

УДК 33

DOI: 10.34670/AR.2021.44.27.003

Решение задачи определения оптимального состава и распределения мобильных дизель-генераторных установок по территории города

Бирюков Владислав Павлович

Студент,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
105005, Российская Федерация, Москва, 2-я Бауманская ул., 5;
e-mail: voj000@mail.ru

Кузьмина Инна Анатольевна

Кандидат технических наук, доцент,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
105005, Российская Федерация, Москва, 2-я Бауманская ул., 5;
e-mail: voj000@mail.ru

Аннотация

Решается задача определения оптимального состава и распределения мобильных дизель-генераторных установок на конечном множестве площадок хранения, расположенных на территории города. Показано, что применение ДГУ в энергосистемах в настоящее время не регламентировано, отсутствуют утвержденные рекомендации по выбору количества ДГУ, их мощности и мест хранения (постоянной установки на время до их применения). Отсутствие рекомендаций по применению ДГУ не позволяет обеспечить их экономически эффективное применение, как по количеству и единичной мощности, по минимизации эксплуатационных затрат, так и по сокращению времени перерыва электроснабжения потребителей. Для обеспечения экономической эффективности применения ДГУ необходимо разработать, как нормативы, так и программный комплекс, позволяющий с учетом местных условий обеспечить их оптимальное, экономически эффективное применение. В работе представлена математическая модель сети электроснабжения, дана математическая постановка решаемой задачи как задачи дискретной оптимизации, предложены различные варианты критериев оптимальности, рассмотрены различные подходы к решению задач исследуемого типа, а также приведен разработанный авторами эвристический метод решения поставленной задачи.

Для цитирования в научных исследованиях

Бирюков В.П., Кузьмина И.А. Решение задачи определения оптимального состава и распределения мобильных дизель-генераторных установок по территории города // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2021. Том 11. № 4А. С. 27-33. DOI: 10.34670/AR.2021.44.27.003

Ключевые слова

Мобильные дизель-генераторные установки, сеть электроснабжения, дискретная оптимизация, эвристический подход, оптимизация.

Введение

Невозможно представить себе жизнь современного города без электроснабжения. Прекращение электроснабжения для некоторых видов объектов на продолжительный срок может привести к серьезным последствиям в результате их работы. В большей мере это касается особо ответственных потребителей (больницы, предприятия с непрерывным производством и пр.). Избежать аварийных ситуаций в сетях энергоснабжения невозможно. В случае возникновения аварии в любом элементе сети, необходимо восстановить электроснабжение в кратчайшие сроки.

Электросетевая компания обязана поддерживать высокий уровень надежности потребителей в случае возникновения аварий обеспечить восстановление электроснабжения в установленные регламентом сроки.

Одним из способов выполнения установленных требований является применение мобильных дизель-генераторных установок (ДГУ) для временного энергоснабжения потребителей. Применение ДГУ в энергосистемах в настоящее время не регламентировано, отсутствуют утвержденные рекомендации по выбору количества ДГУ, их мощности и мест хранения (постоянной установки на время до их применения). Отсутствие рекомендаций по применению ДГУ не позволяет обеспечить их экономически эффективное применение, как по количеству и единичной мощности, по минимизации эксплуатационных затрат, так и по сокращению времени перерыва электроснабжения потребителей. Для обеспечения экономической эффективности применения ДГУ необходимо разработать, как нормативы, так и программный комплекс, позволяющий с учетом местных условий обеспечить их оптимальное, экономически эффективное применение.

В настоящей работе представлена математическая модель сети электроснабжения, дана постановка задачи оптимального распределения ДГУ по территории города, а также предложен эвристический алгоритм ее решения.

Математическая модель сети электроснабжения

Городская распределительная сеть электроснабжения, состоит из соединенных кабельными линиями (КЛ) трансформаторных подстанций (ТП) и распределительных подстанций (РП). Каждая ТП характеризуется подключенной к ней нагрузкой $P_{ТП}$, суммарной мощностью подключенных к ней потребителей, и географическими координатами (хх.хххххх, уу.уууууу). Число трансформаторных и распределительных подстанций обозначим $NTП$ и $NRП$, соответственно. Множества кабельных линий $\mathbf{K} = \{Ki, i \in [1 \dots NK]\}$, трансформаторных $\mathbf{T} = \{Ti, i \in [1 \dots NT]\}$ и распределительных подстанций $\mathbf{R} = \{Ri, i \in [1 \dots NR]\}$ считаем заданными.

