

<sup>1</sup> Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

<sup>2</sup> Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

<sup>3</sup> Университет Диала, республика Ирак

## ВЫБОР УЗЛОВ ПОДКЛЮЧЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ В СЕТЯХ РЕСПУБЛИКИ ИРАК

В статье показано, что распределительные сети Республики Ирак испытывают ощутимый дефицит мощности в результате частичного разрушения из-за военного конфликта, с одной стороны, и ежегодного роста спроса на электроэнергию, с другой. Перегруженность сетей Республики Ирак вызвала увеличение потерь напряжения и мощности в элементах распределительной сети, что значительно влияет на основные параметры сети и показатели качества электроэнергии. Расчет режима в программном комплексе RasterWin3 подтвердил снижение напряжения в узлах выше допустимых значений и увеличение потерь активной мощности в элементах распределительной сети. Доказана возможность решения этой проблемы с помощью распределенной генерации в виде использования фотодизельных электростанций (ФДЭС), что подкрепляется климатическими особенностями и наличием собственных углеводородов, определяющими возможность использования ФДЭС. С целью выбора узлов подключения ФДЭС в распределительной сети Республики Ирак на шинах 11 кВ подстанции 33/11 кВ решена задача снижения потерь мощности на основании оптимизации выбора мест установки ФДЭС, при этом предложено определенное сочетание между фотоэлектрическими панелями (ФЭП) и дизельэлектростанциями (ДЭС). За критерий оптимальности выбирается минимум потерь активной мощности в сетях напряжением 33 кВ. В результате решения задачи оптимизации предложено установить ФДЭС в трех наиболее характерных узлах (10, 15, 23) суммарной мощностью 2000, 1500 и 1000 кВт. Оценка эффективности распределительных сетей Республики Ирак с учетом использования ФДЭС подтвердила значительное увеличение уровня напряжения в узлах потребления за счет снижения потерь мощности в элементах распределительной сети. Таким образом, научная новизна статьи заключается в разработке методики выбора мощностей и мест установки распределенной генерации в сетях Республики Ирак на основании анализа режимов и минимизации потерь мощности в элементах сети.

**Ключевые слова:** распределительные сети, распределенная генерация в виде фотодизельных электростанций, потери мощности и напряжения, оптимизация и минимизация потерь.

### ВВЕДЕНИЕ

Ежегодно спрос электроэнергии в Республике Ирак возрастает и на начало 2020 года составил более 19000 МВт, в то время как энергосистема вырабатывает порядка 16000 МВт. С учетом частичного выбывания сетей из-за военного конфликта и роста потребления распределительные сети Республики Ирак перегружены [1, 2]. Также свыше 70 % установленных генерирующих мощностей введены в эксплуатацию до 2000 года, что указывает на моральный износ и низкую эффективность. Большинство таких систем имеет низкий КПД, не превышающий 40% [3].

В связи с этим возникает необходимость дополнительных источников мощности, в том числе использование распределенной генерации. Учитывая климатические и географические особенности Республики Ирак, в качестве распределенной генерации возможно использование ФЭП. Согласно исследованию [4, 5], интенсивность солнечной радиации в течение года изменяется от 2393 до 6576 Вт·ч/(м<sup>2</sup>·сут), а количество солнечных дней превышает двести пятьдесят.

Республика Ирак является богатой нефтью и газом страной, где производится добыча и переработка углеводородов. Учитывая, что в среднем сто пятнадцать дней Республика Ирак не охвачена солнечным излучением, то в дополнение к ФЭП возможно использование дизельэлектростанций (ДЭС) [6, 7].

Такие установки могут быть использованы как дополнительные источники энергии, подключенные на шинах 11 кВ подстанций 33/11 кВ, так и как автономные электростанции для удаленных населенных пунктов.

