

**АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ГЕНЕРАЦИИ  
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ****Малькова Я.Ю., Уфа Р.А.**Томский политехнический университет  
г. Томск, пр. Ленина, 30, Россия, 634050, тел.:+7(3822)60-63-33 (3454), [hecn@tpu.ru](mailto:hecn@tpu.ru)

doi: 10.15518/isjaee.2020.11.012

Заключение совета рецензентов: 23.10.20

Заключение совета экспертов: 23.10.20

Принято к публикации: 29.10.20



Наблюдаемая в настоящее время тенденция по увеличению спроса на электроэнергию определяет необходимость изучения и применения альтернативных методов выработки электроэнергии. При этом с увеличением единичной мощности и доли возобновляемой генерации в суммарной установленной мощности актуальность приобретают исследования, направленные на системное изучение влияния внедренного объекта на параметры режима работы электроэнергетической системы. Здесь можно отметить ряд оптимизационных задач, направленных на определение оптимального места установки и мощности внедряемого объекта генерации с точки зрения уменьшения потерь мощности и поддержания соответствующего уровня напряжения в узлах энергосистемы. В рамках данной статьи представлен вариант решения обозначенной оптимизационной задачи для типовой 15-узловой IEEE схемы посредством программного расчета с применением метода пузырьковой сортировки. На пути достижения поставленной цели были решены следующие задачи: сформирована целевая функция, выступающая индикатором оптимальности места установки и мощности объекта генерации; ограничительные критерии, например, допустимость отклонения напряжения; осуществлена программная реализация алгоритма вычисления перетоков и потерь мощности с применением метода пузырьковой сортировки. Представлены результаты работы программного кода для двух сценариев: установки одного объекта возобновляемой генерации с различным диапазоном возможных мощностей, которые, в свою очередь, сопоставлены с данными, полученными в программном комплексе MATLAB/Simulink.

**Ключевые слова** : возобновляемая генерация, потери активной мощности, пузырьковая сортировка, целевая функция.**ASPECTS OF RENEWABLE GENERATION PENETRATION IN THE ELECTRIC  
POWER SYSTEM****Malkova Ya.Yu., Ufa R.A.**Tomsk Polytechnic University  
Tomsk, Lenin Avenue, 30, Russia, 634050, tel.:+7(3822)60-63-33 (3454), [hecn@tpu.ru](mailto:hecn@tpu.ru)

doi: 10.15518/isjaee.2020.11.012

Referred: 23.10.20

Received in revised form: 23.10.20

Accepted: 29.10.20

The current upward trend in electricity demand determines the need to explore and apply alternative methods of generating electricity. At the same time, with an increase in the unit capacity and the share of renewable generation in the total installed capacity, studies aimed at a systematic study of the influence of the implemented facility on the parameters of the operating mode of the electric power system acquire relevance. A number of optimization tasks aimed at determining the optimal location and size of the generation units being implemented in terms of reducing



power losses and maintaining an appropriate voltage level in the nodes of the power system can be noted here. Within the framework of this article, a variant of solving the indicated optimization problem for a typical 15-node IEEE scheme is presented by means of a software calculation using the bubble sorting method. On the way to achieve this goal, the following tasks were solved: an objective function was formed, which serves as an indicator of the optimality of the location and size of the generation units; limiting criteria are defined, such as voltage tolerance; the software implementation of the algorithm for calculating flows and power losses using the bubble sorting method has been carried out. The results of the work of the program code for two scenarios, in particular installation of one renewable generation unit with a different range of capacities, are presented and compared with the data obtained in the MATLAB / Simulink software.

**Keywords:** renewable generation, active power losses, bubble sorting method, objective function.



*Yana Yu. Malkova*  
Малькова Яна Юрьевна

**Сведения об авторе:** студент отделения электроэнергетики электротехники Инженерной школы энергетики Национального исследовательского Томского политехнического университета.

**Образование:** Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2021 г.

**Область научных интересов:** исследовательская работа связана с моделированием объектов ВИЭ и ЭЭС в целом.

**Публикации:** 33.

**Information about the author:** Currently she is a Student of School of Energy & Power Engineering, Tomsk Polytechnic University.

**Education:** Tomsk Polytechnic University, B.Sc in 2021.

**Research area:** Her research interests concern: RES, EPS, simulation.

**Publications:** 33.



*Ruslan A. Ufa*  
Уфа Руслан Александрович

**Сведения об авторе:** кандидат технических наук, доцент отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики Национального исследовательского Томского политехнического университета.

**Образование:** Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2012 г.

**Область научных интересов:** исследовательская работа связана с моделированием объектов ВИЭ, устройств FACTS и ЭЭС в целом.

**Публикации:** 99.

**Information about the author:** Ph.D., Currently he is an Associate professor of School of Energy & Power Engineering, Tomsk Polytechnic University.