На период возникновения аварий, резервное питание отключенных потребителей производится за счет ДГУ G , число которых равно NG . Каждый дизель-генератор характеризуется номинальной мощностью PG , а множество дизель-генераторов определено как $\mathbf{G} = \{Gi, i \in [1 \dots NG]\}$. На территории размещения энергосети располагается множество площадок S , каждая из которых характеризуется географическими координатами (хх.хххххх, уу.уууууу) на карте. Число площадок обозначим через NS , а их множеств $\mathbf{S} = \{Si, i \in [1 \dots NS]\}$ [2].

Расстояния от каждой $Ti, i \in [1 \dots NT]$ ТП до каждой площадки $Sj, j \in [1 \dots NS]$ считаем известным и равным DTi,Sj ; множество всех расстояний от ТП до всех площадок обозначим через $\mathbf{GT,S} = \{DTi,Sj, i \in [1 \dots NT], j \in [1 \dots NS]\}$. В общем случае значение DTi,Sj может не

являться непосредственным расстоянием между объектами, а отражать в том числе сложность преодоления этого расстояния.

Сеть электроснабжения представляет совокупность ТП, РП и КЛ [1].

$$E = \{T, R, K\} \quad (1)$$

Математическая постановка задачи

Исходными данными для решаемой задачи являются:
множество площадок возможного размещения ДГУ:

$$S = \{S_i, i \in [1 \dots NS]\};$$

множество ТП: $T = \{T_i, i \in [1 \dots NT]\}$.

Ставится задача определить число мобильных дизель-генераторных установок NG и их мощность PG (множество $G = \{G_i, i \in [1 \dots NG]\}$), а также определить их распределение на множестве площадок $S^* \subseteq S$, $S^* = \{S_j, j \in [1 \dots NS^*]\}$ таким образом, чтобы обеспечить выполнение установленных ограничений для всех ТП $T = \{T_i, i \in [1 \dots NT]\}$ и минимизировать заданные критерии оптимальности. Распределение обозначим через

$$F(G, S^*) = \{G_i(S_j) \mid i \in [1: NG], j \in [1: NS^*]\}. \quad (2)$$

Критерии оптимальности

Выделим две группы критериев оптимальности.

I. Критерии надежности электроснабжения потребителей

В задаче определения оптимального состава и распределения мобильных ДГУ надежность электроснабжения потребителей связана с сокращением времени на восстановление электроснабжения.

$$A(T_i) : \min R(T_i) \quad (3)$$

где $A(T_i)$ – факт обесточения ТП T_i в связи с возникновением аварии или проведением плановых ремонтных работ;

где $R(T_i)$ – время восстановления электроснабжения для ТП T_i .

II. Экономические критерии

1. Снижение затрат на закупку оборудования

Обеспечиваются снижением суммарных затрат электросетевой компании на закупку мобильных ДГУ. Так как стоимость мобильной ДГУ зависит от ее мощности PG , данный критерий может быть представлен в следующем виде:

$$\sum_{i=1}^{NG} C(G_i(P_G)) \rightarrow \min \quad (4)$$

где $C(G_i(P_G))$ – стоимость i -ой ДГУ мощностью P_G .

2. Снижение эксплуатационных затрат (из расчета на 1 год)

Затраты на обслуживание площадок размещения ДГУ

$$\sum_{i=1}^{NS} E(S_i) \rightarrow \min \quad (5)$$

где $E(S_i)$ – годовая стоимость обслуживания i -ой площадки.
Затраты на техническое обслуживание ДГУ

$$\sum_{i=1}^{NG} E(G_i(P_G)) \rightarrow \min \quad (6)$$

где $E(G_i(P_G))$ – годовая стоимость эксплуатации i -ой ДГУ мощностью P_G .
Затраты (усредненные) на доставку ДГУ к месту аварии/планового ремонта

$$\sum_{i=1}^{NG} T(G_i) \rightarrow \min \quad (7)$$

где $T(G_i)$ – стоимость затрат на доставку i -ой ДГУ к месту аварии.