Для повышения энергоэффективности в распределительных сетях Республики Ирака предлагается использовать ФДЭС, которые обладают рядом положительных свойств и обеспечивают [8-11]:

- автоматическое регулирование уровня напряжения в определенных пределах;
- изменение величины и направления потоков мощности;
- снижение потерь мощности;
- повышение уровня напряжения в узлах нагрузок;
- обеспечение автономной работы на длительный срок при авариях.

Учитывая высокую стоимость ФДЭС не целесообразно устанавливать их во всех узлах распределительной сети Республики Ирак, так как они могут не окупиться даже за весь период эксплуатации. Выбор мощности и места установки гибридных ФДЭС произведен на основании минимизации потерь в элементах распределительной сети Республики Ирак [12-14]. Оценка эффективности выбора узлов установки выполняется на примере фрагмента, представленного на **рис. 1**.

Расчет режима выполнен в программном комплексе RasterWin3 [15]. Последовательность расчета режимов и формирование исходных данных представлены в [16].



РАСЧЕТ РЕЖИМА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ  
РЕСПУБЛИКИ ИРАК

Результаты расчета режима в программном комплексе RasterWin3 сведены в табл. 1.

Таблица 1  
Результаты расчета режима работы

Узлы				
№ п/п	$U$ , кВ	$\delta U$ , %	$S_p$ , кВА	
5	31,91	3,3	1727+j1047	
6	30,18	8,56	5554+j2856	
7	29,31	11,19	1648+j946	
8	29,16	11,65	8502+j4691	
9	25,17	23,72	3417+j1932	
10	23,82	27,81	2756+j1587	
11	31,49	4,58	2832+j1670	
12	31,04	5,94	4355+j2775	
13	29,61	10,26	3310+j1951	
14	26,09	20,95	3171+j1821	
15	24,73	25,06	4268+j2683	
16	31,72	3,89	2737+j1763	
17	29,84	9,57	3339+j1871	
18	29,13	11,73	1745+j1090	
19	31,08	5,81	1647+j1032	
20	30,04	8,98	1736+j1010	
21	28,40	13,94	3153+j1745	
22	26,42	19,95	1701+j853	
23	25,49	22,75	1645+j833	
Ветви				
№ п/п	$S_{iнач}$ , МВА	$I$ , А	$\Delta P$ , кВт	$\delta U$ , %
0 – 5	1,8+j1,1	37	50	3,30
2 – 6	7,8+j4,4	157	560	8,56
6 – 7	1,7+j	37	41	2,63
1 – 8	17+j11,2	357	1497	11,65
8 – 9	7,1+j4,5	166	827	12,07
9 – 10	2,9+j1,7	77	131	4,09
2 – 11	2,9+j1,8	60	114	4,58
2 – 12	4,6+j3	96	234	5,94
4 – 13	12,2+j8,4	259	946	10,26
13 – 14	8,2+j5,3	190	835	10,69
14 – 15	4,5+j2,9	119	201	4,12
2 – 16	2,8+j1,9	59	94	3,89
3 – 17	5,6+j3,5	115	453	9,57
17 – 18	1,8+j1,1	41	36	2,16
4 – 19	3,6+j2,3	75	178	5,81
19 – 20	1,8+j1,1	39	51	3,18
4 – 21	7,4+j4,4	151	877	13,94
21 – 22	3,5+j1,9	81	205	6,01
22 – 23	1,7+j0,9	42	50	2,81

Примечание. Суммарные потери мощности в элементах сети составили 4468 кВт.

Анализ результатов показывает значительное снижение напряжения в нормальном режиме работы в узлах 5-23, пределы отклонения напряжения от номинального составляют от 10 до 25%. Максимальное значение снижения напряжения наблюдается в узле 10, оно достигает 28%. Потери мощности в ветвях электроэнергетической системы могут достигать 20% от потребляемой мощности. Таким образом, снижение уровня напряжения в узлах подстанции 33/11 кВ превышает допустимые значения. Учитывая значительные длины линий и что по некоторым линиям протекают суммарные токи нескольких потребителей, используемые сечения некоторых линий не проходят по длительно допустимому току, что вызывает значительные перегрузки электроэнергетической системы. Расчеты подтвердили необходимость использования дополнительных технических решений для снижения потерь мощности и напряжения в ветвях распределительных сетей Республики Ирак.

