

**Центр детского научного и инженерно-технического творчества при
Кузбасском Государственном Техническом Университете имени Т. Ф.
Горбачёва «УникУм»
(ЦДНИТТ при КузГТУ «УникУм»)**

2Gen: Web-сервис для создания собственной электростанции на базе ВИЭ

Выполнили:

Жеребцов Алексей Денисович,
10 класс

Рожков Никита Викторович,
9 класс

Руководители:

Паскарь Иван Николаевич,
преподаватель ЦДНИТТ при
КузГТУ «УникУм»,

Антончиков Артём Денисович,
учащийся ЦДНИТТ при КузГТУ
«УникУм»

Краткая аннотация	3
Введение.....	4
Глава 1. Анализ развития распределенной генерации	6
Глава 2. Разработка методики подбора оборудования для объектов микрoгенерации.....	8
2.1. Входные параметры	9
2.2. Моделирование графика электропотребления.....	9
2.2.1 Непрерывный режим потребления.....	9
2.2.2 Интервальный режим потребления.....	10
2.3. Расчёт выходной мощности фотоэлектрической установки	11
2.3.1. Расчёт инсоляции плоскости фотоэлектрического массива.....	11
2.3.2. Расчёт угла падения	12
2.3.3. Применение приближения инсоляции	12
2.4. Расчёт нормированной стоимости электроэнергии.....	13
Глава 3. Практическая реализация методики.....	15
Заключение	21
Литература	22

Краткая аннотация

В современной энергетике сложился тренд на установку систем распределённой генерации. Данное направление в России подкрепляется постановлением Правительства РФ от 2 марта 2021 г. № 299 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации в части определения особенностей правового регулирования отношений по функционированию объектов микрогенерации» [Федеральный закон от 27.12.2019 № 471-ФЗ].

Разрабатываемый сервис позволит подбирать оптимальную конфигурацию генерирующего и вспомогательного оборудования для микрогенерации до 15 кВт любого объекта (юридического или физического лица) с применением методов оптимизации для минимизации срока окупаемости с учётом покупки/продажи электроэнергии. Результаты работы программного комплекса позволят частным домохозяйствам, юридическим лицам (магазинам, фермам и т.п.), поставщикам оборудования и компаниям, устанавливающим объекты микрогенерации, повысить эффективность процесса подбора оборудования.

Введение

Энергия — это то, без чего не может существовать наша цивилизация. Растущее население Земли, новые высокотехнологичные производства, «оцифровывание» человечества требуют все больше и больше источников энергии. Это не только традиционная энергетика, но и современная низкоуглеродная генерация, к которой можно отнести атомную, солнечную, ветровую энергетику. Важным направлением развития отрасли является аккумуляция энергии для ее дальнейшего использования как стационарными, так и мобильными потребителями. Кроме того, в настоящее время происходит активное внедрение цифровых технологий в энергетическую отрасль.

Создание цифровых двойников и систем управления, основанных на новой элементной базе и принципах работы, позволит значительно повысить конкурентоспособность и увеличить темпы развития современной российской энергетики. Также не надо забывать, что энергетика должна быть экономичной, доступной в любом уголке планеты и безопасной для окружающей среды.

Именно поэтому направлением проекта было выбрано внедрение цифровых технологий в современную энергетику. После проведения патентного поиска было выявлено наиболее перспективное направление — «зелёная энергетика»¹.

Целью проекта стало сокращение срока окупаемости систем распределенной генерации на основе возобновляемых источников энергии. Основными задачами для выполнения этой цели были поставлены: изучение предметной области; разработка методики подбора оборудования для объектов микрогенерации; разработка Web-приложения для автоматизации расчета географически оптимальной и экономически эффективной конфигурации генерирующего оборудования.

Предполагается, что возможно увеличить долю объектов микрогенерации среди частных домохозяйств Российской Федерации посредством внедрения инновационных технологий в области распределённой энергетики.

Ожидаемыми результатами проекта являются:

1. Отечественный продукт, представляющий из себя Web-сервис.
2. Установление партнёрских отношений с ведущими энергетическими компаниями отечественного рынка.

Практическим значением результатов, ожидаемых от проекта, является внедрение продукта в промышленную составляющую, что приведет к

¹ Зелёная энергетика — сектор энергетики, использующий возобновляемые источники энергии (ВИЭ): солнечный свет, водные потоки, ветер, приливы, геотермальные источники.

популяризации направления распределенной генерации и разработке возобновляемых источников энергии.

Возможностью эффективного использования результатов проекта является появление на рынке площадки для взаимодействия его субъектов с последующим увеличением доли продаж.

Глава 1. Анализ развития распределенной генерации

В современной энергетике сложился тренд на развитие возобновляемых источников энергии. В то же время наблюдается активный рост популярности систем микрогенерации [Федеральный закон от 27.12.2019 № 471-ФЗ].

Развитие систем микрогенерации подкрепляется Постановлением Правительства РФ от 2 марта 2021 г. № 299 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации в части определения особенностей правового регулирования отношений по функционированию объектов микрогенерации» [Постановление Правительства Российской Федерации от 02.03.2021 № 299] и Постановлением Правительства Российской Федерации от 30.06.2022 № 1178 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии к электрическим сетям и признании утратившими силу отдельных положений некоторых актов Правительства Российской Федерации» [Постановление Правительства Российской Федерации от 30.06.2022 № 1178].