**Education:** Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, MSc, 2017.

**Research interests:** His research interests concern: RES, FACTS technologies, EPS, simulation.

**Publications:** 99.

## Введение

Для настоящего времени характерно увеличение мирового спроса на электроэнергию на 4% за 2019 год [1]. В России растущий спрос обеспечивается, преимущественно, за счет генерации тепловых электростанций (ТЭС). Так, за август 2020 года выработка ТЭС составила 39962,5 млн кВт ч [2]. В то же время, учитывая негативное влияние ТЭС на текущее состояние экологической обстановки и конечность запасов углеводородных топливных ресурсов, уже сегодня наблюдается значительный интерес к исследованию и практической реализации альтернативных способов генерации электроэнергии, в частности,

возобновляемых источников энергии (ВИЭ). За август 2020 года выработка солнечных (СЭС) и ветряных (ВЭС) электростанций составила 228,7 млн кВт ч и 70,2 млн кВт ч соответственно [2] (для сравнения: выработка СЭС и ВЭС за август 2019 года составила 152,2 млн кВт ч и 27,2 млн кВт ч соответственно [3]).

Несмотря на положительный эффект использования ВИЭ, их внедрение и увеличение доли генерации определяет необходимость решения ряда задач функционирования объектов на базе ВИЭ в электроэнергетической системе (ЭЭС) [4, 5, 6]. В частности, задача определения оптимального места установки и мощности таких объектов в



ЭЭС [7, 8]. Разумеется, определяющим является природный фактор, однако с точки зрения топологии самой схемы энергорайона и обеспечения электроэнергией удаленных потребителей, актуальным является оценка эффективности в аспекте уменьшения потерь электроэнергии, поддержания соответствующего уровня напряжения, возможности выделения на автономный (изолированный) режим работы и др.

Отдельно стоит выделить нестабильность выработки электрической энергии объектами ВИЭ ввиду изменчивости скорости ветра, интенсивности солнечного излучения и др. В связи с чем при внедрении единицы мощности ВИЭ необходимо иметь в горячем резерве практически сопоставимую единицу мощности традиционной генерации на случай резкого снижения генерируемой мощности ВИЭ. Обозначенное определяет необходимость или комбинированного использования ВИЭ в сочетании с традиционным источником энергии (что является экономически неэффективным и определяет необходимость в наличии постоянного резерва мощности), или в создании системы накопления электрической энергии (СНЭ) [9, 10, 11, 12]. Несмотря на то, что идея накопления энергии известна давно (при этом единственным методом накопления энергии в «большой энергетике» являются гидроаккумулирующие электростанции) первые проекты СНЭ в мире начали реализоваться с 2010 года. При этом, в России первые образцы отечественных СНЭ на основе литий-ионных аккумуляторов (ООО «СНЭ», проект РОС-НАНО) появились только в 2019 году. Отчасти этому способствовала принятая в 2017 году Министерством энергетики РФ «Концепция развития рынка систем хранения электроэнергии в Российской Федерации», в соответствии с которой в России планируется создание новой высокотехнологичной отрасли электроэнергетики.

Однако порядок подключения накопителей, эксплуатации и, в частности, дальнейшей утилизации (системы аккумуляторов) не представлено должным образом в нормативной документации. Внедрение СНЭ также обуславливает необходимость решения задачи определения оптимального места установки и мощности объектов ВИЭ [13, 14].

В статье рассмотрен вариант решения оптимизационной задачи определения места и мощности ВИЭ с помощью алгоритма вычисления перетоков и потерь мощности с применением метода пузырьковой сортировки на примере типовой 15-ти узловой IEEEсхемы (рис. 1), параметры которой приведены в табл. 1 [15].

В статье рассмотрен вариант решения оптимизационной задачи определения места и мощности ВИЭ с помощью алгоритма вычисления перетоков и потерь мощности с применением метода пузырьковой сортировки на примере типовой 15-ти узловой IEEEсхемы (рис. 1), параметры которой приведены в табл. 1 [15].

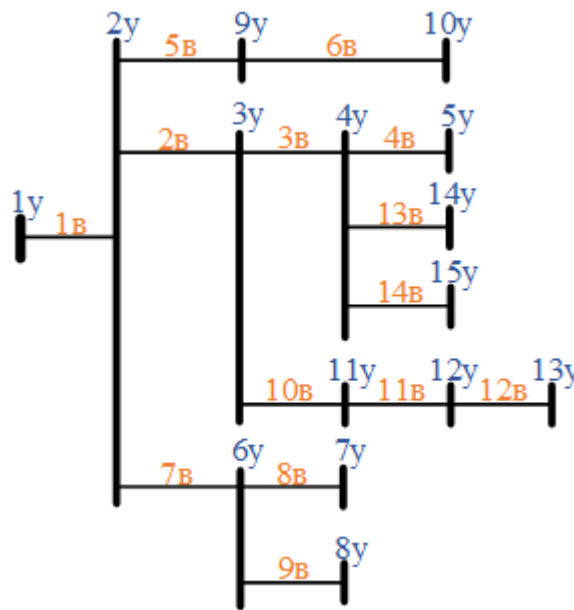


Рис. 1. Радиальная 15-ти узловая схема IEEE: 1в, 2в...14в – номер ветви, 1у, 2у...15у – номер узла  
 Fig. 1. IEEE 15 Bus Radial System: 1br, 2br...14br – number of branch, 1n, 2n...15n – number of node

Список обозначений	
ВИЭ	Возобновляемые источники энергии
ВЭС	Ветряные электростанции
СНЭ	Система накопления электроэнергии
СЭС	Солнечные электростанции
ТЭС	Тепловые электростанции

ЭЭС	Электроэнергетическая система
$dp$	Потери активной мощности
$dq$	Потери реактивной мощности
$du$	Относительный уровень напряжения
$k_1, k_2, k_3$	Весовые коэффициенты

OF	Целевая функция
P	Активная мощность нагрузки
Q	Реактивная мощность нагрузки
R	Активное сопротивление линии
$u$	Напряжение узла
$u_n$	Напряжение сети

X	Реактивное сопротивление линии
GA	Генетический алгоритм
IPSO	Улучшенный метод роя частиц
PSO	Метод роя частиц

Параметры 15-ти узловой схемы IEEE

Таблица 1.