ВЫБОР УЗЛОВ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ФДЭС

С целью выбора узлов подключения ФДЭС к распределительным сетям Республики Ирак решается задача оптимизации. За критерий оптимальности выбирается минимум потерь активной мощности в распределительных сетях Республики Ирак 33 кВ [17, 18].

Постановка оптимизационной задачи заключается в определении объекта, параметров и критериев оптимизации, а также ограничений для целевой функции.

Для фрагмента распределительной сети Республики Ирак, представленной на рис. 1, сформулирована целевая функция минимума потерь активной мощности. Расчетные потери мощности представляются в виде источников распределенной генерации, представленной ФДЭС:

$$\begin{aligned}
 \Delta P_{\Sigma} = & R_1 (P_5 - P_{\text{ФДЭС}5})^2 + \\
 & + R_2 (P_6 + P_7 - P_{\text{ФДЭС}6} - P_{\text{ФДЭС}7})^2 + \\
 & + R_3 (P_7 - P_{\text{ФДЭС}7})^2 + \\
 & + R_4 \left( P_8 + P_9 + P_{10} - \sum_{i=8}^{10} P_{\text{ФДЭС}i} \right)^2 + \\
 & + R_5 \left( P_9 + P_{10} - \sum_{i=9}^{10} P_{\text{ФДЭС}i} \right)^2 + \dots + \\
 & + R_{18} (P_{21} + P_{23} - P_{\text{ФДЭС}22} - P_{\text{ФДЭС}23})^2 + \\
 & + R_{19} (P_{23} - P_{\text{ФДЭС}23})^2 \rightarrow \min,
 \end{aligned} \quad (1)$$

где  $R_i = r_i / U^2$  – отношение активного сопротивления  $i$ -го участка сети к квадрату напряжения  $i$ -го узла сети;  $P_i$  – величина активной мощности  $i$ -го участка сети;  $P_{\text{ФДЭС}i}$  – генерируемая активная мощность ФДЭС на  $i$ -м участке сети.

Условия ограничения для целевой функции принимает следующий вид:

$$\begin{cases} \sum_{i=5}^{23} P_{\text{ФДЭС}i} - 4468 \approx 0; \\ P_{\text{ФДЭС}i} \geq 0, i = 5, 6, \dots, 23; \\ 0 \leq \delta U \leq 10\%. \end{cases} \quad (2)$$

Одним из общих подходов, в котором реализуется стремление свести задачу условной оптимизации к более простой задаче безусловной оптимизации, является метод неопределенных множителей Лагранжа. Он позволяет находить условный экстремум нелинейной функции [19, 20].

Абсолютный экстремум целевой функции находится методом Лагранжа, в результате которого функция, подлежащая минимизации, принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} L = & R_1 (P_5 - P_{\text{ФДЭС}5})^2 + \\ & + R_2 (P_6 + P_7 - P_{\text{ФДЭС}6} - P_{\text{ФДЭС}7})^2 + \\ & + R_3 (P_7 - P_{\text{ФДЭС}7})^2 + \\ & + R_4 \left( P_8 + P_9 + P_{10} - \sum_{i=8}^{10} P_{\text{ФДЭС}i} \right)^2 + \\ & + \dots + R_{18} (P_{21} + P_{23} - P_{\text{ФДЭС}22} - P_{\text{ФДЭС}23})^2 + \\ & + R_{19} (P_{23} - P_{\text{ФДЭС}23})^2 + \\ & + \lambda \left( \sum_{i=5}^{23} P_{\text{ФДЭС}i} - 4468 \right) \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (3)$$

