

УДК 621.311

Аксенова Анастасия Александровна, магистрант гр. ЭПм-211  
(КузГТУ, г. Кемерово)

Научный руководитель Паскарь Иван Николаевич, старший преподаватель  
(КузГТУ, г. Кемерово)

Aksenova Anastasia Aleksandrovna, undergraduate, lecturer KuzSTU  
(KuzSTU, Kemerovo)  
Paskar Ivan Nikolaevich, senior lecturer KuzSTU  
(KuzSTU, Kemerovo)

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

### APPLICATION OF OPTIMIZATION METHODS FOR SOLVING THE PROBLEM OF CONTROL OF DISTRIBUTED GENERATION OBJECTS

В работе рассмотрены методы оптимизации, позволяющие решить задачу управления объектом распределенной генерации, а также задачу выбора местоположения этого объекта.

The article considers optimization methods that allow solving the problem of controlling a distributed generation object, as well as the problem of choosing the location of this object.

#### Введение

Сегодня цифровизация энергетики становится синонимом конкурентоспособности любой страны на мировой арене, открывает доступ к рынкам будущего. Она позволит управлять более сложными энергетическими системами, ускорит темпы появления новых технологий различного спектра, например, распределенной генерации (РГ).

Актуальной тенденцией развития электроэнергетики во всем мире является децентрализация совместно с переходом к использованию небольших по мощности источников энергии (до 25 МВт), которые располагаются как можно ближе к нагрузкам, а также децентрализация управления режимами системы электроснабжения (СЭС), в основном в распределительных электрических сетях.

Актуальность работы обусловлена мировым опытом по внедрению установок РГ, повсеместным трендом на экологию. Распределенная энергетика станет ключом к «энергетическому переходу» от традиционных источников генерации к новым источникам и современным технологиям.

Следует отметить, что Кемеровская область является энергодефицитным регионом. Согласно «Схеме и программе перспективного развития электроэнергетики Кемеровской области – Кузбасса на 2021–2025 гг.» [1] выработка электрической энергии (ЭЭ) на 2020 год составила 20 432,3 млн кВт\*ч, а потребление – 31 293 млн кВт\*ч. За последние 5 лет сохраняется тенденция превышения электропотребления над выработкой.

Внедрение РГ будет способствовать не только «энергетическому переходу», то есть децентрализации, цифровизации, интеллектуализации СЭС, но и решит проблему дефицита ЭЭ. Использование генерации на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) даст возможность улучшить экологию региона. Таким образом, появляется необходимость в разработке и внедрении совершенно новых средств и способов управления режимами работы СЭС, включающих РГ на базе ВИЭ.

Автоматизировать процессы электроснабжения, а также повысить эффективность работы вводимых в работу электрических станций, работающих на ВИЭ, может виртуальная электростанция (ВиЭС).

ВиЭС объединяет разные виды возобновляемых и не возобновляемых генераторов, а также устройств накопления электроэнергии для того, чтобы ввести разработку на рынок в роли общей электрической станции с определенным ежечасным выводом электрической энергии.

Виртуальную электростанцию можно рассматривать, как агрегацию множества объектов распределенной генерации, подключенных к сети и располагающихся около нагрузок.

Одним из самых последних понятий ВиЭС является определение, написанное в «дорожной карте» НТИ «EnergyNet»: Виртуальная электростанция – это система, обеспечивающая соединение объектов РГ, потребителей с управляемой нагрузкой и накопителями электрической энергии с целью их совместного участия в рынках электроэнергии, а также оказания системных услуг и взаимного резервирования [2].

ВиЭС могут выполнять такую задачу, как генерация ЭЭ, регулирование и распределение в сети потоков генерации для всех подключенных к ней потребителей. ВиЭС напрямую связываются с региональными сетями, а региональные сети в свою очередь связываются с Единой национальной электрической сетью (ЕНЭС), что обеспечивает и связь ВиЭС с ЕНЭС.