IEEE 15-node scheme parameters

Table 1.

Номер узла		Параметры линий			Параметры нагрузки	
Начало линии	Конец линии	Номер	R, Ом	X, Ом	P, кВт	Q, кВАр
1	2	1	1,4	1,3	44,1	45
2	3	2	1,2	1,1	70	71,4
3	4	3	0,8	0,8	140	142,8
4	5	4	1,5	1	44,1	45
2	9	5	2	1,4	70	71,4
9	10	6	1,7	1,1	44,1	45
2	6	7	2,6	1,7	140	142,8
6	7	8	1,1	0,7	140	142,8
6	8	9	1,2	0,8	70	71,4
3	11	10	1,8	1,2	140	142,8
11	12	11	2,4	1,6	70	71,4
12	13	12	2	1,4	44,1	45
4	14	13	2,2	1,5	70	71,4
4	15	14	1,2	0,8	140	142,8

### 1. Теоретический анализ, методика эксперимента

Для оптимизации процесса решения задачи определения оптимального месторасположения и мощности объекта ВИЭ, как правило, применяется один из существующих оптимизационных алгоритмов, которые принято объединять в следующие группы: аналитические, численные и эвристические [16, 17, 18].

Аналитические методы, такие как дифференциальный метод, правило двух третьих, метод множителей Лагранжа и т.д., применяются в том случае, когда целевая функция, определяющие ее параметры и накладываемые ограничения как минимум дважды дифференцируемы и имеют конечное число точек разрыва, что, в свою очередь, приводит к сложным математическим расчетам и ограничивает применение алгоритмов данной группы кругом относительно простых задач [17].

Численные или алгоритмические методы основаны на поиске экстремального значения целевой функции. При использовании алгоритмов данной группы предполагается знание области решения (возможных значений целевой функции) и чем больше на нее наложено ограничений, тем выше эффективность оптимизации [19]. К численным методам относят линейное, нелинейное, динамическое

программирование и т.д. Главным отличием численных методов от аналитических является многошаговый характер поиска оптимального значения целевой функции, т.е. задача решается последовательным приближением значений поля возможных решений к истинному значению. В соответствии, с чем одним из основных недостатков применения методов данной группы является вероятность получения не глобального, а локального экстремального значения.

Эвристические методы включают в себя эвристический алгоритм, генетический алгоритм (genetic algorithm – GA) [20], метод роя частиц (particle swarm optimization – PSO) [21], улучшенный метод роя частиц (improved PSO – IPSO), комбинированный метод (GA-IPSO) и др. Применение методов данной группы наиболее эффективно при решении ряда инженерных задач, т.к. они основаны на использовании различного рода эвристик, представленных в виде правил, зависимостей и схем, которые, в свою очередь, составлены на основе опыта специалистов соответствующей предметной области.

Решение оптимизационной задачи сводится к вычислению значения целевой функции. В рамках поставленной задачи определения оптимального месторасположения и мощности объекта ВИЭ параметрами выступают потери активной мощности, потери



реактивной мощности и отклонение уровня напряжения:

$$OF = K_1 \sum_{i=1}^n dp + K_2 \sum_{i=2}^n dq + K_3 du_i ;$$

где OF – целевая функция (objective function),

$$\sum_{i=1}^n dp$$

– суммарные потери активной мощности,

$$\sum_{i=1}^n dq$$

– суммарные потери реактивной мощности,

$du_i$  – максимальное отклонение уровня напряжения  $i$ -го узла,  $K_1, K_2, K_3$  – весовые коэффициенты, причем  $K_1 + K_2 + K_3 = 1$ .

В качестве параметров дополнительно могут быть использованы экономические индикаторы, например, для технико-экономического обоснования места установки и мощности объекта ВИЭ – стоимость единицы установленной мощности ВИЭ, и т.д.

В зависимости от цели исследования весовой коэффициент параметров, определяющих целевую функцию, может быть изменен, в частности, при выборе наиболее значимого оценочного критерия. В частности, в рамках данного исследования приоритетным является уменьшение активных потерь, поэтому:

$$K_1 + 0,5K_2 + 0,5K_3 = 1.$$

Минимальное из полученных в ходе решения задачи значение целевой функции соответствует оптимуму параметров (месторасположение и мощность) объекта ВИЭ при внедрении последнего в ЭЭС.