Подставляя числовые значения в функцию Лагранжа, получаем выражение для формирования частных производных по всем неизвестным переменным:

$$\begin{aligned} L = & 0,0114(1763 - P_{\text{ФДЭС}5})^2 + \\ & + 0,007(7580 - P_{\text{ФДЭС}6} - P_{\text{ФДЭС}7})^2 + \\ & + 0,009(1665 - P_{\text{ФДЭС}7})^2 + \\ & + 0,0036 \left( 16305 - \sum_{i=8}^{10} P_{\text{ФДЭС}i} \right)^2 + \\ & + \dots + 0,0095(3465 - P_{\text{ФДЭС}22} - P_{\text{ФДЭС}23})^2 + \\ & + 0,00856(1661 - P_{\text{ФДЭС}23})^2 + \\ & + \lambda \left( \sum_{i=5}^{23} P_{\text{ФДЭС}i} - 4468 \right) \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (4)$$

Таким образом, частные производные по всем переменным имеют вид:

$$\frac{\partial L}{\partial P_{\text{ФДЭС}5}} = -0,01736(1763 - P_{\text{ФДЭС}5}) + \lambda;$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial P_{\text{ФДЭС}6}} &= -0,01086 \left( 7580 - \sum_{i=6}^7 P_{\text{ФДЭС}i} \right) + \lambda; \\ \frac{\partial L}{\partial P_{\text{ФДЭС}7}} &= -0,01086 \left( 7580 - \sum_{i=6}^7 P_{\text{ФДЭС}i} \right) - \\ &- 0,0093(1665 - P_{\text{ФДЭС}7}) + \lambda; \end{aligned} \quad (5)$$

...

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial P_{\text{ФДЭС}23}} &= -0,0234 \left( 7278 - \sum_{i=21}^{23} P_{\text{ФДЭС}i} \right) - \\ &- 0,0114(3465 - P_{\text{ФДЭС}22} - P_{\text{ФДЭС}23}) - \\ &- 0,0094(1661 - P_{\text{ФДЭС}23}) + \lambda; \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} &= \sum_{i=5}^{23} P_{\text{ФДЭС}i} - 4468. \end{aligned}$$

На основании решения полученных уравнений определены рекомендуемые мощности ФДЭС в узлах распределительной сети Республики Ирак, представленные в **табл. 2**.

Как следует из **табл. 2**, рациональным местом установки ФДЭС являются узлы 9, 10, 15, 22, 23.

Укрупняя значения активных мощностей в узлах потребления, предлагается установить ФДЭС в узлах 10, 15, 23 в следующей комплектации, представленной в **табл. 3**.

Таблица 2

Рекомендуемая мощность ФДЭС в узлах сети

Узлы					
№ п/п	$P_{\text{ФДЭС}}$ , кВт	$\delta U$ , %	№	$P_{\text{ФДЭС}}$ , кВт	$\delta U$ , %
5	0	3,3	15	820,4	9,9
6	65,4	8,5	16	0	3,8
7	55,3	9,1	17	94,9	9,5
8	262,6	6,4	18	110,2	9,7
9	701,2	8,1	19	0	55,8
10	1206,7	5,5	20	0	8,9
11	0	4,5	21	333,9	6,9
12	17,5	5,9	22	529,5	7,9
13	205,2	5,2	23	625,3	6,5
14	419,5	9,3			
Ветви					
№ п/п	$\Delta P$ , кВт	$\delta U$ , %	№	$\Delta P$ , кВт	$\delta U$ , %
0 – 5	48,7	3,3	14 – 15	10,1	0,5
2 – 6	541,2	8,5	2 – 16	91,3	3,7
6 – 7	40,8	2,6	3 – 17	423,3	8,5
1 – 8	534,2	6,4	17 – 18	35,2	2,1
8 – 9	51,3	1,7	4 – 19	175,3	4,8
9 – 10	42,2	2,6	19 – 20	50,1	3,1
2 – 11	108,1	4,4	4 – 21	246,6	6,1
2 – 12	231,6	5,9	21 – 22	18,5	0,9
4 – 13	288,9	5,1	22 – 23	12,5	1,35
13 – 14	152,2	4,1			

