U_i \leq U_{i \max}, \\ S_{i \min} \leq S_i \leq S_{i \max}, \end{cases} \quad (2)$$

где $\sum P_{\text{ист}}$ – суммарная мощность источников распределенной генерации, МВт; $P_{\text{нагр}}$ – нагрузка системы электроснабжения с распределенной генерацией, МВт; ΔP – потери активной мощности в сети, МВт; $P_{\text{собств}}$ – активная мощность, вырабатываемая собственными источниками системы электроснабжения, МВт; $U_{i \min}$, $U_{i \max}$ – 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.

Стоимость потерь мощности определяется как

$$C_{\Delta W} = \sum_{i=1}^M (\Delta W_{(ЛЭП+Т)i} \beta_i), \quad (3)$$

где M – количество источников; $\Delta W_{(ЛЭП+Т)i}$ – потери электроэнергии в линиях электропередачи и трансформаторах от возможных источников электроэнергии, МВт·ч; β_i – тариф на электроэнергию от возможных внешних источников электроэнергии, руб./МВт·ч.

Экономический ущерб определяется исходя из двух возможных вариантов:

1) если в системе электроснабжения имеются внешние источники, полностью покрывающие нагрузку по-

требителей, то ущерб Y_1 определяется дополнительными затратами, возникающими по причине изменения тарифа и потерь электроэнергии в распределительных сетях при подключении к внешнему источнику:

$$Y_1 = (\beta_2 - \beta_1) P_{\text{потр}} T_{\text{в}} + (\beta_2 \Delta W_{\text{ип}} - \beta_1 \Delta W_1), \quad (4)$$

где β_2 – тариф на электроэнергию внешнего источника, руб./МВт·ч; β_1 – тариф на электроэнергию основного источника, руб./МВт·ч; $P_{\text{потр}}$ – мощность потребителей, МВт; $T_{\text{в}}$ – годовая продолжительность аварийных отключений, ч; $\Delta W_{\text{ип}}$ – потери электроэнергии в линиях электропередачи при передаче мощности от внешнего источника за время $T_{\text{в}}$, МВт·ч; ΔW_1 – потери электроэнергии в линиях электропередачи при передаче мощности от рассматриваемого источника за время $T_{\text{в}}$, МВт·ч;

2) если в системе имеется внешний источник, покрывающий частично нагрузку потребителей на время восстановления основного источника, то в данном случае ущерб Y_2 будет оцениваться как

$$Y_2 = y_0 (P_{\text{потр}} - P_{\text{ип}}) T_{\text{в}} + (\beta_2 - \beta_1) P_{\text{ип}} T_{\text{в}} + (\beta_2 \Delta W_{\text{ип}} - \beta_1 \Delta W_1), \quad (5)$$

где y_0 – удельный ущерб потребителей, руб./МВт·ч; $P_{\text{ип}}$ – мощность, потребляемая от резервного источника на время перерыва электроснабжения, МВт.

Блок-схема алгоритма поиска оптимальной точки подключения представлена на рис. 1.

В качестве исходных данных для расчета необходимо задать схему системы электроснабжения, модели внешних источников электроэнергии, параметры линий электропередачи от внешнего источника к системе электроснабжения. Определить величину мощности, необходимую для приема из энергосистемы. Построить эквивалентную модель внешнего источника электроэнергии методом динамического программирования и определить наилучший вариант точки подключения к внешней сети в зависимости от величины мощности внешнего источника, определяемой в соответствии с балансовым условием (уравнение 1 в системе (2)).

Модель внешнего источника электроэнергии представляет собой зависимость мощности P , принимаемой в соответствии с договором на поставку мощности от тарифа на электроэнергию β в заданном диапазоне мощности, оговоренном также в договоре на поставку мощности; потерь мощности ΔP , возникающих в трансформаторах и линиях электропередачи при передаче мощности от внешнего источника и от коэффициента надежности внешнего источника α , определяемого надежностью схемы распределительного устройства, а также надежностью линий электропередачи высокого и низкого напряжения от источника до распределительного пункта.

Более наглядно модель можно представить в табличной форме (табл. 1).