Кроме того, на целевую функцию накладывается ряд ограничений [22]. В частности, отклонение напряжения от номинального значения не должно превышать 5% для всех узлов схемы, суммарная установленная мощность объектов на базе ВИЭ не должна превышать суммарной мощности нагрузки с учетом потерь мощности в схеме [23], а также определяем ограничение на отсутствие обратного перетока мощности в энергосистему [24].

## 2. Описание алгоритма расчета

Как отмечалось ранее, решение оптимизационной задачи определения места и мощности ВИЭ для 15-ти узловой IEEE схемы выполнено с помощью алгоритма вычисления перетоков и потерь мощности с применением метода пузырьковой сортировки.

Приведем пример вычисления перетоков и потерь мощности для линии 12 исследуемой схемы (рис. 1).

Активная мощность в конце линии 12 принимается равной нагрузке, расположенной в 13-ом узле, т.е.

$p_{12}^k = p_{13}$ , соответственно реактивная мощность в конце линии 12:  $q_{12}^k = q_{13}$ .

Потери активной мощности на линии 12 можно представить в следующем виде:

$$dp_{12} = \frac{\left(\frac{p_{12}^k}{u_n}\right)^2 + \left(\frac{q_{12}^k}{u_n}\right)^2}{u_n^2} * r_{12};$$

где  $r_{12}$  – активное сопротивление линии 12,  $u_n$  – номинальное напряжение сети, в данном случае 11 кВ.

Соответственно потери реактивной мощности на линии 12:

$$dp_{12} = \frac{\left(\frac{p_{12}^k}{u_n}\right)^2 + \left(\frac{q_{12}^k}{u_n}\right)^2}{u_n^2} * x_{12};$$

где  $x_{12}$  – реактивное сопротивление линии 12.

Активная мощность в начале линии 12 равняется сумме активной мощности в конце линии и потерь активной мощности вдоль линии:  $p_{12}^n = p_{12}^k + dp_{12}$ , соответственно реактивная мощность в начале линии 12 –  $q_{12}^n = q_{12}^k + dq_{12}$ .

Аналогичные расчеты выполняются для всех остальных ветвей схемы.

После окончания расчета первой итерации относительно номинального напряжения сети производится уточнение относительного уровня напряжения для всех узлов схемы.

Например, для 13-го узла выражения для вычисления относительного уровня напряжения выглядят следующим образом:

$$u_{13} = u_{12} - \frac{p_{12}^n * r_{12} + q_{12}^n * x_{12}}{u_{12}};$$

$$du_{13} = \frac{u_{13}}{u_1} = \frac{u_{13}}{u_n};$$

где  $u_1, u_{12}, u_{13}$  – напряжения 1-го, 12-го и 13-го узлов соответственно,  $du_{13}$  – относительный уровень напряжения 13-го узла.

Аналогичные расчеты выполняются для всех остальных узлов схемы.

Далее проводится уточнение перетоков мощности в начале и в конце всех линий, а также потерь активной и реактивной мощности.

Программная реализация представленного выше расчета с применением метода пузырьковой сортировки определяет оптимальное место установки и мощность объекта на основе ВИЭ по условию получения минимума целевой функции с учетом обозначенных ранее ограничений.

Так, например, для исследуемой схемы реализован сценарий установки объекта ВИЭ только в один из узлов, при этом объект способен генерировать только активную мощность (кейс 1). На размер (мощность) объекта дополнительной генерации было наложено следующее ограничение:

$$p_i = (0 \dots 1)p_{\text{нагр}} ;$$

где  $p_{\text{нагр}}$  – мощность нагрузки  $i$ -го узла (узла установки дополнительной генерации).

Расчетное время реализованного алгоритма составляет 5 с, в течении которого осуществляется:

- определение суммарных потерь активной мощности для всех сценариев размещения объекта ВИЭ со 2-го по 15-ый узел мощностью в соответствии с заданным ограничением и шагом изменения мощности через 0,1;

- сортировка полученных результатов, а именно определение минимума потерь активной мощности среди 11-ти сценариев для каждого узла установки дополнительной генерации со 2-го по 15-ый узел, среди полученных минимумов определяется глобальный минимум.

Суть реализованного метода пузырьковой сортировки заключается в следующем: обходим массив из 11-ти чисел от первого до последнего члена, сравни-

вая попарно элементы массива и меняя их местами, в случае если левый член оказывается больше правого. Таким образом, в результате первой итерации на последнем месте массива оказывается элемент с максимальным значением. Продолжаем до тех пор, пока в каждой паре сравниваемых чисел левый член не будет меньше правого члена.

Согласно результатам вычисления разработанного программного кода, определено, что оптимальным местом установки объекта на основе ВИЭ для исследуемой схемы является 11-ый узел, при этом размер генерации соответствует мощности нагрузки узла установки. Потери активной мощности в исходной схеме составляют 61,714 кВт, после установки объекта ВИЭ оптимальной конфигурации (узел установки 11-ый, мощность 140 кВт) потери сократились до 54,596 кВт (на 11,5%). Относительный уровень напряжения узлов исследуемой схемы, соответствующий данной установке ВИЭ, приведен в табл. 2.