Таблица 3

Конфигурация ФДЭС

Номер узла	$P_{\text{ФДЭС}}$ , кВт	$P_{\text{ФП}}$ , кВт	$P_{\text{ДЭС}}$ , кВт
10	2000	500	1500
15	1500	300	1200
23	1000	200	800

Примечание. Мощности ФДЭС 9-го и 10-го узлов объединены в 10-м узле; мощности 22-го и 23-го узлов объединены в 23-м узле.

Расчет режима в сети Республики Ирак напряжением 33 кВ с учетом подключенных ФДЭС в программном комплексе RastrWin3 показал, что снижение уровня напряжения в узлах нагрузки уменьшилось на 20 %, а потери мощности в элементах сети уменьшились на 30 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Расчет режима распределительной сети Республики Ирак напряжением 33 кВ показал, что сети перегружены, и потери напряжения и мощности на отдельных участках превышают допустимые значения. И могут достигать соответственно  $\delta U=20\%$  и  $\Delta P=200$  кВт.

2. Учитывая климатические особенности и доступные нефтегазовые месторождения, становится рациональным и экономически обоснованным использование в качестве распределенной генерации ФДЭС, подключенных к шинам низкого напряжения трансформаторных подстанций 33/11 кВ, как дополнительных источников мощности, так и автономных электростанций для удаленных населенных пунктов.

3. В результате решения задачи оптимизации по выбору узлов подключения ФДЭС к шинам 11 кВ подстанции 33/11 кВ предложено размещение ФДЭС в узлах 10, 15, 23 суммарной мощностью 4500 кВт. Расчет режимов в распределительных сетях Республики Ирак 33 кВ с учетом подключения ФДЭС показал, что уровень напряжения в узлах нагрузки приблизился к номинальным значениям, а потери мощности сократились примерно на 30 %.

**Работа выполнена в рамках мероприятия Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова до 2021 года.**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мохаммед А. З. А., Виноградов А.А. Особенности электрической распределительной сети Ирака // Энергетика и энергоэффективные технологии. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. С. 12-16.
2. Седнин А. В., Назар Х., Кадам Н. Состояние и проблемы развития теплоэлектрогенерирующих мощностей энергосистемы Республики Ирак // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2011. №. 6. С. 76-81.
3. Kazem H.A., Chaichan M.T. Status and future prospects of renewable energy in Iraq // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2012. Vol. 16, no. 8, pp. 6007-6012. //doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.058
4. Аль Б. А. Г., Якимович Б. А., Кувшинов В. В. Использование солнечной генерации в системе электроснабжения Ирака // Энергетические установки и технологии. 2019. Т. 5. №2. С. 69-73.

5. Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia / A.H. Mamaghani, S.A. AEscandón, B Najafi, A Shirazi, F Rinaldi // Renewable Energy. 2016, no. 97, pp. 293-305. //doi.org/10.1016/j.renene.2016.05.086
6. Пашкова Е.В., Хайдер А.Х. Роль нефтяной отрасли в экономическом и политическом развитии Ирака // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Международные отношения. 2014. С. 110-115.
7. Abed F. M., Al-Douri Y., Al-Shahery G. M. Y. Review on the energy and renewable energy status in Iraq: The outlooks // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014. Vol. 39, pp. 816-827. //doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.026
8. Дмитриенко В.Н., Лукутин Б.В. Солнечно-дизельные системы электроснабжения северных поселков // Современные проблемы науки и образования. 2014. №3. С. 25-32.
9. Optimal combination of solar, wind, micro-hydro and diesel systems based on actual seasonal load profiles for a resort island in the South China Sea / M. R. B. Khan, R. Jidin, J. Pasupuleti, S.A. Shaaya // Energy. 2015. Vol. 82, pp. 80-97. //doi.org/10.1016/j.energy.2014.12.072
10. Adaramola M. S., Paul S. S., Oyewola O. M. Assessment of decentralized hybrid PV solar-diesel power system for applications in Northern part of Nigeria // Energy for Sustainable Development. 2014. Vol. 19, pp. 72-82. //doi.org/10.1016/j.esd.2013.12.007
11. Лукутин Б.В., Шандарова Е.Б. Энергоэффективность фотоэлектростанций в автономных системах электроснабжения. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. 140 с.
12. Булатов Б. Г., Тарасенко В. В. Алгоритмы интеллектуального управления режимом распределительной сети // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2012. №. 37. С. 18-22.
13. Optimal reactive power compensation in electrical distribution systems with distributed resources. Review / A. Á. Téllez, G. Lopez, I. Isaac, J.W. Gonzalez // Heliyon. 2018. Vol. 4, no. 8, pp. 1-30. //doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00746
14. Kulaev I., Kubarkov Y. Regulation of Voltage and Optimization of Power Losses in Active-Adaptive Networks // 2018 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), IEEE. 201, pp. 1-4. //doi.org/10.1109/ICIEAM.2018.8728712
15. Мензелеев А. С. Расчет режима электрической сети методом Ньютона с учетом статических характеристик электрических нагрузок // Актуальные проблемы энергетики. Электроэнергетические системы и сети. 2019. С. 180-183.
16. Особенности режимов распределительных электроэнергетических сетей Ирака / М.А. Авербух, Е.В. Жилин, Е.Ю. Сизганова, М.В. Абдулваххаб // Техника и технология: журнал Сибирского Федерального университета. 2019. Т. 12. №5. С. 607-616.
17. Авербух М. А., Жилин Е. В., Прокопишин Д. И. Минимизация потерь электроэнергии в системах электроснабжения индивидуального жилищного строительства // Проблемы региональной энергетики. 2018. №2(37). С. 31-37.
18. Влацкая Л.А., Семенова Н.Г. Применение генетических алгоритмов в задачах оптимизации размещения компенсирующих устройств // Электротехнические системы и комплексы. 2019. № 4 (45). С. 21-28.
19. Ефременко В.М., Беляевский Р.В. Расчет оптимального размещения компенсирующих устройств методом множителей Лагранжа // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2012. №6(94). С. 138-141.
20. Georgilakis P.S., Hatziaegyriou N.D. Optimal distributed generation placement in power distribution networks: models, methods and future research // IEEE transactions on power systems. 2013. Vol. 28(3), pp. 3420-3428. //doi.org/10.1109/TPWRS.2012.2237043

Поступила в редакцию 24 апреля 2020 г.

## INFORMATION IN ENGLISH

## SELECTION OF DISTRIBUTED GENERATION NODES IN THE NETWORKS OF REPUBLIC OF IRAQ

Mikhail A. Averbukh

D. Sc. (Engineering), Associate Professor, Professor of the Department of Electrical Power Engineering and Automation, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia. E-mail: [avers45@rambler.ru](mailto:avers45@rambler.ru)

Evgenij V. Zhilin

Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Department of Electrical Power Engineering and Automation, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia. E-mail: [zhilinevg@mail.ru](mailto:zhilinevg@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2076-6463>

Evgeniya Yu. Sizganova

Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Department of Electrical Complexes and Systems, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia. E-mail: [seu\\_eset@mail.ru](mailto:seu_eset@mail.ru)

Mukhamed V. Abdulvakhkh

Post-graduate student, Department of Electrical Power Engineering and Automation, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia. Assistant, the College of Engineering, University of Diyala, Diyala, Iraq, E-mail: [mz\\_d1984@mail.ru](mailto:mz_d1984@mail.ru)