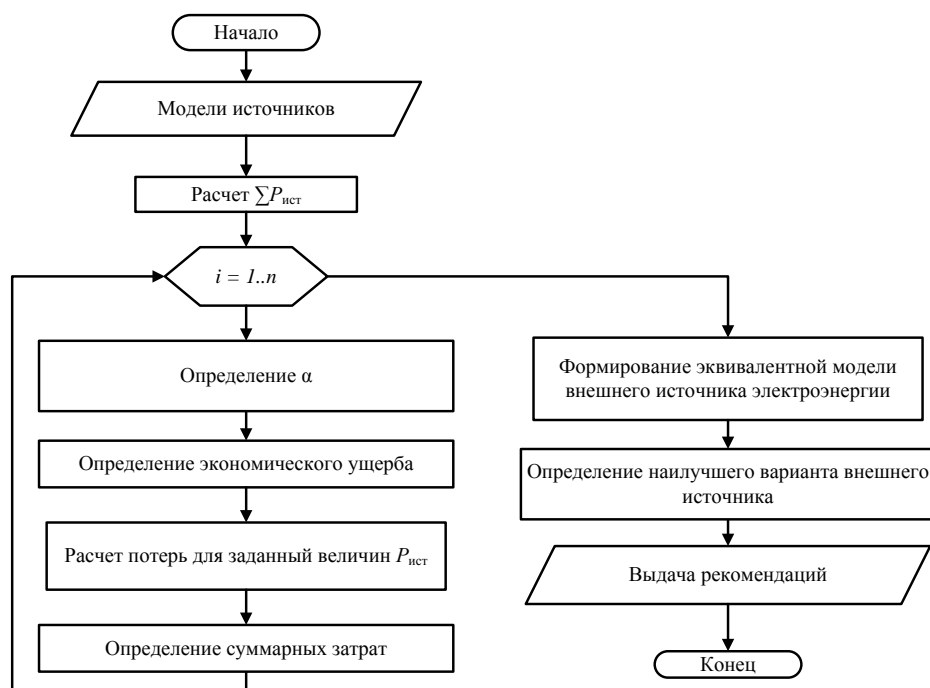


Рис. 1. Блок-схема алгоритма определения оптимальной точки подключения к внешней сети

Таблица 1

Модель внешнего источника электроэнергии

P , МВт	P_1	P_2	P_3	...	P_n
β , руб./МВт·ч	β_1	β_2	β_3	...	β_n
ΔP , МВт	ΔP_1	ΔP_2	ΔP_3	...	ΔP_n
α	α_1	α_2	α_3	...	α_n

Табличная форма модели обусловлена необходимостью задавать различные диапазоны мощностей от внешнего источника, которые соответствуют различным тарифам на электроэнергию. Модель также содержит величину потерь мощности ΔP с целью оценки потерь электроэнергии при передаче и трансформации мощности от внешнего источника в зависимости от уровня напряжения, марки и длины ЛЭП, мощности трансформатора, а также оценивается величина тарифа на электроэнергию при расчете потерь.

Для учета фактора надежности при определении экономического ущерба рассчитывается коэффициент надежности внешнего источника:

$$\alpha = T_{\text{в.вип}} \omega_{\text{вип}}, \quad (6)$$

где $T_{\text{в.вип}}$ – эквивалентное время восстановления от внешнего источника, год; $\omega_{\text{вип}}$ – эквивалентная величина параметра потока отказов при оценке надежности внешнего электроснабжения.

Величины $T_{\text{в.вип}}$ и $\omega_{\text{вип}}$ определяются структурно-аналитическим методом [20], исходя из условия, что элементы внешнего источника (линия электропередачи высокого напряжения, схема распределительного устройства подстанции, линия низкого напряжения) соединены последовательно.

Величина параметра потока отказов точки подключения к внешней сети определяется по выражению

$$\omega_{\text{вип}} = \omega_{\text{ЛЭП ВН}} + \omega_{\text{РУ ПС}} + \omega_{\text{ЛЭП НН}}, \quad (7)$$

где $\omega_{\text{ЛЭП ВН}}$ – параметр потока отказов линии электропередачи от внешнего источника электроэнергии на стороне высокого напряжения подстанции, 1/год; $\omega_{\text{РУ ПС}}$ – эквивалентное значение параметра потока отказов распределительных устройств подстанции, 1/год [11]; $\omega_{\text{ЛЭП НН}}$ – параметр потока отказов линии электропередачи от внешнего источника электроэнергии на стороне низкого напряжения подстанции, 1/год.