Относительный уровень напряжения узлов (кейс 1)

Voltage level of nodes (case 1)

Номер узла	Разработанный код	MATLAB/Simulink
1	1	1
2	0,9731	0,9730
3	0,9600	0,9599
4	0,9542	0,9542
5	0,9532	0,9532
6	0,9601	0,9600
7	0,9579	0,9578
8	0,9588	0,9587
9	0,9698	0,9697
10	0,9687	0,9687
11	0,9555	0,9554
12	0,9514	0,9513
13	0,9501	0,9500
14	0,9520	0,9519
15	0,9518	0,9517

Таблица 2

Table 2

Также реализован сценарий единичной установки объекта ВИЭ (только в один из узлов схемы), мощность которого варьируется в следующем диапазоне (кейс 2):

$$p_i = (0 \dots 2)p_{\text{нагр}} ; -$$

При этом шаг изменения мощности через 0,1 для  $p_i = (0 \dots 1)p_{\text{нагр}}$ , через 0,5 для  $p_i = (1 \dots 2)p_{\text{нагр}}$ .

Согласно результатам вычисления разработанного программного кода, определено, что в условиях

данного ограничения установленной мощности дополнительной генерации, оптимальной конфигурацией является установки объекта ВИЭ в 15-ый узел, мощность соответствует двойной мощности нагрузки 15-го узла. Суммарные потери активной мощности составили 49,091 кВт, сократились на 20,4% в сравнении с исходной схемой. Относительный уровень напряжения узлов исследуемой схемы, соответствующий данной установке ВИЭ, приведен в табл. 3.



Таблица 3.

Относительный уровень напряжения узлов (кейс 2)

Table 3.

Voltage level of nodes (case 2)

Номер узла	Разработанный код	MATLAB/Simulink
1	1	1
2	0,9748	0,9747
3	0,9631	0,9630
4	0,9594	0,9594
5	0,9584	0,9584
6	0,9618	0,9617
7	0,9596	0,9595
8	0,9605	0,9604
9	0,9715	0,9714
10	0,9704	0,9704
11	0,9564	0,9564
12	0,9523	0,9523
13	0,9510	0,9510
14	0,9571	0,9571
15	0,9598	0,9598

### 3. Результаты и их обсуждение

Проведем верификацию полученных результатов в программном комплексе MATLAB/Simulink. Соберем схему, топология и параметры которой аналогичны исследуемой схеме (рис. 1, табл. 1), выполним расчет установившегося режима.

После установки в 11-ый узел дополнительной генерации, мощность которой соответствует мощности нагрузки 11-го узла (кейс 1), потери активной мощности составили 54,569 кВт. После установки в 15-ый узел двойной генерации (мощность которой соответствует удвоенной мощности нагрузки 15-го узла) (кейс 2) потери активной мощности составили 49,072 кВт. Отличие результатов, полученных в MATLAB/Simulink и с помощью разработанного программного кода, не превышает 0,05%, что свидетельствует о корректности расчетов, выполненных программой.

Программная реализация алгоритма вычисления перетоков и потерь мощности выдает не только конечный результат – значение минимума потерь активной мощности и соответствующие ему параметры (узел размещения дополнительной генерации и ее размер), а также позволяет оценить перетоки активной и реактивной мощности, относительный уровень напряжения узлов схемы для оптимального варианта и для всех размеров дополнительной генерации при ее установке во все узлы схемы от 2-го до 15-го, тем самым провести более глубокий анализ схемы и сделать необходимые выводы о работе ЭЭС в целом.

Также стоит отметить, что ввиду осуществления расчета всего поля возможных решений в отличие от эвристических методов отсутствует вариативность конечного результата решения задачи: в решениях, основанных на применении оптимизационных алгоритмов, результат расчета во многом зависит от за-

даваемого значения числа итераций, а также от значений вариативных коэффициентов, величина которых устанавливается произвольным образом при каждом запуске программы.

Близлежащими перспективами развития данной работы является программная реализация возможности единичной установки объектов ВИЭ всех типов, выделяемых в соответствии со способностью генерировать активную и регулировать реактивную мощность, и разных типов генерации одновременно, а также оптимизация вычислительной части алгоритма для кольцевых схем. Долгосрочными перспективами работы является ввод динамической нагрузки, учет географических и природных факторов конкретного территориального образования (энергорайона) и оптимизация вычислительной части алгоритма для конкретной практической реализации.

### Заключение

Установка объектов ВИЭ применяется преимущественно для обеспечения электроэнергией территорий, изолированных от централизованной системы энергоснабжения, что обуславливает необходимость практического внедрения генерации данного типа. На этапе проектирования встает вопрос размещения и выбора размера объекта (решается задача определения оптимального места установки и мощности объекта ВИЭ).

Критерием оптимальности выступает минимум потерь активной мощности, расчет производится, как правило, в программной форме с применением одного из существующих оптимизационных методов.

В рамках данной работы приведен вариант решения оптимизационной задачи на примере типовой 15-узловой IEEE схемы. Отражены основные математические выкладки, представлены результаты для



двух расчетных сценариев: установки одного объекта ВИЭ, генерирующего только активную мощность, максимум мощности которого ограничен мощностью нагрузки узла установки и удвоенной мощностью нагрузки узла установки (кейс 1 и кейс 2 соответственно).