По данным Энергетической стратегии развития РФ до 2035 года [ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СТРАТЕГИЯ Российской Федерации ...] основной проблемой использования возобновляемых источников энергии в Российской Федерации является их недостаточная экономическая конкурентоспособность по отношению к иным технологиям производства электрической энергии.

Согласно отчётам Международного энергетического агентства (МЭА), наблюдается значительная динамика удешевления микрогенерации с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Развитие симбиоза микрогенерации и возобновляемых источников энергии, как показывает статистика прошлых лет, может дать большой скачок в развитии электроэнергетики как одного малого населённого пункта (посёлка), так и целого региона. Например, цена ветрогенераторов с 1980 года по 2013 год снизилась в 10 раз, в то время как к 2014 году падение цен на фотовольтаику составило 75% относительно цены 2009 года [6 Perspectives for the energy investment needs ..., 2017].

Возможность потребителям (в том числе домохозяйствам) продавать излишки электроэнергии, произведённой на собственной генерации с использованием ВИЭ, способна вовлечь их в активное участие на рынках электроэнергии, тем самым формируя новый тип потребителя — активного потребителя [Климовец, Зубакин, 2016]. Формирование данного типа даёт значительный скачок в развитии рынка «микрогенерации», который на данный момент регулируется Федеральным законом [Федеральный закон от 27.12.2019 № 471-ФЗ].

Цифровые технологии индустрии 4.0 [Четвёртая промышленная революция..., 2016] призваны стать информационным базисом и связующим звеном в работе систем микрогенерации. Среди основных технологий можно выделить:

1. Цифровые двойники (возможность создавать математические модели генерирующего оборудования, сетей, объектов, процессов и т.д, что в будущем может повысить операционную эффективность энергокомпаний);

2. Промышленный интернет вещей (IoT), который позволяет собирать данные от удалённых объектов и устройств сети [Архитектура..., 2021];

3. Большие данные (Big Data) (данные значительных объёмов, полученные от интеллектуальных элементов сети для их последующей обработки [Кузьмин П.С. 2019]);

4. Машинное обучение (Machine Learning) (позволяет автоматизированно обрабатывать большие данные, а также повышает оптимальность принятия решений по оперативной и перспективной деятельности);

5. Распределённые реестры (блокчейн) (технологии блокчейна и Smart-контрактов позволят исключить посредников в цепочке реализации электроэнергии до конечного потребителя и совершить переход на автоматизированные Smart-контракты, что является одним из базисных элементов таких моделей активного потребителя, как интернет энергии [Архитектура..., 2021]).

Глава 2. Разработка методики подбора оборудования для объектов микрогенерации

Для того, чтобы внедрять ВИЭ могли не только крупные компании энергетической отрасли, но и частные домохозяйства (возможность для их интеграции в электросетевой сектор открыло Постановление Правительства РФ от 2 марта 2021 г. № 299 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации в части определения особенностей правового регулирования отношений по функционированию объектов микрогенерации») [Постановление Правительства Российской Федерации от 02.03.2021], необходимо разрабатывать системы для упрощения процессов расчета, подбора и оптимизации установки подобных агрегатов обычными людьми.

На данный момент активному внедрению систем препятствуют сложности в расчёте рентабельности мероприятий по внедрению новых технологий и в стереотипизированном мышлении потребителя о высокой стоимости и трудности монтажа установок ВИЭ.

По причинам, приведённым выше, было решено разработать методику, которая значительно уменьшит временные затраты на подбор генерирующего оборудования систем на основе микрогенерации, а также позволит вычислять срок их окупаемости.

На основе вышесказанного для наиболее наглядного объяснения методики было решено составить блок-схему, входные данные были соотнесены с процессами расчёта срока окупаемости в блок-схеме (см. рис. 1)

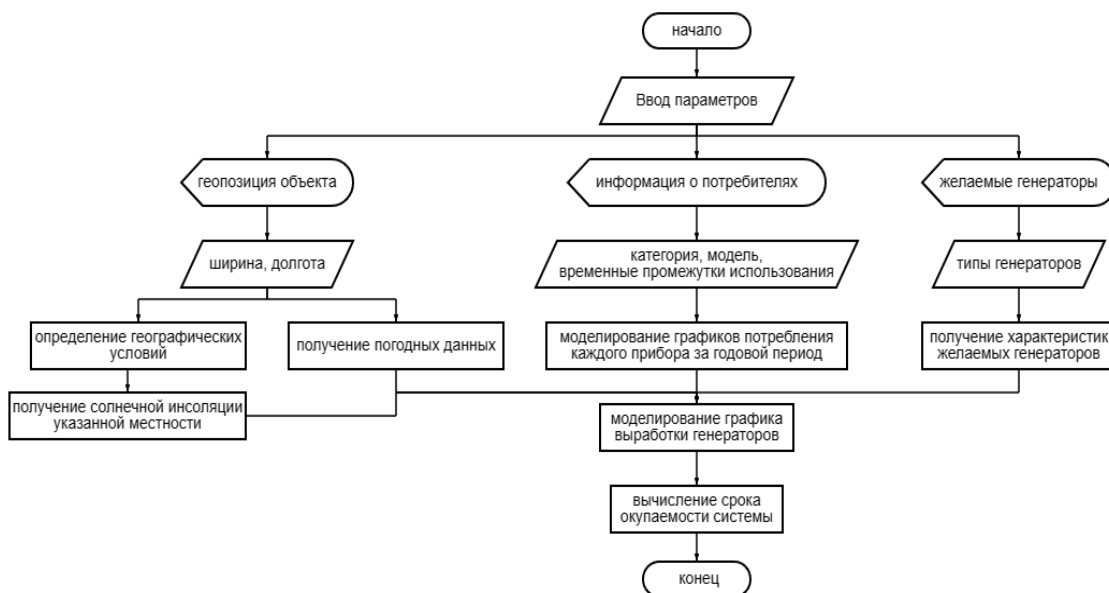


Рис. 1. Блок-схема алгоритма расчета срока окупаемости системы

2.1. Входные параметры

Работа алгоритма начинается со сбора и обработки входных параметров, в числе которых:

1. Геопозиция объекта размещения целевых источников энергии, состоящая из двух компонентов — долготы и широты, используемая для определения общей, рассеянной и прямой нормальных инсоляций в указанной точке. Эти величины подскажут, какая энергия солнечных лучей приходится на квадратный метр горизонтальной поверхности Земли;

2. Предпочтения в желаемых источниках энергии на случай, если пользователь одному типу возобновляемой энергии предпочитает другой;

3. Информация о электроприборах (потребителях), используемых в течение недели пользователем, которая включает категорию, модель и временные промежутки использования с разрешением в 1 час для каждого дня недели. Каждый час содержит информацию о факте использования или неиспользования данного прибора, а его категория содержит информацию о режиме использования (непрерывный или интервальный).

Далее, перед непосредственной работой с генераторами необходимо составить график потребления электрической энергии приборами, указанными в ходе сбора параметров.

2.2. Моделирование графика электропотребления

Одна из важнейших частей алгоритма — моделирование графика электропотребления, которая является ключевой для определения оптимальной конфигурации генерирующего оборудования.

Его генерация состоит из двух частей:

1. Непрерывный режим потребления;
2. Интервальный режим потребления;

2.2.1 Непрерывный режим потребления

Каждый прибор, входящий в категорию непрерывного энергопотребления, необходимо учесть отдельно. К таким категориям относятся приборы, в течение указанных часов работы которых потребление происходит непрерывно, например, холодильники или персональные компьютеры. Значения графика функции потребления $P_i(t)$ таких приборов определяются входными параметрами их использования.

$$P_i(t) = U(t) \times P_i$$

где: P_i – базовая мощность электроприбора i ; t – дискретный час в диапазоне 0–23; $U(t)$ – факт использования или неиспользования прибора в час t .

$$U(t) = \begin{cases} 1, & \text{если прибор } i \text{ используется в час } t \\ 0, & \text{если прибор } i \text{ не используется в час } t \end{cases}$$

Суммарная мощность всех приборов P_{total} с таким режимом использования в час t можно найти по формуле:

$$P_{total}(t) = \sum_{i=1}^n P_i(t)$$

2.2.2 Интервальный режим потребления

Приборы интервального режима потребления отличаются тем, что в указанные часы использования сам прибор используется до нескольких раз небольшими интервалами, например, чайник или освещение в ванной комнате. Для моделирования такого поведения было принято решение использовать метод Монте-Карло в связи с подходящими вероятностными характеристиками рассматриваемых процессов.

Сначала определим вероятности использования прибора в каждом интервале: зададим функцию распределения случайной величины для того, чтобы моделировать значения в заданном диапазоне:

$$F(a) - F(b) = P(a < x < b), x \in R$$

где: a – нижний порог распределения значений; b – верхний порог распределения значений; x – моделируемое значение.

Далее необходимо привести некоторое количество испытаний, среднее арифметическое которых будет представлять собой вероятность использования прибора в данный промежуток:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

где: n – количество испытаний; x_i – смоделированное значение за одно испытание.

Заключительным шагом требуется выбрать n наибольших вероятностей, где n определяется категорией рассматриваемого прибора. Суммарную мощность всех приборов с данным типом потребления можно найти по формуле:

$$P_{total}(t) = \frac{P_i(t) \times \sum_{k=1}^n x_k}{r}$$

где: x_k – соответствующая вероятность; $P_i(t)$ – мощность прибора i в час t ; r – количество измеряемых интервалов.

2.3. Расчёт выходной мощности фотоэлектрической установки

Среди всех ВИЭ нормированная стоимость электроэнергии солнечных панелей снижается самыми быстрыми темпами [IRENA (2020)]. В связи с этим далее будет детально рассмотрен пошаговый расчёт срока окупаемости солнечной панели через понятие нормированной стоимости электроэнергии.

Величина вырабатываемой солнечной панелью мощности за единицу времени прямо пропорциональна величине солнечной инсоляции поверхности самой панели. Следовательно, предварительно необходимо рассчитать наклонное излучение исследуемой поверхности.

2.3.1. Расчёт инсоляции плоскости фотоэлектрического массива

Вычисление величины наклонной инсоляции (G_{POA}) требует несколько компонентов, таких как прямое и рассеянное излучения, а также коэффициент отражения поверхности Земли в виде Альбеда [Anne M. Step-by-step evaluation]. Входными данными станут GHI^2 , DNI^3 и DNI^4 для целевой местности, доступные у открытых официальных вендоров вроде NASA.

$$G_{POA} = B_{POA} + D_{POA} + A_{POA}$$

Зная прямое нормальное излучение и угол падения на плоскость AOI^5 , нетрудно посчитать прямую инсоляцию данной плоскости (B_{POA}).

$$B_{POA} = DNI \times \cos(AOI)$$

Альбеда, поступающее в плоскость массива (A_{POA}), рассчитывается аналогично вышеупомянутому уравнению.

$$A_{POA} = GHI \times Albedo \times \frac{1 - \cos(\theta_{tilt})}{2}$$

Здесь альбеда соответствует коэффициенту отражения поверхности Земли.

