

Университет Правительства Москвы
VIII Конкурс исследовательских и проектных работ обучающихся
образовательных
организаций города Москвы и Московской области
«Мегаполис XXI века - город для жизни» в 2024/2025 учебном году Конкурсная работа
На тему: «Зеленый» транспортный комплекс будущего»

Выполнена:

учащимися 10 А класса

ГБОУ Школы №2045 им. Героя Российской Федерации

Д. А. Разумовского

Плякиным Егором Евгеньевичем

Подпись

Искриным Артёмом Владиславовичем

Подпись

Могучевым Артёмом Олеговичем

Подпись

Научные руководители работы:

Кузнецова Людмила Валерьевна,

Панченко Владимир Анатольевич

Руководитель учебного корпуса 2011 ГБОУ Школы №2045

им. Героя

Российской Федерации Д. А. Разумовского,

Рыкова Татьяна Михайловна

Подпись



Москва

2024-2025

ДЕПАРТАМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ ГОРОДА МОСКВЫ

Государственное бюджетное общеобразовательное учреждение города Москвы

«Школа № 2045 имени Героя Российской Федерации Д. А. Разумовского»

Зеленоград, корпус 2011, Москва, 124365

Телефон (499) 210-0771 E-mail: 2045@edu.mos.ru <http://www.sch2045zg.mskobr.ru> ОКПО
14172644, ОГРН 1127747118025, ИНН/КПП 7735589106/773501001

Отзыв

на проектную работу

по теме «Зелёный транспортный комплекс будущего»

учащихся 10 А класса ГБОУ Школы №2045 им. Героя Российской Федерации

Д. А. Разумовского

Плякина Егора Евгеньевича,

Могучева Артёма Олеговича,

Искрина Артёма Владиславовича.

Представленный проект выполнялся на базах нескольких образовательных организаций - ГБОУ Школа №2045 им. Героя Российской Федерации Д. А. Разумовского и Российского университета транспорта (МИИТ). Тематика проекта актуальная и представляет интерес, работа выполнена на достаточном уровне, который предъявляется к работам подобного рода. Формулировки цели и задач работы точные и достаточные, задачи, поставленные в работе, выполнены в полном объеме, выбранные методы исследования и использованное оборудование целесообразны и уместны для решения поставленных задач. Тема работы раскрыта в полном объеме, также авторами планируется дальнейшие исследования, которые указаны в проекте. Представленная работа несет практическую значимость для дальнейшего внедрения полученных результатов в соответствующих областях экономики. Тема и содержание работы соответствуют указанному уровню общего образования.

Представленная работа состоит из введения, где рассмотрено современное состояние рассматриваемой тематики работы и проблематика, которую планируется авторами решить. Описана актуальность представленной работы, указаны аналоги программного обеспечения, определена цель и поставлены задачи, которые планируется решить. Приведены гипотеза, методы и инструменты, указано место и сроки выполнения работы, представлена комплектация и принцип работы проекта. Также в работе указаны достоинства и недостатки, приведено руководство по его эксплуатации. Оформление текстовой и графической частей работы выполнены в соответствии с требованиями. В заключении работы представлены результаты и обсуждения, направление дальнейших исследований, выводы и список используемой литературы,

объем и содержание которого достаточны для информационного и справочного сопровождения проекта.

В целом, на основе вышеизложенного, представленная работа на достаточно высоком уровне и соответствует требованиям, которые предъявляются к подобного рода работам, а также заслуживает высокой оценки на конкурсе исследовательских и проектных работ, обучающихся образовательных организаций города Москвы и Московской области.

Руководитель проекта,
учитель физики высшей категории
куратор проектного офиса
«Инженерный класс в Московской школе»



Кузнецова Л. В.