Время восстановления определяется исходя из выражения

$$T_{\text{в.вип}} = \frac{T'}{\omega_{\text{вип}}}; \quad (8)$$

$$T' = T_{\text{ЛЭП ВН}} \omega_{\text{ЛЭП ВН}} + T_{\text{РУ ПС}} \omega_{\text{РУ ПС}} + T_{\text{ЛЭП НН}} \omega_{\text{ЛЭП НН}},$$

где $T_{\text{в.вип}}$ – время восстановления линии электропередачи от внешнего источника электроэнергии на стороне высокого напряжения подстанции, год; $T_{\text{РУ ПС}}$ – эквивалентное значение времени восстановления распределительных устройств подстанции, год [11]; $T_{\text{ЛЭП НН}}$ – время восстановления линии электропередачи от внешнего источника электроэнергии на стороне низкого напряжения подстанции, год.

МОДЕЛЬ ВНЕШНЕГО ИСТОЧНИКА

Для решения поставленной задачи смоделированы источники внешнего подключения к энергосистеме в виде, приведенном в табл. 2.

Таблица 2

Модель внешнего источника электроэнергии

P , МВт	7	8	9	10	11
β , руб./МВт·ч	3,4	3,4	3,4	3,4	3,6
ΔP , МВт	1,4	1,6	1,8	2	2,2
α	0,00052	0,00052	0,00052	0,00052	0,00052

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданный подход позволяет моделировать системы электроснабжения с источниками распределенной генерации и возможностью питания от внешних источников, при этом решается задача поиска оптимального внешнего электроснабжения, которое обеспечивает надежность и экономичность режимов работы сети. Применение метода динамического программирования позволяет задавать исходные данные о внешних источниках электроэнергии, учитывая особенности их режимов работы и условий оговора на поставку электроэнергии. Разработанный алгоритм ориентирован на решение предпроектных задач при создании конфигурации новой или реконструкции существующей электрической сети, что обеспечит сокращение затрат не только на потери и прием электроэнергии из сети, но и позволит оценить надежность электроснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никулин П.А. Проблемы и перспективы развития распределенной генерации в Российской Федерации // Экономика и социум. 2018. №6 (49). С. 802-804.
2. Georgilakis P.S., Hatzigargyriou N.D. Optimal distributed generation placement in power distribution networks: models, methods, and future research // IEEE Trans. Power Syst. 2003. Vol. 28. №3.
3. Meera Shareef S.D., Vinod Kumar T. A review on models and methods for optimal placement of distributed generation in power distribution systems // UEAR. 2014. Vol. 4. Issue Spl-1.
4. 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.
5. Техничко-экономическое обоснование места установки источников распределенной генерации / А.В. Варганова, Ю.М. Байрамгулова, И.Н. Гончарова, О.А. Кроткова // Электротехнические системы и комплексы. 2019. №3(44). С. 68-72.
6. Ma J. 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. IEEE, 2012, pp. 124-132.
7. Ахтулов А.Л., Леонов Е.Н., Федоров В.К. Методика оптимального выбора источников энергии в электротехнических системах с распределенной генерацией // Динамика систем, механизмов и машин. 2016. №1. С. 20-25.
8. Fully Decentralized Optimal Power Flow of Multi-Area Interconnected Power Systems Based on Distributed Interior Point Method/ Lu W., Liu M., Lin S., Li L. // IEEE Transactions on Power Systems. 2016. Vol. 33. No. 1. Pp. 901-910.
9. Ерошенко С.А. Модель интеллектуальной системы оценки эффективности внедрения объектов распределенной генерации// Материалы VIII Международной научно-технической конференции. Самара: Самарский государственный технический университет, 2017. С. 41-44.
10. Илюшин П.В. Анализ особенностей сетей внутреннего электроснабжения промышленных предприятий с объектами распределенной генерации // Энергетик. 2016. №12. С. 21-25.
11. Varganova A.V., Irihov A.S., Shemetov A.N. External Power Supply Reliability Assessment to Consumers of 6-10 kV of the Substations of 35 kV and Higher // 2020 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). IEEE, 2020. Pp. 57-62.
12. Петрова Д.Г. Методика определения точки экономического разрыва в сложнзамкнутых сетях 10 кВ // Интеллектуальная собственность и современные техника и технологии для развития экономики: материалы VI Республиканской молодежной научно-практической конференции в рамках Всероссийского студенческого форума «Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России». Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. С. 80-83.
13. Сидорова В.Т., Карчин В.В. Усовершенствование методики определения точки размыкания в сложнзамкнутых воздушных сетях 110 кВ // Электроэнергетика глазами молодежи – 2017: материалы VIII Международной научно-технической конференции. Самара: СамГТУ, 2017. С. 104-107.
14. Савина Н.В., Сцепуро К.И. Реконфигурация схемы электрических сетей как средство снижения потерь электроэнергии // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2019. Т. 11. № 2(42). С. 91-102.
15. Валеев И.М., Камалиев Р.Н., Мусаев Т.А. Оценка возможности применения метода размыкания сетей с двусторонним питанием в условиях действующей системы электроснабжения городского района напряжением 6(10) кВ// Диспетчеризация и управление в электроэнергетике: Материалы докладов XII Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции. Казань: КГЭУ, 2017. С. 44-49.
16. Официальный сайт «А-Платформа - Российская программная платформа управления распределенной энергетикой». URL: <https://a-platform.ru/> (дата обращения 25.05.2022).
17. Power optimization allocation strategy for energy storage station responding to dispatch instruction/ Lei Ting, Wang Tao, Yu Haoran, Liu Haoming // 2015 International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies (EDST). IEEE, 2015. Pp. 177-182.
18. Mid-long term optimal dispatching method of power system with large-scale wind-photovoltaic-hydro power generation/ Zhang Q., Wang M., Wang X., Tian S. // 2017 IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2). IEEE, 2017, pp. 1-6.
19. Optimal dispatching for active distribution network with wind-battery hybrid power system / Y. Ma, G. Zou, M. Hou, Q. Dong and J. Yang // 2017 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC). IEEE, 2017, pp. 1-6.
20. Хорольский В.Я., Таранов М.А., Петров Д.В. Техничко-экономические расчеты распределительных электрических сетей. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2015. 96 с.