Для приближения величины рассеянного излучения, поступающего на фотоэлектрический модуль (D_{POA}), существует несколько различных моделей. Наивная *изотропная* модель предполагает равномерное солнечное излучение по всему небесному своду. Здесь же будет рассмотрена модель неизотропного излучения Клушера, которая учитывает как пасмурное небо, так и ясное и частично облачное небо:

² GHI – Общая нормальная инсоляция, Вт/м²

³ DNI – Рассеянная нормальная инсоляция, Вт/м²

⁴ DNI – Прямая нормальная инсоляция, Вт/м²

⁵ AOI – Угол падения (Angle Of Incidence), °

$$D_{POA} = DHI \times \frac{1 + \cos(\theta_{tilt})}{2} \\ \times [1 + (1 - \frac{DHI}{GHI}) \sin^3(\frac{\theta_{tilt}}{2})] \\ \times [1 + (1 - \frac{DHI}{GHI}) \cos^2(AOI) \sin^3(\theta_z)]$$

2.3.2. Расчёт угла падения

Плоскость рассматриваемого массива наклонена, поэтому для приведённых вычислений необходимо использован угол падения между солнечными лучами и фотоэлектрическим массивом, определённый в следующем уравнении.

$$AOI = \cos^{-1}[\cos(\theta_z)\cos(\theta_{tilt}) + \sin(\theta_z)\sin(\theta_{tilt})\cos(\theta_A - \theta_{A,arr})]$$

где θ_z и θ_A – солнечные зенитный и азимутальный углы соответственно, а θ_{tilt} и $\theta_{A,arr}$ – углы наклона и азимута массива соответственно.

2.3.3. Применение приближения инсоляции

Полученная характеристика G_{POA} описывает мощность, приходящуюся на наклонную поверхность фотоэлектрического массива. Для определения мощности отдельно взятой солнечной панели потребуются также её суммарная площадь S и коэффициент полезного действия β , вычисленные эмпирически либо указанные производителем.

$$P = G_{POA} \times S \times \beta$$

P отражает вырабатываемую мощность, однако для расчёта LCOE потребуются энергия, выраженная во Втч. Так как мощность — это отношение энергии ко времени, то объём энергии в Дж можно получить, проинтегрировав полученную мощность по времени:

$$\int_{t_1}^{t_2} P(t) dt$$

Для перевода полученных Дж во Втч необходимо разделить данное значение на 3600.

Данные уравнения позволят предсказать выходную мощность солнечной панели с произвольной точностью временного промежутка; для предсказания инсоляции в краткосрочном периоде модель Клушера может быть дополнена данными о погодных условиях от метеорологических станций для более точных результатов.

2.4. Расчёт нормированной стоимости электроэнергии

Одним из компонентов срока окупаемости электростанции составляет нормированная стоимость вырабатываемой ею электроэнергии (Levelized Cost of Energy, LCOE). LCOE рассчитывается путем сложения всех производственных затрат, разделённых на общее количество энергии, которое ожидается произвести. В формуле:

$$LCOE = \frac{\text{сумма затрат за жизненный цикл}}{\text{количество энергии, произведённое за жизненный цикл}}$$

В затраты на одну солнечную панель входят её первоначальная стоимость C_{arr} , стоимость соответствующего ей энергоносителя C_{cap} , затраты на ежегодное содержание M_t , а также средняя величина расходов покупаемой по розничной цене электроэнергии, приходящаяся на эту панель, в периоды нехватки вырабатываемой и запасённой энергии F_t . Произведённую за год энергию, рассчитанную в 2.1.3, обозначим за E_t . Так мы получим общую формулу нормированной стоимости вырабатываемой электроэнергии целевой солнечной панели:

$$LCOE = \frac{C_{arr} + C_{cap} + \sum_{t=1}^n (M_t + F_t)}{\sum_{t=1}^n E_t}$$

где n – заявленный производителем срок эксплуатации модуля в годах.

Теперь, зная нормированную стоимость электроэнергии LCOE и число лет жизни системы n , заявленное производителем, возможно рассчитать срок окупаемости данной системы при помощи избыточной энергии, сгенерированной панелью.

$$\Delta E = \sum_{Y=0}^Y \int_0^T P_{arr}(t) dt - \sum_{i=1}^n \sum_{t=0}^{23} P_i(t)$$

где: Y – количество дней в году; T – длина суток; n – количество электроприборов; P_i – напряжение прибора i .

Полученная прибыль с панели L за год Y рассчитывается при помощи оптовой цены за Дж энергии L_w .

$$L_Y = \Delta E \times L_w$$

Соответственно, срок окупаемости этой панели G в годах соответствует отношению стоимости этой панели к её прибыли за год:

$$G = \frac{C_{arr}}{L_Y}$$

Глава 3. Практическая реализация методики

Конечным продуктом работы является Web-приложение для автоматизированного расчета оптимальной и экономически эффективной конфигурации оборудования.