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, грант №МК2150.2019.9

### Список литературы

1. Global Energy and CO2 Status Report 2018 March 2019 International Energy Agency (IEA) [Электронный ресурс] :// WWW . EENEWS . NET / ASSETS /2019/03/26/ DOCUMENT \_ CW \_01 . PDF . – (Дата обращения: 25.10.2020).

2. Информационный обзор «Единая энергетическая система России: промежуточные итоги» (оперативные данные). Август 2020 года. АО «СО ЕЭС» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: HTTP :// WWW . SO - CDU . RU / FILEADMIN / FILES / COMPANY / REPORTS / UPS - REVIEW /2020/ UPS \_ REVIEW \_0820 . PDF . – (Дата обращения: 30.10.2020).

3. Информационный обзор «Единая энергетическая система России: промежуточные итоги» (оперативные данные). Август 2019 года. АО «СО ЕЭС» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: HTTPS :// SO - UPS . RU / FILEADMIN / FILES / COMPANY / REPORTS / UPS - REVIEW /2019/ UPS \_ REVIEW \_0819 . PDF . – (Дата обращения: 30.10.2020).

4. Bayindir, R. Effects of renewable energy sources on the power system / R. Bayindir, S. Demirbas, E. Irmak, U. Cetinkaya, A. Ova, and M. Yesil // 2016 IEEE International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC), Varna, Bulgaria. – 2016. – Pp. 388-393.

5. Liang, X. Emerging Power Quality Challenges Due to Integration of Renewable Energy Sources // IEEE Transactions on Industry Applications. – March-April 2017. – Vol. 53. – Iss. 2. – Pp. 855-866.

6. Verdejo, H. Impact of wind power generation on a large scale power system using stochastic linear stability / H. Verdejo, W. Escudero, W. Kliemann, A. Awerkin, C. Becker, and L. Vargas // Applied Mathematical Modelling. – September 2016. – Vol. 40. – Iss. 17-18. – Pp. 7977-7987.

7. Telu, N. Optimal Planning and Operation of Microgrid: A Comprehensive Review / N. Telu, R.G. Rao, and V.S. Vakula // 2018 International Conference on Recent Innovations in Electrical, Electronics & Communication Engineering (ICRIEECE), Bhubaneswar, India. – 2018. – Pp. 1167-1174.

8. Chen, S.X. Sizing of Energy Storage for Microgrids / S.X. Chen, H.B. Gooi, and M.Q. Wang // IEEE Transactions on Smart Grid. – March 2012. – Vol. 3. – Iss. 1. – Pp. 142-151.

9. Molina, M.G. Energy Storage and Power Electronics Technologies: A Strong Combination to Empower the Transformation to the Smart Grid // Proceedings of the IEEE. – November 2017. – Vol. 105. – Iss. 11. – Pp. 2191-2219.

10. Nadeem, F. Comparative Review of Energy Storage Systems, Their Roles, and Impact on Future Power Systems / F. Nadeem, S.M.S. Hussain, P.K. Tiwari, A.K. Goswami, and T.S. Ustun // IEEE Access. – December 2018. – Vol. 7. – Pp. 4555-4585.

11. Mirsaedi, S. A Comprehensive Overview of Different Protection Schemes in Micro-Grids / S. Mirsaedi, D.M. Said, M.W. Mustafa, M.H. Habibuddin, and M.R. Miveh // International Journal of Emerging Electric Power Systems. – July 2013. – Vol. 14. – Pp. 327-332.

12. Zhang, Ya. New Schemes of Feeder Protection for Distribution Networks Including Distributed Generation / Ya. Zhang, and F. Dai // Automation of Electric Power Systems. – 2009. – Vol. 33. – Iss. 12. – Pp. 71-74.

13. Nazaripouya, H. Optimal sizing and placement of battery energy storage in distribution system based on solar size for voltage regulation / Nazaripouya, Yu. Wang, P. Chu, H.R. Pota, and R. Gadh // 2015 IEEE Power & Energy Society General Meeting, Denver, USA. – 2015. – Pp. 1-5.

14. Marra, F. A Decentralized Storage Strategy for Residential Feeders With Photovoltaics / F. Marra, G. Yang, C. Traeholt, J. Ostergaard, and E. Larsen // IEEE Transactions on Smart Grid. – March 2014. – Vol. 5. – Iss. 2. – Pp. 974-981.

15. Baran, M. Optimal sizing of capacitors placed on a radial distribution system / M. Baran, and F.F. Wu // IEEE Transactions on Power Delivery. – January 1989. – Vol. 4. – Iss. 1. – Pp. 735-743.

16. Золотарев, А.А. Методы оптимизации распределительных процессов / А.А. Золотарев. – Вологда: Изд-во «Инфра-Инженерия», 2014. – 160 с.

17. Colaco, M.J. A Survey of Basic Deterministic, Heuristic and Hybrid Methods for Single Objective Optimization and Response Surface Generation / M.J. Colaco, and G.S. Dulikravich // METTI – Thermal Measurements and Inverse Techniques, Rio de Janeiro, Brazil. – 2009. – Pp. 1-30.

18. Венцов, Н.Н. Эволюционный подход к моделированию распределительных процессов // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 4. – С. 1-9.