Ограничения

1. Обеспечение предельного времени на восстановление электроснабжения всех ТП множества $\mathbf{T} = \{T_i, i \in [1 \dots NT]\}$

$$R(T_i) < LI/II/III, i \in [1 \dots NT] \quad (8)$$

где $R(T_i)$ – время восстановления электроснабжения для ТП T_i ; В общем случае величина $R(T_i)$ отображает трудность преодоления фактического расстояния (плохое покрытие дороги или его отсутствие, частые пробки и пр.); $LI/II/III$ – соответствующее ТП T_i предельное время восстановления электроснабжения.

Эвристический алгоритм решения поставленной задачи

Определение оптимального распределения (2) реализуется последовательным выполнением следующих этапов.

Этап I. В множество площадок для хранения мобильных ДГУ $\mathbf{S}^* \subseteq \mathbf{S}$ включаются все площадки $S_i \in \mathbf{S}$, обеспечивающие решение для каждой ТП, имеющей единственное решение.

Этап II. В решение включается очередная площадка S_i , выбор которой производится согласно одной из следующих эвристик:

В решение включается площадка S_j с минимальным расстоянием до ТП T_i ;

$$S_j : \min_{j \in [1 \dots NS]} \{ D_{T_i, S_j}, i \in [1 \dots NT] \} \quad (9)$$

Для каждой площадки S_j определяется среднее расстояние между площадкой и всеми оставшимися ТП. Среди рассчитанных расстояний выбирается минимальное и оно включается

в состав решения.

$$S_j : \min_{j \in [1 \dots N_S]} \left\{ \frac{\sum_{i=1}^{N_T} D_{T_i, S_j}}{N_T} \right\} \quad (10)$$

В решение включается площадка S_j , которая может “обслуживать” наибольшее количество ТП

$$S_j : \max_{j \in [1 \dots N_S]} \left\{ D_{T_i, S_j} \neq 0, i \in [1 \dots N_T] \right\} \quad (11)$$

Набор эвристик может быть расширен.

Выбор эвристики на очередном шаге принятия решения может производиться произвольно (случайный выбор, последовательный перебор и пр.).

Этап III. Определение числа и мощности мобильных ДГУ для хранения на каждой включенной в решение площадке

Для каждой площадки $S_j \in \mathbf{S}^*$ определяется множество мобильных ДГУ G_j .

$$\mathbf{G} = \mathbf{G}_1 \cup \mathbf{G}_2 \cup \dots \cup \mathbf{G}_{N_S} \quad (12)$$

Совокупность найденных множеств определяет решение задачи по формуле (2).

С целью проверки эффективности работоспособности разработанного алгоритма был проведен вычислительный эксперимент на карте города размерностью 10×10 км, что соответствует примерной площади электросетевого района города Москвы. На заданной территории были расположены 100 ТП и 50 площадок возможного хранения мобильных ДГУ.

Так как эвристический алгоритм определения оптимального состава и распределения мобильных ДГУ имеет вероятностный фактор, то было произведено 20 запусков программы на одних и тех же исходных данных.

Результаты экспериментов представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Результаты вычислительного эксперимента

№	Затраты, млн. руб.	Число площадок	Число ДГУ
1	115.27	4	13
2	140.66	5	16
3	165.97	6	19
4	129.52	5	15
5	129.43	5	15
6	115.06	4	13
7	129.61	5	15
8	129.4	5	15
9	140.9	5	16
10	129.25	5	15
11	165.85	6	19
12	140.62	5	16
13	129.81	5	15
14	129.31	5	15
15	140.43	5	16

№	Затраты, млн. руб.	Число площадок	Число ДГУ
16	140.8	5	16
17	140.59	5	16
18	140.9	5	16
19	129.7	5	15
20	151.59	5	17

Заклучение

В продолжении работы планируется реализованный программный модуль интегрировать в программный комплекс оптимального применения ДГУ.