Оглавление

1.	Введение.....	3
2.	Основная часть.....	8
	2.1. Актуальность.....	8
	2.2. Аналогии.....	10
	2.3. Цель.....	12
	2.4. Задачи.....	13
	2.5. Гипотеза.....	14
	2.6. Методы и инструменты.....	14
	2.7. Место и сроки выполнения работы.....	15
	2.8. Комплектация.....	15
	2.9. Принцип работы.....	17
	2.10. Создание и сборка компонентов макета.....	25
	2.11. Достоинства и недостатки.....	47
	2.12. Руководство по эксплуатации.....	49
3.	Результаты и обсуждение.....	51
4.	Направления дальнейших исследований.....	52
5.	Выводы.....	53
6.	Список используемой литературы.....	54

1. Введение.

Транспортная отрасль на сегодня является очень энергоёмкой отраслью [1], когда ископаемое топливо (бензин, дизель, природный газ) сгорает в двигателях внутреннего сгорания средств передвижения и инфраструктурных объектах в огромных масштабах. Выхлопные газы, получаемые в процессе транспортировки пассажиров и грузов, представляют собой серьёзную экологическую опасность и негативно влияют как на природу, так и на здоровье людей [2]. В то же время транспорт производит и шумовое загрязнение, наряду с экологическим [3].

Казалось бы, электротранспорт [4] мог бы отчасти решить проблему вредных выбросов в атмосферу, когда тенденции роста количества электротранспорта заметны в современном мире (рисунок 1) [5, 6], однако электрическая энергия, получаемая на электростанциях, предназначенная для электротранспорта, зачастую производится с помощью того же самого ископаемого топлива [7].

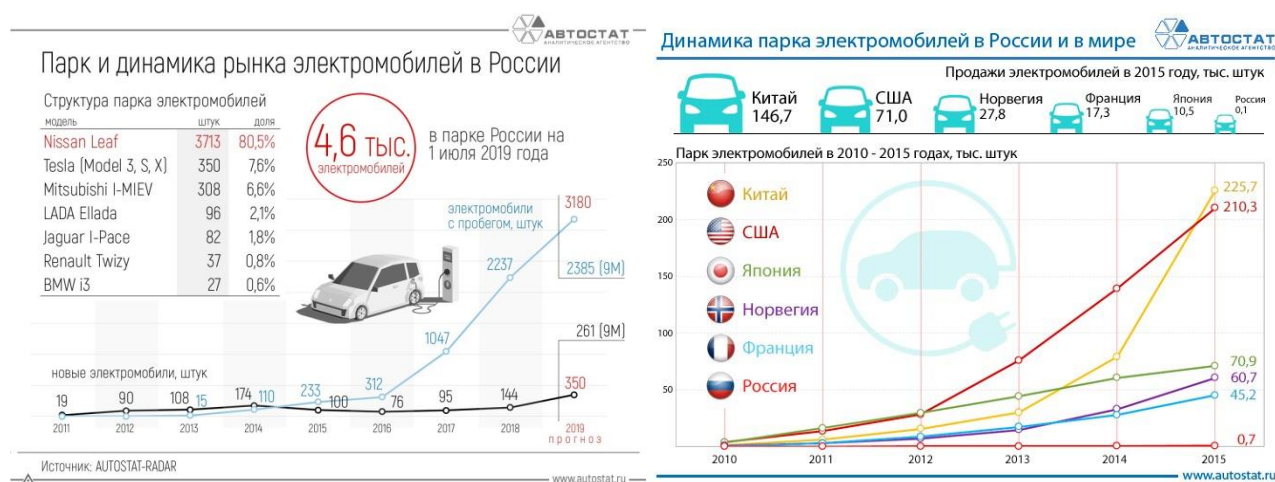


Рисунок 1. Тенденции роста рынка электромобилей в России [5] и в мире [6].

Наряду с частным электротранспортом, общественный транспорт в последнее время также активно переводится на экологичные виды топлива - яркие примеры тому электробус [8], водородный автобус [9, 10], и водородный поезд [11] (рисунок 2)



Рисунок 2. Электробус [8] (слева), водоробус [10] (посередине) и водородный поезд [11] (справа).

Использование подобного общественного транспорта позволит уменьшить как экологическое загрязнение окружающей среды, где обитают миллионы людей, так и шумовое загрязнение городов, что очень сильно влияет на психическое и эмоциональное состояние жителей мегаполисов. В то же время, при определённых условиях подобный электрический общественный транспорт может окупаться быстрее, нежели транспорт с двигателями внутреннего сгорания, когда это особенно заметно в общественном транспорте при больших ежедневных преодолеваемых транспортом расстояниях.