Главными задачами ВиЭС является их техническое и коммерческое назначение. К техническому назначению отнесем регулирование напряжения и частоты. Коммерческое назначение – непосредственный сбыт ЭЭ на оптовый рынок.

К преимуществам виртуальных электростанций следует отнести тот факт, что ВиЭС обладает информацией о доступной генерации и спросе генерации в близком к реальному режиму времени на подключенной к ВиЭС территории. Также ВиЭС обладает гибкостью в использовании различных видов генерации или доступной мощности потребителя, так как

система способна автоматически высчитывать наиболее эффективный источник на данный момент времени. Еще одним преимуществом ВиЭС является гибкость её архитектуры, и, как следствие, возможность принимать множество различных форм. Виртуальная электростанция может работать как автономно, так и быть частью системы.

Системы ВиЭС станут драйверами по увеличению числа альтернативных источников энергии, что будет способствовать улучшению экологической среды по всему миру, а также экономии ресурсов планеты.

Изменение энергетической инфраструктуры позволит перейти на децентрализованную сеть вместо строительства больших по размеру электростанций. Следовательно, энергосистемы будущего станут менее уязвимыми к катаклизмам.

Повсеместное распространение ВиЭС позволит сократить потери на передачу электрической энергии, уменьшить потребность в наличии пиковых мощностей в энергосистеме, повысить надежность энергосистемы благодаря оптимизации процесса генерации ЭЭ в режиме реального времени в соответствии со спросом на энергию.

Таким образом, поиск путей внедрения ВиЭС в России, а также в различных государствах мира, посодействует повышению уровня гибкости и надежности электроснабжения подключенных потребителей, а также увеличению эффективности работы рынка электрической энергии.

### **Методы оптимизации для определения места расположения ВиЭС**

Задачи области энергетики можно решить с помощью методов оптимизации [3,4]. Рассмотрим методы оптимизации, которые были использованы при решении поставленных в данной работе задач:

1. Оптимального выбора местоположения объектов распределенной генерации
2. Оптимизации управления объектами виртуальной электрической станции

Опираясь на исследования Б.И. Кудрина, В.И. Гнатюка, можно сделать вывод, что техническая эволюция происходит по тем же законам, что и биологическая. Таким образом, можно говорить о том, что техническая реальность, так же, как и биологическая, стремится к разнообразию.

Существуют системные объекты, отдельные составляющие которых, с одной стороны, независимы и не связаны между собой ни механически, ни электрически, ни гидравлически и т.д., а с другой стороны – объединены связями иного типа, которые определяются единой системой управления, снабжения, эксплуатации, а также единой целью функционирования. Дополнительно эти объекты ограничены в пространстве и времени. Такие объекты называются техноценозами [5].

Ключевыми преимуществами технценологического подхода являются изученность методики для решения оптимизационных задач в энер-

гетике, возможность поиска решения для любого количества заданных параметров, готовые математические модели для построения этапов оптимизации техногеноза.

Чтобы определить «узкие» места, и соответственно, территории, подходящие для строительства ВиЭС в Кузбассе, необходимо провести интервальное оценивание техногеноза.

В качестве объекта исследования была выбрана СЭС Кемеровского района, которая далее будет рассматриваться как техногеноз. Методология расчета была взята из работ [6]. Также было проанализировано электропотребление 67 СНТ за период с 2016 по 2020 гг.

По итогу была получена визуализация исходных данных в виде трехмерной модели (рисунок 1).

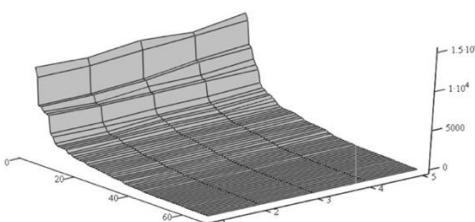


Рис. 1 Трехмерная визуализация техногеноза

Далее необходимо построить Н-кривую, по которой можно будет определить СНТ Кемеровского района, выходящие за доверительный интервал, то есть СНТ с избыточным или недостаточным электропотреблением (рисунок 2).