19. Dennis, J.E. Numerical Methods for Unconstrained Optimization and Nonlinear Equations / J.E. Dennis, and R.B. Schnabel. – Prentice Hall. – 1983. – 375 p.

20. Goldberg, D.E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning / D.E. Goldberg. – Addison-Wesley Publishing Company. – 1989. – 412 p.

21. Kennedy J. Particle swarm optimization / J. Kennedy, and R. Eberhart // International Conference on Neural Networks (ICNN), Perth, Australia. – 1995. – Pp. 1942-1948.

22. Wang, C. Analytical approaches for optimal placement of distributed generation sources in power





systems / C. Wang, and M.H. Nehrir // IEEE Transactions on Power Systems. – November 2004. – Vol. 19. – Iss. 4. – Pp. 2068-2076.

23. Singh, B. Impact assessment of DG in distribution systems from minimization of total real power loss viewpoint by using optimal power flow algorithms / B. Singh, and B.J. Gyanish // Energy Reports. – November 2018. – Vol. 4. – Pp. 407-417.

24. Chapman, A.C. Dynamic distributed energy resource allocation for load-side emergency reserve provision / A.C. Chapman, and G. Verbic // 2016 IEEE Innovative Smart Grid Technologies – Asia (ISGT-Asia), Melbourne, Australia. – 2016. – Pp. 1-6.

## References

1. Global Energy and CO2 Status Report 2018 March 2019 International Energy Agency (IEA) [Электронный ресурс] :// WWW . EENEWS . NET / ASSETS /2019/03/26/ DOCUMENT \_ CW \_01 . PDF . – (Дата обращения: 25.10.2020).

2. Informatsionnyi obzor «Edinaya ehnergeticheskaya sistema Rossii: promezhutochnye itogi» (operativnye dannye). Avgust 2020 goda. AO «SO EEHS» [Ehlektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: HTTP :// WWW . SO - CDU . RU / FILEADMIN / FILES / COMPANY / REPORTS / UPS - REVIEW /2020/ UPS \_ REVIEW \_0820 . PDF . – (Data obrashcheniya: 30.10.2020).

3. Informatsionnyi obzor «Edinaya ehnergeticheskaya sistema Rossii: promezhutochnye itogi» (operativnye dannye). Avgust 2019 goda. AO «SO EEHS» [Ehlektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: HTTPS :// SO - UPS . RU / FILEADMIN / FILES / COMPANY / REPORTS / UPS - REVIEW /2019/ UPS \_ REVIEW \_0819 . PDF . – (Data obrashcheniya: 30.10.2020).

4. Bayindir, R. Effects of renewable energy sources on the power system / R. Bayindir, S. Demirbas, E. Irmak, U. Cetinkaya, A. Ova, and M. Yesil // 2016 IEEE International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC), Varna, Bulgaria. – 2016. – Pp. 388-393.

5. Liang, X. Emerging Power Quality Challenges Due to Integration of Renewable Energy Sources // IEEE Transactions on Industry Applications. – March-April 2017. – Vol. 53. – Iss. 2. – Pp. 855-866.

6. Verdejo, H. Impact of wind power generation on a large scale power system using stochastic linear stability / H. Verdejo, W. Escudero, W. Kliemann, A. Awerkin, C. Becker, and L. Vargas // Applied Mathematical Modelling. – September 2016. – Vol. 40. – Iss. 17-18. – Pp. 7977-7987.

7. Telu, N. Optimal Planning and Operation of Microgrid: A Comprehensive Review / N. Telu, R.G. Rao, and V.S. Vakula // 2018 International Conference on Recent Innovations in Electrical, Electronics & Communication Engineering (ICRIEECE), Bhubaneswar, India. – 2018. – Pp. 1167-1174.

8. Chen, S.X. Sizing of Energy Storage for Microgrids / S.X. Chen, H.B. Gooi, and M.Q. Wang // IEEE Transactions on Smart Grid. – March 2012. – Vol. 3. – Iss. 1. – Pp. 142-151.

9. Molina, M.G. Energy Storage and Power Electronics Technologies: A Strong Combination to Empower the Transformation to the Smart Grid // Proceedings of the IEEE. – November 2017. – Vol. 105. – Iss. 11. – Pp. 2191-2219.

10. Nadeem, F. Comparative Review of Energy Storage Systems, Their Roles, and Impact on Future Power Systems / F. Nadeem, S.M.S. Hussain, P.K. Tiwari, A.K. Goswami, and T.S. Ustun // IEEE Access. – December 2018. – Vol. 7. – Pp. 4555-4585.

11. Mirsaedi, S. A Comprehensive Overview of Different Protection Schemes in Micro-Grids / S. Mirsaedi, D.M. Said, M.W. Mustafa, M.H. Habibuddin, and M.R. Miveh // International Journal of Emerging Electric Power Systems. – July 2013. – Vol. 14. – Pp. 327-332.

12. Zhang, Ya. New Schemes of Feeder Protection for Distribution Networks Including Distributed Generation / Ya. Zhang, and F. Dai // Automation of Electric Power Systems. – 2009. – Vol. 33. – Iss. 12. – Pp. 71-74.