Partial shutdown of distribution networks of the Republic of Iraq due to the military conflict and annual growth of demand for electric power has caused a noticeable power shortage. Overload in the networks of the Republic of Iraq has caused an increase in voltage and power losses in the elements of distribution network, which significantly affects the main parameters of the network and indicators of power quality. Calculation of the mode in the software package RasterWin2 confirmed the voltage reduction in the nodes above the permissible values and the increase of active power losses in the elements of the distribution network. One of possible variants of the solution of the problem of reduction of voltage and power losses in the distribution network, at necessary quality of electric power, is the use of photo diesel power plants (PDPP). Additional factors determining the possibility of using the distributed generation in the form of PDPP are climatic features and presence of local hydrocarbons. For the purpose of selection of PDPP connection nodes in the distribution network of the Republic of Iraq, the task of optimization of active power losses was solved on 11 kV buses of 33/11 kV substation, and a certain combination between photovoltaic panels (PVP) and diesel power plants (DPP) was proposed. For criterion of optimality the minimum of active power losses in networks with voltage of 33 kV is chosen, which are compensated by installations of PDPP. On the basis of the optimization task solution it is proposed to install PDPP in three most typical units (10, 15, 23) with total capacity of 2000, 1500 and 1000 kW. The evaluation of the efficiency of the distribution networks of the Republic of Iraq, taking into account the use of PDPP, has confirmed the significant increase of the voltage level in the c

**Keywords:** distribution networks, distributed generation in the form of photo-diesel power plants, power and voltage losses, optimization and loss minimization.

## REFERENCES

1. Mohammed A.Z.A., Vinogradov A.A. Features of the electrical distribution network of Iraq. *V sb.: energetika i energo effektivnye tehnologii. Belgorod: iz-vo BGTU* [In collection of scientific papers: energy and energy-efficient technologies. Belgorod: publ. house BSTU], 2012, pp. 12-16. (In Russian)
2. Sednin A.V., Nazar H., Kadam N. State and problems of the development of thermoelectric generating capacities of the power system of the Republic of Iraq. *Energetika. Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij i energeticheskikh obyedinenij SNG* [Energy. News of higher educational institutions and energy associations of the CIS], 2011, no. 6, pp. 76-81. (In Russian)
3. Kazem H. A., Chaichan M. T. Status and future prospects of renewable energy in Iraq // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, no. 8 (16), pp. 6007-6012. [//doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.058](https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.058)
4. Al B.A.G., Yakimovich B.A., Kuvshinov V.V. Use of solar generation in the power supply system of Iraq. *Energeticheskie ustanovki i tehnologii* [Power plants and technologies], 2019, no. 5 (2), pp. 69-73. (In Russian)
5. Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia / A. H. Mamaghani, S A AEscandon, B Najafi, A Shirazi, F Rinaldi // *Renewable Energy*, 2016, 97, pp. 293-305. [//doi.org/10.1016/j.renene.2016.05.086](https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.05.086)
6. Pashkova E.V., Haider A. Kh. The role of the oil industry in the economic and political development of Iraq. *Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov* [Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: International Relations], 2014, pp. 110-115. (In Russian)
7. Abed F. M., Al-Douri Y., Al-Shahery G. M. Y. Review on the energy and renewable energy status in Iraq: The outlooks // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, no. 39, pp. 816-827. [//doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.026](https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.026)
8. Dmitrienko V.N., Lukutin B.V. Solar-diesel power supply systems of the northern villages. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2014, no. 3, pp. 25-32. (In Russian)
9. Optimal combination of solar, wind, micro-hydro and diesel systems based on actual seasonal load profiles for a resort island in the South China Sea / M. R. B. Khan, R. Jidin, J. Pasupuleti, S.A. Shaaya // *Energy*, 2015, no. 82, pp. 80-97. [//doi.org/10.1016/j.energy.2014.12.072](https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.12.072)
10. Adaramola M.S., Paul S.S., Oyewola O.M. Assessment of decentralized hybrid PV solar-diesel power system for applications in Northern part of Nigeria // *Energy for Sustainable Development*, 2014, no. 19, pp. 72-82. [//doi.org/10.1016/j.esd.2013.12.007](https://doi.org/10.1016/j.esd.2013.12.007)
11. Lukutin B.V., Shandarova E.B. *Energoeffektivnost fototel-ektrostantsij v avtonomnykh sistemah elektrosnabzheniya* [Energy efficiency of photovoltaic power plants in autonomous power supply systems]. Tomsk: TPU Publishing House, 2008, 140 pp. (In Russian)
12. Bulatov B. G., Tarasenko V. V. Algorithms for intelligent control of the distribution network mode. *Vestnik Yuzhno-*

- Uralskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the South Ural State University. Series: Energy], 2012, no. 37, pp. 18-22. (In Russian)
13. Optimal reactive power compensation in electrical distribution systems with distributed resources. Review / A. Á. Téllez, G. Lopez, I. Isaac, J.W. Gonzalez // *Heliyon*, 2018, no. 4. № 8, pp. 1-30. //doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00746
  14. Kulaev I., Kubarkov Y. Regulation of Voltage and Optimization of Power Losses in Active-Adaptive Networks // 2018 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), IEEE. 2018, pp. 1-4. //doi.org/10.1109/ICIEAM.2018.8728712
  15. Menzeleev A. S. Calculation of the mode of the electric network by the Newton method taking into account the static characteristics of electric loads. *Aktualnye problem energetiki. Elektroenergeticheskie sistemy i seti* [Actual problems of energy. Electric power systems and networks], 2019, pp. 180-183. (In Russian)
  16. Features of modes of distribution electric power networks of Iraq / M.A. Averbukh, E.V. Zhilin, E.Yu. Sizganova, M.W. Abdulwahhab. *Tehnika i tehnologiya: zhurnal Sibirskogo Federalnogo universiteta* [Technique and Technology: Journal of the Siberian Federal University], 2019, no. 12 № 5, pp. 607-616. (In Russian)
  17. Averbukh M.A., Zhilin E.V., Prokopishin D.I. Minimization of electricity losses in power supply systems of individual housing construction. *Problemy regionalnoy energetiki* [Problems of Regional Energy], 2018, no. 2 (37). pp. 31-37. (In Russian)
  18. Vlackaya L.A., Semenova N.G. The use of genetic algorithms in the problems of optimizing the placement of compensating devices. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical systems and complexes], 2019, no. 4 (45), pp. 21-28. (In Russian)
  19. Efremenko V.M., Belyaevsky R.V. Calculation of the optimal placement of compensating devices using the Lagrange multiplier method. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Kuzbass State Technical University], 2012, no. 6 (94), pp. 138-141. (In Russian)
  20. Georgilakis P. S., Hatziaegyriou N. D. Optimal distributed generation placement in power distribution networks: models, methods, and future research // *IEEE transactions on power systems*, 2013, no. 28 (3), pp. 3420-3428. //doi.org/10.1109/TPWRS.2012.2237043.

Выбор узлов подключения распределенной генерации в сетях Республики Ирак / М.А. Авербух, Е.В. Жилин, Е.Ю. Сизганова, М.В. Абдулваххаб // *Электротехнические системы и комплексы*. 2020. № 2(47). С. 4-10. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-2\(47\)-4-10](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-2(47)-4-10)

Averbukh M.A., Zhilin E.V., Sizganova E.Yu., Abdulvakhkhah M.V. Selection of Distributed Generation Nodes in the Networks of Republic of Iraq. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2020, no. 2(47), pp. 4-10. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-2\(47\)-4-10](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-2(47)-4-10)