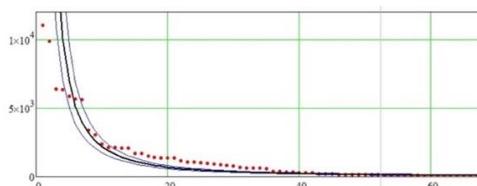


Рис. 2 Интервальное оценивание техногеноза по электропотреблению

Дополнительно построим график, показывающий какие точки не попадают в доверительный интервал (рисунок 3).

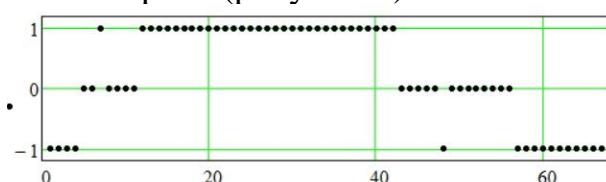


Рис. 3 График, отражающий попадание СНТ по параметру электропотребления в доверительный интервал

На рисунках 2 и 3 можно увидеть «аномальные» точки, выходящие за пределы доверительного интервала. Это означает, что СНТ, соответствующие этим точкам, в первую очередь нуждаются в энергетическом анализе.

Первыми десятью точками, согласно проведенному анализу, являются СНТ: «Маручак», «Ветеран», «Автомобилист», «Азотовец», «Рассвет-2», «Нагорное-4», «Химик», «Нива», «Дельфин», «Электрон». СНТ «Маручак» больше всех остальных СНТ находится за границами доверительного интервала. Его отклонение составляет +600 тыс. кВтч в год.

Выберем СНТ «Маручак» в качестве пилотной площадки для внедрения ВиЭС на базе СЭС. К реализации была принятая топология ВиЭС «Звезда». Этот тип топологии ВиЭС обладает рядом преимуществ. Во-первых, если из строя выйдет один элементов ВиЭС, это не повлечет за собой отключение остальных элементов ВиЭС. Во-вторых, при такой топологии очень легко искать неисправности и обрывы ЛЭП. В-третьих, очень просто отключить неисправный элемент ВиЭС без последствий для остальных элементов ВиЭС. Единственный весомый недостаток – поломка главного элемента ВиЭС, так как вся система прекратит свою работу [7].

Согласно схеме топологии ВиЭС СНТ «Маручак» (рисунок 4), виртуальная электростанция будет собирать все данные о генерируемой, распределенной, требуемой к потреблению электрической энергии.

В случае дефицита электроэнергии на каком-то участке СНТ «Маручак», то есть если собственных источников генерации будет недостаточно для покрытия потребностей в ЭЭ, потребитель сможет получить доступ к энергии, произведенной в другом месте.

Следовательно, если на каком-то из участков СНТ наблюдается излишек производства электроэнергии, он может «поделиться» энергией с другими участками или сетью. Если на одном из участков СНТ будет слишком высокий дефицит ЭЭ, ВиЭС выдаст рекомендацию по увеличению генерации из других источников (сети).

Таким образом, ВиЭС может управлять генерацией, распределением и потреблением электроэнергии на всех участках СНТ «Маручак», а потребители будут иметь доступ к информации, касающейся своего участка, и смогут контролировать потребление и генерацию ЭЭ на своем участке.

Отобразим на примере одного участка СНТ «Маручак» логику построения ВиЭС на базе солнечной генерации (рисунок 4).