13. Nazaripouya, H. Optimal sizing and placement of battery energy storage in distribution system based on solar size for voltage regulation / Nazaripouya, Yu. Wang, P. Chu, H.R. Pota, and R. Gadh // 2015 IEEE Power & Energy Society General Meeting, Denver, USA. – 2015. – Pp. 1-5.

14. Marra, F. A Decentralized Storage Strategy for Residential Feeders With Photovoltaics / F. Marra, G. Yang, C. Traeholt, J. Ostergaard, and E. Larsen // IEEE Transactions on Smart Grid. – March 2014. – Vol. 5. – Iss. 2. – Pp. 974-981.

15. Baran, M. Optimal sizing of capacitors placed on a radial distribution system / M. Baran, and F.F. Wu // IEEE Transactions on Power Delivery. – January 1989. – Vol. 4. – Iss. 1. – Pp. 735-743.

16. Zolotarev, A.A. Metody optimizatsii raspredelitel'nykh protsessov / A.A. Zolotarev. – Vologda: Izdvo «Infra-Inzheneriya», 2014. – 160 s.

17. Colaco, M.J. A Survey of Basic Deterministic, Heuristic and Hybrid Methods for Single Objective Optimization and Response Surface Generation / M.J. Colaco, and G.S. Dulikravich // METTI – Thermal Measurements and Inverse Techniques, Rio de Janeiro, Brazil. – 2009. – Pp. 1-30.

18. Ventsov, N.N. Ehvoluytsionnyi podkhod k modelirovaniyu raspredelitel'nykh protsessov // Inzhe-nernyi vestnik Dona. – 2013. – № 4. – S. 1-9.

19. Dennis, J.E. Numerical Methods for Unconstrained Optimization and Nonlinear Equations / J.E. Dennis, and R.B. Schnabel. – Prentice Hall. – 1983. – 375 p.

20. Goldberg, D.E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning / D.E. Goldberg. – Addison-Wesley Publishing Company. – 1989. – 412 p.

21. Kennedy J. Particle swarm optimization / J. Kennedy, and R. Eberhart // International Conference on



Neural Networks (ICNN), Perth, Australia. – 1995. – Pp. 1942-1948.

22. Wang, C. Analytical approaches for optimal placement of distributed generation sources in power systems / C. Wang, and M.H. Nehrir // IEEE Transactions on Power Systems. – November 2004. – Vol. 19. – Iss. 4. – Pp. 2068-2076.

23. Singh, B. Impact assessment of DG in distribution systems from minimization of total real power loss

viewpoint by using optimal power flow algorithms / B. Singh, and B.J. Gyanish // Energy Reports. – November 2018. – Vol. 4. – Pp. 407-417.

24. Chapman, A.C. Dynamic distributed energy resource allocation for load-side emergency reserve provision / A.C. Chapman, and G. Verbic // 2016 IEEE Innovative Smart Grid Technologies – Asia (ISGT-Asia), Melbourne, Australia. – 2016. – Pp. 1-6.

Транслитерация по BSI



### III Международная научная конференция «Энерго-ресурсоэффективность в интересах устойчивого развития»

Санкт-Петербург  
19.04.21 — 24.04.21

Целью проведения конференции является создание и функционирование на постоянной основе площадки для обсуждения практических и теоретических вопросов энергосбережения и ресурсоэффективности: от научных идей до управленческих решений на уровне регионов и крупных промышленных холдингов.

Целевой аудиторией конференции являются как представители организаций научно-образовательного комплекса, так и представители органов государственной власти и производственных компаний.

Научная программа конференции

- Энергосбережение и повышение энергетической эффективности
- Экоэнергетика
- Проблемы экологической безопасности и системы защиты среды обитания
- Чистые технологии
- Чистая вода
- Рациональное природопользование
- Устойчивые холодильные цепи
- Пищевые биотехнологии для здоровья человека

Веб-сайт конференции: <http://sewanconf.ru>

[science-community.org](http://science-community.org)

#### FIFTH INTERNATIONAL FORUM-SYMPOSIUM ON SAFETY AND ECONOMICS OF HYDROGEN TRANSPORT -WCAEE - IFSSEHT-2020 (DIGITAL)- CLARIFICATIONS AND EXPLANATIONS MARCH 18, 2021

В период с 24 мая по 27 мая 2021 года Международная Ассоциация "Альтернативная энергетика и экология" - IAAEE вместе с Институтом Водородной Экономии, Научно-Техническим Центром "ТАТА", Научно-Технологическим Центром "Саровские Лаборатории Сенсорика", Научно-Инновационным Центром "Лаборатории Технологий Безопасности", Научно-Инновационным Центром "КРИОС" в рамках мероприятий Четвёртого Всемирного Конгресса "Альтернативная энергетика и экология" - WCAEE -2020 проводят Пятый Международный Форум - Симпозиум по безопасности и экономике водородного транспорта - IFSSEHT-2020, посвященный памяти академика НАН Армении профессора, доктора физико-математических наук Мишика Айразатовича Казаряна.

<https://zen.yandex.ru/media/gusev/vyshel-v-svet-film-mishik-kazarian-put-iskatelia-60328d8ebd729c71d10785f7>

Тезисы докладов, презентации участников мероприятия размещаются на информационных ресурсах журнала, а также на teletype и на других сайтах и информационных сетях, включая и социальные сети.