В навигационной панели расположены кнопки для навигации по страницам сервиса: (сверху вниз) «Главная», «Потребители», «Потребление», «Генераторы», «База знаний», «Аккаунт».

Первым делом пользователю необходимо добавить объект, используя кнопку зелёного цвета с надписью “Добавить объект” в левом нижнем углу страницы (см. рис. 2).

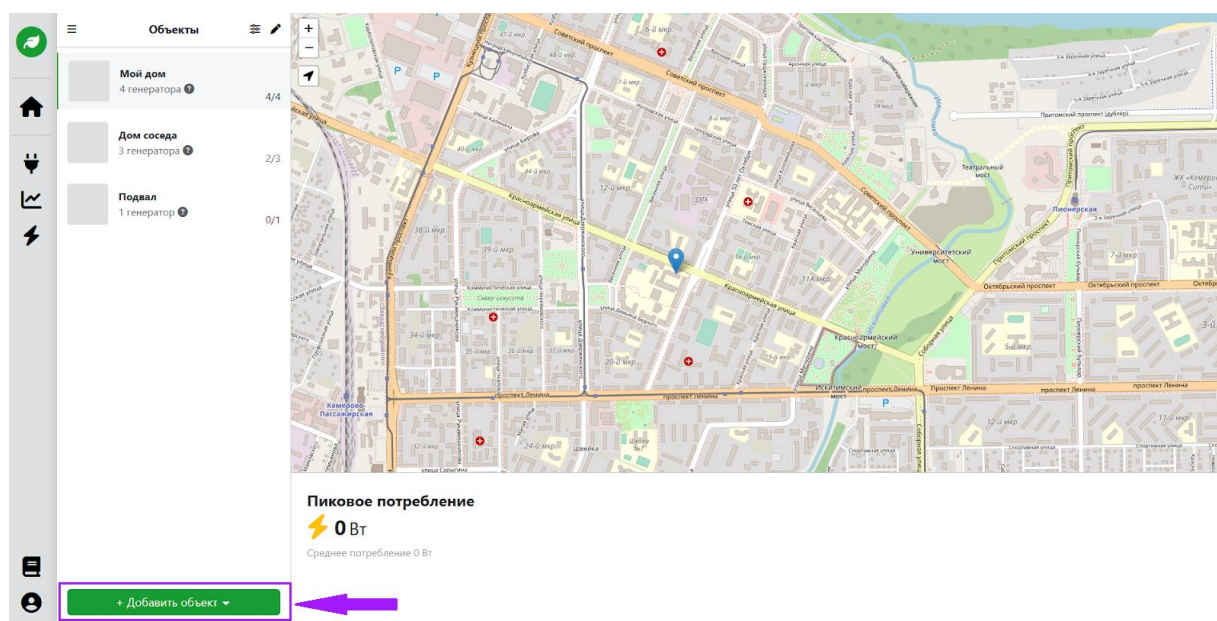


Рис. 2. Добавление объекта

Затем следует выбрать местоположение объекта на карте для того, чтобы сервис на его основе получил природные данные и спрогнозировал выработку генераторов для указанного места. Точка на карте ставится одиночным нажатием левой кнопкой мыши. При зажатии левой кнопки мыши появляется возможность перетаскивать карту. Вращая колесико мыши или нажимая на кнопки «+» и «-», возможно изменять масштаб карты. Нажав на кнопку со стрелкой в левом верхнем углу карты, произойдет определение местоположения пользователя посредством API браузера, и выполнится установка маркера в этом месте (см. рис. 3).