Поступила в редакцию 12 февраля 2022 г.

INFORMATION IN ENGLISH

ALGORITHM FOR SEARCHING THE OPTIMAL POINT OF CONNECTION TO EXTERNAL POWER SOURCES IN DISTRIBUTED GENERATION POWER SUPPLY SYSTEMS

Aleksandra V. Varganova

Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Electrical Power Engineering Department, Tobolsk Industrial Institute, Tobolsk Branch of the Industrial University of Tyumen, Tobolsk, Russia. E-mail: aleksandra-khlamova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4675-7511>

Viktor I. Novoselov

PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, Department of Electric Power Engineering, Tyumen Industrial University Tobolsk Industrial Institute (Branch), Tobolsk, Russia, novoselovvi@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8342-4279>

The article discusses an algorithm for determining economically feasible places for connecting power supply systems with distributed generation sources to the external network. The algorithm is based on the dynamic programming method. The optimization criterion is the minimum costs for the purchase and transmission of electricity from external sources to local networks, while taking into account the reliability of electricity supply in the form of economic damage arising from both consumers and electricity suppliers. To find the optimal solution, models of electricity sources are used, which represent the dependence of the purchased power on the electricity tariff, power losses in the network elements and the reliability of power supply. When assessing the reliability of power supply, the features of the operating modes of the substation switchgear circuits, the substation equipment, the length and design of the power lines supplying the substation and extending to the power supply system under study are taken into account. The developed algorithm will allow determining the optimal points of connection to the external network, which will ensure the economical and reliable operation of power supply systems, and will also allow planning the power supply scheme at the design stage of a new or reconstruction of an existing network.

Keywords: reliability of power supply, distributed generation, external source, point of connection to the external network, optimization, microgeneration.