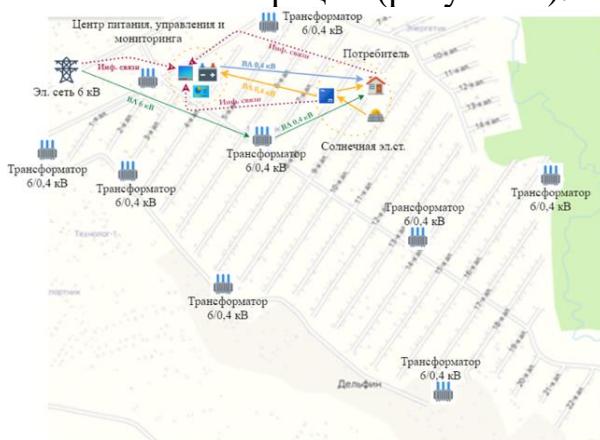


Рис. 4 Схема расположения объектов ВиЭС СНТ «Маручак»

Энергия солнца, попадая на солнечные батареи, превращается с помощью фотоэлементов солнечных батарей в электрическую энергию. Далее электрическая энергия поступает в центр питания, управления и мониторинга, где с помощью инвертора постоянный ток преобразуется в переменный ток с напряжением 220 В. Затем блок управления ВиЭС, находящийся в центре питания, управления и мониторинга, направляет выработанную электроэнергию на собственные нужды активного потребителя в необходимом количестве, а излишки электрической энергии отправляют в аккумуляторные батареи. Процессом накопления и распределения электроэнергии в аккумуляторных батареях управляет контроллер, который регулирует уровень заряда и разряда аккумуляторной батареи.

Так как данная ВиЭС соединена с электросетью, потребители могут «брать» и «отдавать» ЭЭ в сеть, однако этим процессом управляет ВиЭС, поэтому в первую очередь она убедится, не выработал ли другой участок излишek ЭЭ, чтобы перенаправить его на участок с дефицитом энергии.

Потребитель, с помощью специального приложения может контролировать все стадии перераспределения электрической энергии, а также выбирать по какому тарифу и у какого домохозяйства приобрести недостающую электроэнергию или по какому тарифу продать свою излишнюю энергию.

Также необходимо понять, как будет работать «голова» ВиЭС, по какому алгоритму и каким критериям будет принимать решения о генерации, распределении и хранении ЭЭ.

Блок управления ВиЭС выполняет функцию контроля и управления всей системой без участия человека благодаря аппаратно-программному комплексу. Таким образом, на блок поступают сигналы от объектов ВиЭС, а после проведения анализа, от блока управления поступают необходимые команды.

Для решения задачи оптимального управления ВиЭС был выбран метаэвристический метод оптимизации. Преимущество метаэвристических методов оптимизации состоит в том, что они состоят из нескольких, как правило двух, методов оптимизации, что позволяет более точно решить оптимизационную задачу [8].

### **Метод стаи сальп**

Метод стаи сальп моделирует поведение стаи сальп во время перемещения в океане и поиска пищи. Сальпы выстраиваются в виде цепочки, чтобы обеспечить большую подвижность во время добывания пищи [9,10].

Первый шаг алгоритма – размещение в пространстве поиска решений большого количества сальп. Далее за каждой сальпой закрепляется значений целевой функции и находится сальпа с наилучшим значением. Координата этой сальпы – источник пищи, за которым будет охотиться

уже цепочка сальп. Для каждой стаи постепенно происходит обновление позиции (координат) главной сальпы (источника пищи).

«Мозгом» блока управления станет метод стаи сальп. Именно с помощью этого метода центр питания, управления и мониторинга будет принимать решение о распределении ЭЭ между объектами ВиЭС.

Основными достоинствами метода стаи сальп можно считать [3,11]:

1. Сохранение наилучшего текущего положения в пространстве поиска, которое будет сохранено в памяти, даже если произойдет вырождение всей популяции.

2. Ежесекундное обновление положения сальпы-лидера по отношению к источнику пищи, который является лучшим найденным на текущий момент решением. Таким образом, сальпа-лидер осуществляет разведку и поиск только в окрестностях лучшего решения.

3. Обновление положения сальп-преследователей по отношению друг к другу с целью сместить их в сторону сальпы-лидера.

4. Предотвращение зацикливания алгоритма в точке локального оптимума посредством изменения положения сальп-преследователей. Алгоритм выполняет сначала стадию разведки среди всего пространства решений и только затем подробный поиск.

5. Наличие только одного параметра настройки алгоритма.