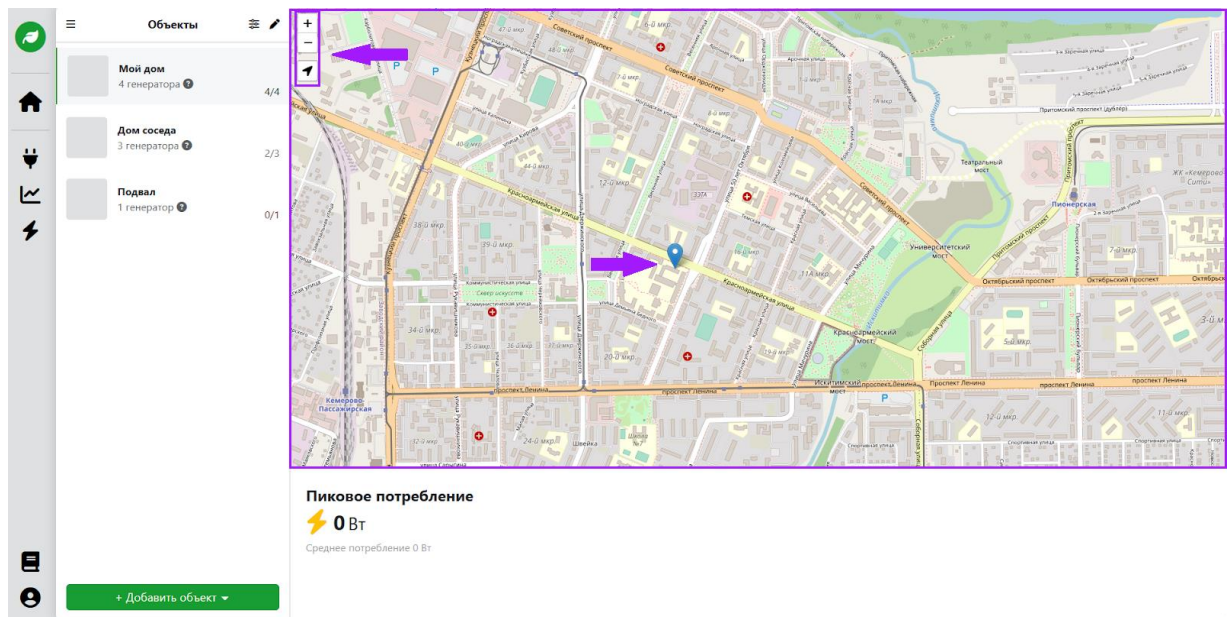


Рис. 3. Выбор точки на карте

Следующим шагом пользователю потребуется указать все потребители электроэнергии на объекте и их параметры для дальнейшего моделирования. Для начала нужно перейти на страницу с потребителями — нажать на кнопку с изображением силовой вилки в левой панели сайта (см. рис. 4).

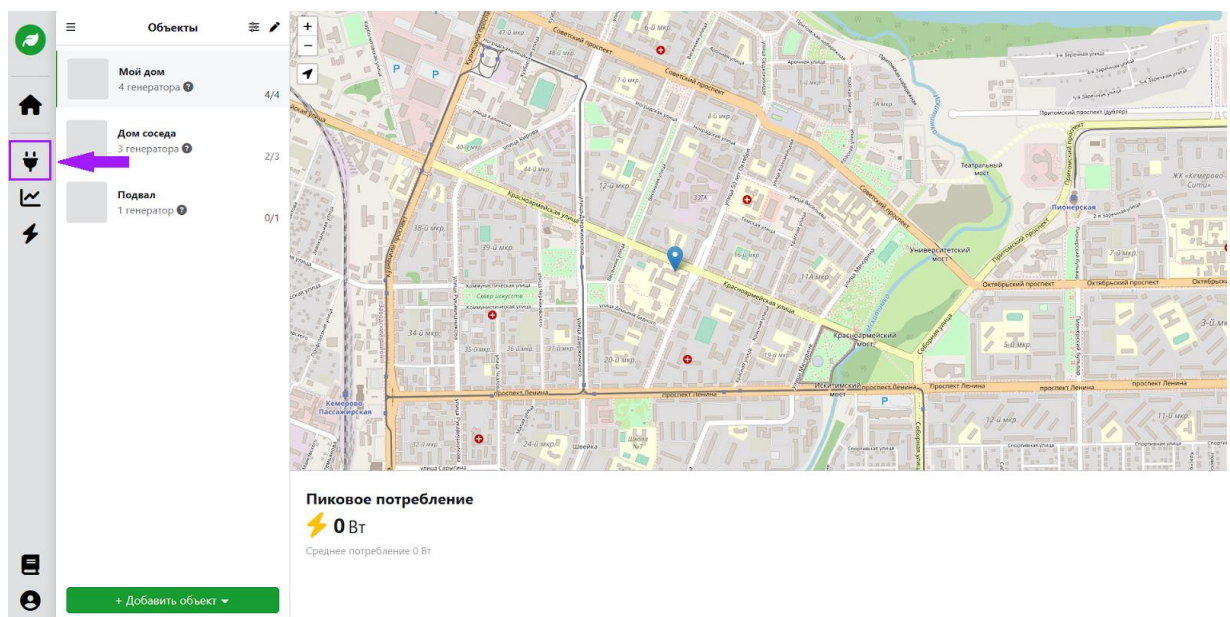


Рис. 4. Переход на страницу с потребителями

Для добавления потребителя нужно нажать на зеленую кнопку «Добавить потребитель» в левом нижнем углу страницы (см. рис. 5).

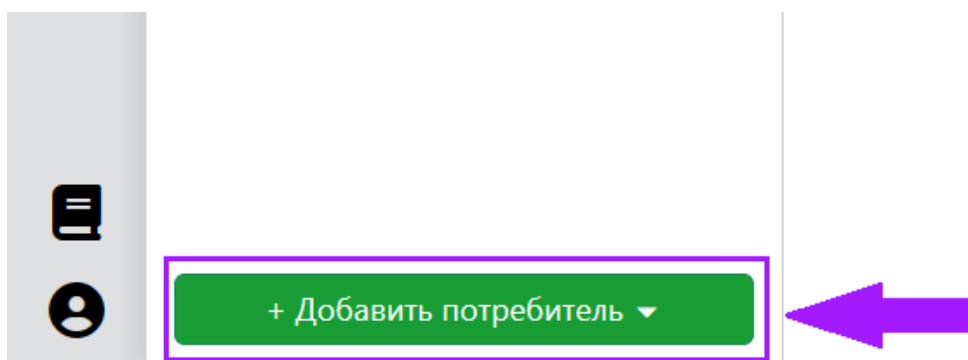


Рис. 5. Кнопка добавления потребителя

После чего произойдет переход на страницу добавления потребителя.