REFERENCES

1. Nikulin P.A. Problems and Prospects of Development of Distributed Generation in the Russian Federation. *Ekonomika i socium* [Economics and Society], 2018, no. 6(49), pp. 802-804. (In Russian)
2. Georgilakis P.S., Hatziaargyriou N.D. Optimal Distributed Generation Placement in Power Distribution Networks: Models, Methods, and Future Research. *IEEE Trans. Power Syst.*, 2023, vol. 28, no. 3.
3. Meera Shareef S.D., Vinod Kumar T. A Review on Models and Methods for Optimal Placement of Distributed Generation in Power Distribution Systems. *UEAR*, 2014, vol. 4, issue Spl-1, Jan - June 2014.
4. Eroshenko S.A., Karpenko A.A., Kokin S.E., Pazderin A.V. Optimization of Location and Power of Small Generation in Distribution Networks. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii Problemy energetiki* [Proceedings of higher educational establishments. Energy problem], 2012, no. 1-2, pp. 82-89. (In Russian)
5. Varganova A.V., Bayramgulova Yu.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)
6. 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. IEEE, 2012, pp. 124-132.
7. Akhtulov A.L., Leonov E.N., Fedorov V. Technique of Optimizing the Energy Sources in Electrical Systems with Distributed Generation. *Dinamika sistem mekhanizmov i mashin* [Speaker Systems, Mechanisms and Machines], 2016, no. 1, pp. 20-25. (In Russian)
8. Lu W., Liu M., Lin S., Li L. Fully Decentralized Optimal Power Flow of Multi-Area Interconnected Power Systems Based on Distributed Interior Point Method. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2016, vol. 33, no. 1, pp. 901-910.
9. Eroshenko S.A. A Model of an Intellectual System for Assessing the Effectiveness of the Implementation of Distributed Generation Facilities. *Materialy VIII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Materials of the VIII International Scientific and Technical Conference], 2017, pp. 41-44. (In Russian)
10. Ilyushin 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)
11. Varganova A.V., Irihov A.S., Shemetov A.N. External Power Supply Reliability Assessment to Consumers of 6-10 kV of the Substations of 35 kV and Higher. 2020 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). IEEE, 2020, pp. 57-62.
12. Petrova D.G. Methods of determining the point of economic rupture in the complex networks of 10 kV. *Intellektualnaia sobstvennost i sovremennye tekhnika i tekhnologii dlia razvitiia ekonomiki Materialy VI respublikanskoi molodezhnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii v ramkakh Vserossiiskogo studencheskogo foruma Inzhenernye kadry budushchee innovatsionnoi ekonomiki Rossii* [Intellectual property and modern techniques and technologies for the development of the economy: materials of the VI of the Republican youth scientific and practical conference in the framework of the All-Russian Student Forum "Engineering Persons - the future of the innovation economy of Russia"]. Joshkar-Ola, PGU Publ., 2018, pp. 80-83. (In Russian)
13. Sidorova V.T., Karchin V.V. Improving the method of determining the point of opening in complex closed air networks 110 kV. *Elektroenergetika glazami molodezhi - 2017 Materialy VIII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Electric power in the eyes of youth - 2017: Materials of the VIII International Scientific and Technical Conference]. Samara, SamGTU Publ., 2017, pp. 104-107. (In Russian)
14. Savina N.V., Scepuro K.I. Reconfiguration of the circuit of electrical networks as a means of reduced electricity loss. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta* [Bulletin of the Kazan State Energy University],

- 2019, vol. 11, no. 2(42), pp. 91-102. (In Russian)
15. Valeev I.M., Kamaliev R.N., Musaev T.A. Evaluation of the possibility of applying the method of opening of double-sided networks in the conditions of the current power supply system of the urban area of 6 (10) kV. *Dispatcherizatsiya i upravlenie v elektroenergetike Materialy dokladov XII Vse-rossiiskoi otkrytoi molo-dezhnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Dispatch and management in the electric power industry: materials of reports of the XII All-Russian open youth scientific and practical conference]. Kazan, KGEU Publ., 2017, pp. 44-49. (In Russian)
16. *A-Platforma – Rossiyskaya programmnaya platforma upravleniya raspredelennoy energetikoy* [A-Platform – Russian software platform management distributed energy]. Available at: <https://a-platform.ru/> (accessed 27.08.2021)
17. Lei Ting, Wang Tao, Yu Haoran, Liu Haoming Power optimization allocation strategy for energy storage station responding to dispatch instruction. 2015 International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies (EDST). IEEE, 2015, pp. 177-182.
18. Zhang Q., Wang M., Wang X., Tian S. Mid-long term optimal dispatching method of power system with large-scale wind-photovoltaic-hydro power generation. 2017 IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2). IEEE, 2017, pp. 1-6.
19. Ma Y., Zou G., Hou M., Dong Q., Yang J. Optimal dispatching for active distribution network with wind-battery hybrid power system. 2017 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC). IEEE, 2017, pp. 1-6.
20. Khorolsky V.Ya., Taranov M.A., Petrov D.V. *Tekhniko-ekonomicheskie raschety raspredelitel'nykh elektricheskikh setey* [Technical and Economy Calculations for distribution cells Networks]. Moscow, Forum, INFRA-M Publ., 2015, 96 p. (In Russian)

Варганова А.В., Новоселов В.И. Алгоритм поиска оптимальной точки подключения к внешним источникам электроэнергии в системах электроснабжения с распределенной генерацией // *Электротехнические системы и комплексы*. 2022. № 2(55). С. 71-76. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2022-2\(55\)-71-76](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2022-2(55)-71-76)

Varganova A.V., Novoselov V.I. Algorithm for Searching the Optimal Point of Connection to External Power Sources in Distributed Generation Power Supply Systems. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2022, no. 2(55), pp. 71-76. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2022-2\(55\)-71-76](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2022-2(55)-71-76)