6. Простота использования и интеграции алгоритма.

Перечисленные преимущества позволяют применить алгоритм для задачи управления ВиЭС с большим количеством энергообъектов.

### **Заключение**

Размещение РГ позволит существенно уменьшить потери электрической энергии, загрузку электросетевых элементов и отклонение напряжения в сети, тем самым нормализует работу энергосистемы.

Эффект от установки различных объектов РГ зависит от их параметров и местоположения самих объектов относительно всей энергосистемы.

Энергетика – одна из основных отраслей, которые нуждаются в диверсификации источников энергии, позволяющей избежать зависимостей производства энергии от одного вида сырья, или же только от традиционных видов сырья.

Таким образом, если учесть ряд рекомендаций, то в будущем, внедрение ВИЭ-генерации в ВиЭС станет общедоступным трендом, приносящим выгоду:

1. Видоизменение целей РФ для достижения внушительной доли ВИЭ, а также уменьшения выбросов в окружающую среду к 2035 году;

2. Понятная и прозрачная схема формирования тарифов на оптовом и розничном рынке электроэнергии и мощности;

3. Экономическая поддержка ВИЭ (государственное субсидирование технологического присоединения ВИЭ-генерации к электростанциям);

4. Нормативно-правовая поддержка ВИЭ;

5. Гарантированный доступ производителей ВИЭ к передающим мощностям;

6. Собственная конкурентоспособная база РФ по производству комплектующих для электростанций на базе ВИЭ.

Список литературы:

1. Схема и программа перспективного развития электроэнергетики Кемеровской области - Кузбасса на 2021 - 2025 годы. - URL: <https://ako.ru/upload/medialibrary/a95/СиПР%20Кемеровской%20области%202021-2025.pdf>
2. План мероприятий «Энерджинет» Национальной технологической инициативы // Сайт АО «РВК». - URL: [http://www.rvc.ru/nti/roadmaps/dk\\_energynet\\_new.pdf](http://www.rvc.ru/nti/roadmaps/dk_energynet_new.pdf).
3. Толба, М.А.Х. Развитие методов оптимизации размещения компенсирующих устройств и возобновляемой распределенной генерации в радиальных электрических сетях / дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук, МЭИ, Москва, 2018.
4. Обзор метаэвристических методов оптимизации, применяемых при решении электроэнергетических задач / Р.А. Алехин, Ю.П. Кубарьков, Д.В. Закамов, Д.В. Умяров // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки, 2019. – №3(63).
5. Гнатюк В.И., Закон оптимального построения техноценозов. Монография / В.И. Гнатюк. – 3-е издание, перераб. и доп. – Калининград: Изд-во КИЦ «Техноценоз», 2019. – 896 с.
6. Паскарь И.Н., Фролова М.В. Интервальное оценивание техноценоза по параметру потребления электроэнергии на примере Прокопьевского района Кузбасса // Mining Equipment and Electromechanics. – 2020. - №. 5. - С. 64-70. URL: <https://journals.kuzstu.ru/article/3843.pdf>
7. Анализ вариантов топологий электрической сети виртуальной электростанции / А.А. Аксенова // Сборник XII Всероссийской научно-практической конференции «Россия молодая». – 2020.
8. Bansal R.C. Optimization Methods for Electric Power Systems: An Overview // International Journal of Emerging Electric Power Systems, 2005. Vol. 2, № 1. Pp. 1–23.
9. Обзор метаэвристических методов оптимизации, применяемых при решении электроэнергетических задач / Р.А. Алехин, Ю.П. Кубарьков, Д.В. Закамов, Д.В. Умяров // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки, 2019. – №3(63).
10. Farhoodnea M., Mohamed A., Shareef H., Zayandehroodi H. A Comprehensive Review of Optimization Techniques Applied for Placement and Sizing of Custom Power Devices in Distribution Networks // Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review), 2012. Vol. 88, № 11. Pp. 261–265.
11. Madin L. Aspects of jet propulsion in salps. Can J Zool, 1990.