Процесс добавления потребителя сопровождается шагами (см. рис. 6):

1. Написать название потребителя вместо слов «Новый прибор» в левой верхней части страницы.
2. Выбрать категорию потребителя из списка с подписью «Категория» ниже. Список открывается одиночным нажатием левой кнопкой мыши, выбор происходит так же. Помимо этого, в списке присутствует функция поиска. Для того, чтобы ей воспользоваться, необходимо произвести одиночное нажатие левой кнопкой мыши по списку и начать набирать на клавиатуре название необходимой категории.
3. Аналогичным образом выбрать модель устройства из списка ниже.
4. Указать промежутки использования потребителя в течение недели, которые используются в качестве входных параметров алгоритма. Для указания промежутков использования используется редактируемая таблица, располагающаяся в основной части страницы. Синий квадрат означает, что потребитель используется в указанный час, а серый — не используется. При нажатии на любой из квадратов левой кнопкой мыши он изменит свой цвет. Зажатой левой кнопкой мыши, выделив несколько квадратов, они все приобретут цвет, противоположный изначальному цвету первого затронутого квадрата (см. рис. 7).
5. Для сохранения внесённых данных необходимо нажать на кнопку зелёного цвета под названием «Сохранить» в левом нижнем углу страницы, после чего произойдет сохранение данных и возврат на страницу с потребителями.



Рис. 6. Процесс добавления потребителя



Рис. 7. Страница с заполненными данными о потребителях

После внесения потребителей информация о них (название, модель, мощность) появятся в левой части страницы с потребителями, а при нажатии на потребитель в основной части страницы появится нередактируемая таблица с промежутками его использования, аналогичная по структуре той, что описана выше (см. рис. 8).



Рис. 8. Страница потребителей с одним внесённым потребителем

После выбора потребителей будут сгенерированы почасовые графики энергопотребления объекта на неделю. Для того, чтобы перейти на страницу с графиками потребления необходимо нажать на кнопку с изображением графика на левой панели (см. рис. 9).

В верхней части страницы располагается семь кнопок, каждая из которых отвечает за соответствующий день недели, начиная с понедельника. В основной части страницы отображается почасовой график энергопотребления выбранного объекта в выбранный день недели. По оси ординат расположено потребление в ваттах, по оси абсцисс — время суток.

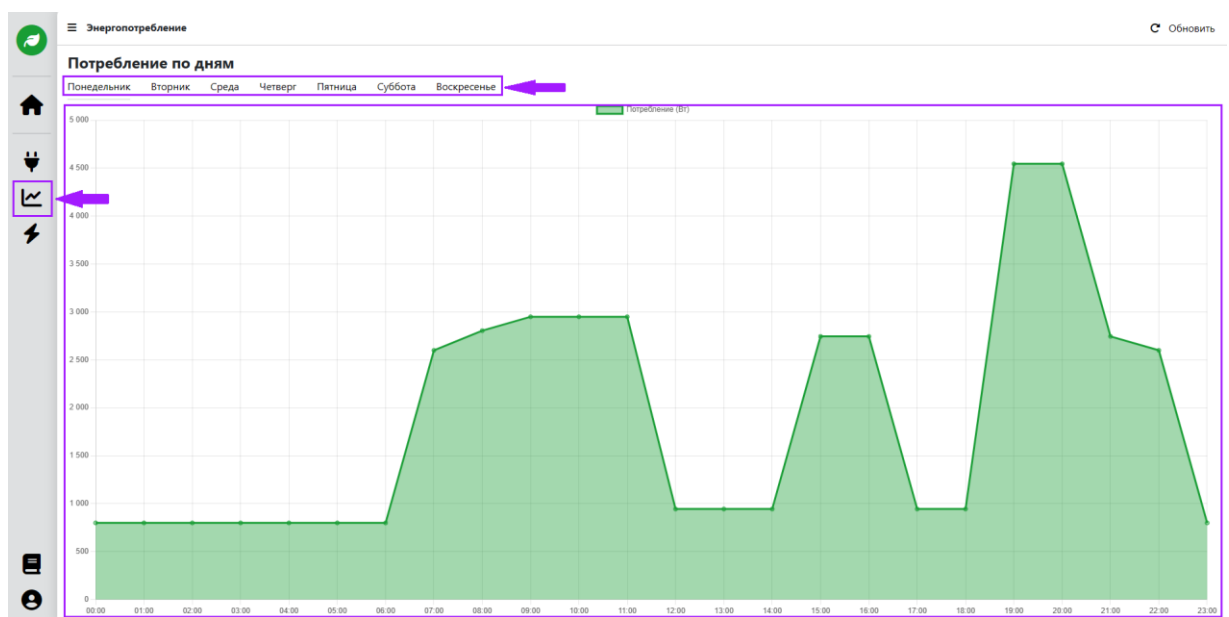


Рис. 9. Страница с графиками потребления

После указания электроприборов также произойдет расчет пикового и среднего потребления объекта (см. рис. 10). Данные отобразятся в нижней части главной страницы.

Пиковое потребление

4.55 кВт

Среднее потребление 1.07 кВт

Рис. 10. Отображение пикового и среднего потребления объекта

Аналогично электропотребителям произойдет расчет выработки оптимальной конфигурации генераторов на объекте в соответствии с алгоритмом. Для того, чтобы перейти на страницу с генераторами, необходимо нажать на кнопку с изображением молнии на левой панели (см. рис. 11).

В левой части страницы располагаются генераторы. Для каждого генератора указаны его модель, тип и количество. При нажатии на соответствующую запись в основной части страницы появится график его выработки. По оси абсцисс располагаются часы, по оси ординат — мощность (кВт).