Библиография

1. Электрические системы и сети: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.
2. Дизель-генераторные установки. [Электронный ресурс] URL: <https://tech-expo.ru/dgu/>
3. Кирпичев К.Ю., Соловьев С.Ю. *Интеграция информационных систем предприятий электроэнергетики на базе СИМ-модели*. Издание 2008 г.
4. Международный научно-практический журнал. Программные продукты и системы. Издание №4 2020 г.
5. Логинов В.И., Шемагина Л.Н. *Основы алгоритмизации*. Издание 2010 г.
6. Дизель-генераторные установки. [Электронный ресурс] URL: <https://tech-expo.ru/dgu/>
7. Okundamiya M. S., Emagbetere J. O., Ogujor E. A. Assessment of renewable energy technology and a case of sustainable energy in mobile telecommunication sector //The Scientific World Journal. – 2014. – Т. 2014.
8. Anas A., Arnott R., Small K. A. Urban spatial structure //Journal of economic literature. – 1998. – Т. 36. – №. 3. – С. 1426-1464.
9. Sabaliauskas K. et al. Development of a land-use regression model for ultrafine particles in Toronto, Canada //Atmospheric Environment. – 2015. – Т. 110. – С. 84-92.
10. Diemuodeke E. O. et al. Optimal mapping of hybrid renewable energy systems for locations using multi-criteria decision-making algorithm //Renewable Energy. – 2019. – Т. 134. – С. 461-477.

Solving the problem of determining the optimal composition and distribution of mobile diesel generator sets on the territory of the city

Vladislav P. Biryukov

Student

Bauman Moscow State Technical University
105005, 5 2nd Baumanskaya str., Moscow, Russian Federation;
e-mail: voj000@mail.ru

Inna A. Kuz'mina

PhD in Technical science, Associate Professor
Bauman Moscow State Technical University
105005, 5 2nd Baumanskaya str., Moscow, Russian Federation;
e-mail: voj000@mail.ru

Abstract

The problem of determining the optimal composition and distribution of mobile diesel generator sets on a finite set of storage sites located on the territory of the city is solved. It is shown that the use of DGS in power systems is currently not regulated, there are no approved recommendations for choosing the number of DGS, their capacity and storage locations (permanent installation for the time before their use). The lack of recommendations on the use of DGS does not allow to ensure their cost-effective use, both in terms of quantity and unit capacity, to minimize operating costs, and to reduce the time of interruption of power supply to consumers. To ensure the economic efficiency of the use of DSU, it is necessary to develop both standards and a software package that allows, taking into account local conditions, to ensure their optimal, cost-effective application. The paper presents a mathematical model of the power supply network, gives a mathematical formulation of the problem being solved as a discrete optimization problem, offers various variants of optimality criteria, considers various approaches to solving problems of the type under study, and also presents a heuristic method developed by the authors for solving the problem.

For citation

Biryukov V.P., Kuz'mina I.A. (2021) Reshenie zadachi opredeleniya optimal'nogo sostava i raspredeleniya mobil'nykh dizel'-generatornykh ustanovok po territorii goroda [Solution of the problem of determining the optimal composition and distribution of mobile diesel generator sets on the territory of the city]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 11 (4A), pp. 27-33. DOI: 10.34670/AR.2021.44.27.003

Keywords

Mobile diesel generator sets, power supply network, discrete optimization, heuristic approach, optimization.

References

1. Electrical systems and networks: Textbook for universities. - M.: Energoatomizdat, 1989. - 592 p.
2. Diesel generator sets. [Electronic resource]URL: <https://tech-expo.ru/dgu/>
3. Kirpichev K. Yu., Soloviev S. Yu. Integration of information systems of electric power industry enterprises based on the MGK-model. Edition 2008
4. International scientific and Practical journal. Software products and systems. Edition No. 4, 2020
5. Loginov V. I., Shemagina L. N. Fundamentals of algorithmization. The 2010 edition
6. Diesel generator sets. [Electronic resource] URL:<https://tech-expo.ru/dgu/>
7. Okundamiya M. S., Emagbetere J. O., Oguzhor E. A. Assessment of renewable energy technologies and an example of sustainable energy in the mobile communications sector //Scientific World Journal. - 2014. - T. 2014.
8. Anas A., Arnott R., Maly K. A. Spatial structure of cities // Journal of Economic Literature. - 1998. - Vol. 36. - No. 3. - pp. 1426-1464.
9. Sabalyauskas K. et al. Development of a land-use regression model for ultrafine particles in Toronto, Canada //Atmospheric environment. - 2015. - Vol. 110. - pp. 84-92.
10. Dimuodeke E. O. et al. Optimal mapping of hybrid renewable energy systems for locations using a multi-criteria decision-making algorithm //Renewable energy. - 2019. - Vol. 134. - pp. 461-477.