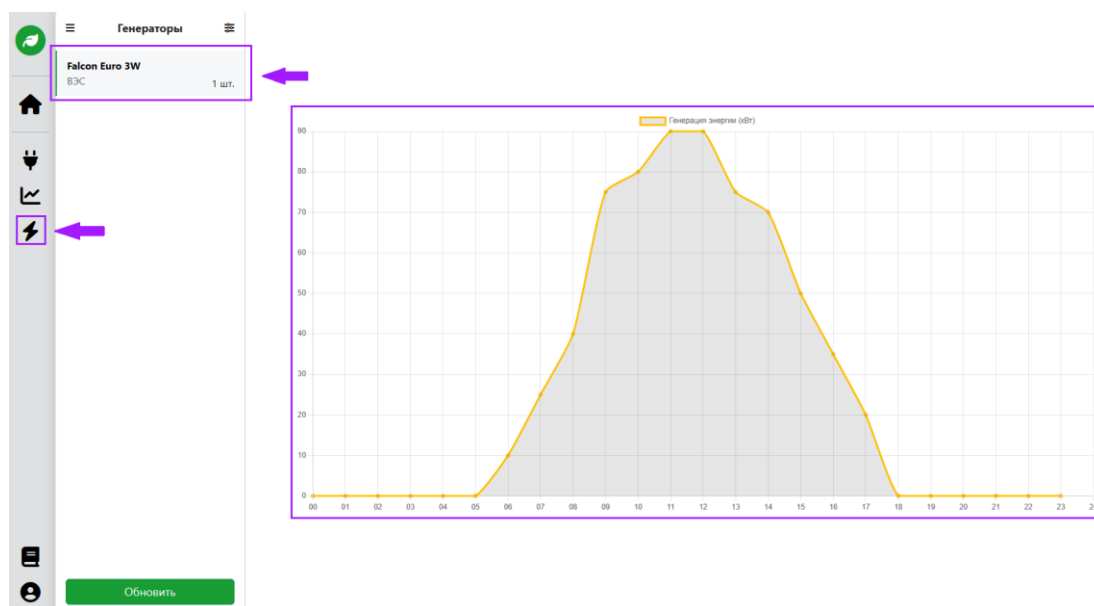


Рис. 11. Страница с графиком мощности солнечной панели

Заключение

В работе были представлены результаты анализа развития ключевых технологических трендов в электроэнергетике, а также описание разработанной методики и конечного потребительского продукта. Обзор отечественной и зарубежной литературы позволил выявить популярные направления распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии.

Также была подана заявка на получение свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ в виде программного комплекса, алгоритм работы которого приведён в главе 2. Планируется регистрация каждой части сервиса для упрощения заключения официальных договоров с юридическими лицами.

В качестве дальнейшего направления развития проекта может выступить детальная проработка методов оптимизации для расчета оптимальной и экономически эффективной конфигурации оборудования, распространение данного продукта в профессиональной среде, а также исследование факторов успешности работы систем на основе ВИЭ. Все цели и задачи, поставленные в начале работы, успешно выполнены.

Литература

1. Федеральный закон от 27.12.2019 № 471-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "Об электроэнергетике" в части развития микрогенерации" [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201912280019?index=1>
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 02.03.2021 № 299 "О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации в части определения особенностей правового регулирования отношений по функционированию объектов микрогенерации" [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202103060015>
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 30.06.2022 № 1178 "О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии к электрическим сетям и признании утратившими силу отдельных положений некоторых актов Правительства Российской Федерации" [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202207010048>
4. Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4IgsApssm6mZRb7wx.pdf>
5. Климовец О.В., Зубакин В.А. (2016). Методы оценки эффективности инвестиций в собственную генерацию в условиях риска. Эффективное антикризисное управление. Стратегические решения и риск-менеджмент. 2016;(2):78-84 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://doi.org/10.17747/2078-8886-2016-2-78-84>
6. Архитектура Интернета энергии IDEA (2021). М.: Инфраструктурный центр EnergyNet [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://drive.google.com/file/d/13JM0NIY4jUXOP6Mv4irjb2k77bK60p-Q/view>
7. Современная энергетика (Sochi Sirius) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [Современная энергетика \(sochisirius.ru\)](http://sochisirius.ru)
8. Anne Migan-Dubois, Jordi Badosa, Fausto Calderón Obaldía, Olivier Atlan, Vincent Bourdin, et al.. Step-by-step evaluation of photovoltaic module performance related to outdoor parameters: evaluation of the uncertainty. 44th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (IEEE-PVSC), Jun 2017, Washington, United States. pp.626-631, (10.1109/PVSC.2017.8366615). (hal-01630076)
9. ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СТРАТЕГИЯ Российской Федерации на период до 2035 года [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [w4sigFOiDjGVDYT4IgsApssm6mZRb7wx.pdf \(government.ru\)](http://w4sigFOiDjGVDYT4IgsApssm6mZRb7wx.pdf)

10. IRENA (2020), Renewable Energy Statistics 2020 The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
11. Четвертая промышленная революция / К. Шваб — «Эксмо», 2016 — (Top Business Awards) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [Четвертая промышленная революция \(rsvpu.ru\)](http://rsvpu.ru)
12. 6 Perspectives for the energy investment needs for a low-carbon energy system about the IEA (2017). International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/investment-needs-for-a-low-carbon-energy-system>.
13. Кузьмин П.С. (2019). Неинтрузивный мониторинг нагрузки: эффекты внедрения и перспективы распространения. Стратегические решения и риск-менеджмент, 10(4): 306-319. DOI: <https://doi.org/10.17747/2618-947X-2019-4-306-3>