Вопрос энергоэффективности жилых зданий, промышленных строений, инфраструктурных объектов на сегодня является очень важным, так как большие средства тратятся на электро- и теплоснабжения этих сооружений, что влияет как на бюджет отдельной семьи, так и на экономику предприятия, расход бюджета страны. Экономии электричества и тепловой энергии можно добиться различными путями - заменой ресурсоёмкого оборудования на более эффективное, уменьшением энергопотребления за счёт контроля работы приборов и устройств, а также с помощью так называемой «местной», «распределённой» локальной генерации [12], когда используются источники энергии, доступные в регионе - возобновляемые источники энергии помогают вырабатывать энергию при такой генерации [13]. Преобразователи солнечной [14] и ветряной энергии [15] позволяют вырабатывать электроэнергию на собственные нужды различных предприятий, благодаря внедрению в конструкцию строений или размещению солнечных модулей [16] и ветрогенераторов [17] рядом со зданиями.

Транспорт на сегодня является неотъемлемой частью жизни каждого человека. Необходимость его использования обуславливается потребностью в постоянном перемещении как городских жителей и жителей регионов, так и циклическом перемещении различных товаров и грузов, необходимых для нормальной жизнедеятельности населения и бизнеса. Инфраструктурные объекты транспортной области также являются потребителями большого количества электрической и тепловой энергии [18], что открывает перспективы для внедрения энергоэффективных решений в отрасли и создания различных энергоактивных зданий и строений [19], позволяющих вырабатывать энергии больше, чем они потребляют (рисунок 3) [20, 21].



Рисунок 3. Энергоактивные здания с установленными преобразователями солнечной и ветряной энергии [20, 21].

Добиться такого энергобаланса возможно с помощью использования солнечных модулей различной конструкции и ветрогенераторов, приспособленных к использованию в соответствующей застройке. Тенденция внедрения подобных устройств из года в год набирает обороты, чему способствует ежегодное уменьшение стоимости подобных преобразователей (рисунок 4) [22, 23], стоимость которых продолжает снижаться.

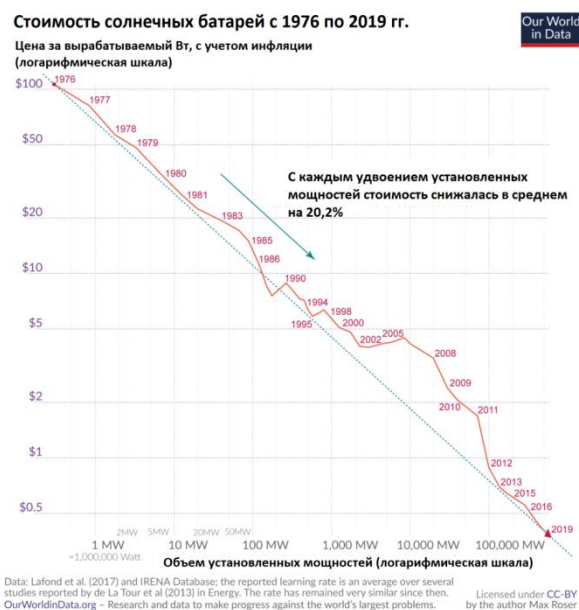


График
Средняя рыночная цена ветрогенераторов (в долларах США на мегаватт мощности)



Рисунок 4. Стоимость установленной мощности 1 Вт солнечных модулей (слева) [22] и ветряных турбин (справа) [23].

Подобному стабильному снижению стоимости преобразователей возобновляемой энергии способствует совершенствование технологий производства и инвестирование значительных сумм во всём мире в исследование, разработку и производство подобного рода преобразователей.

Рост вводимой мощности солнечных и ветряных электростанций растёт из года в год, как и эффективность преобразования возобновляемой энергии (рисунок 5) [24, 25], что говорит о целесообразности использования преобразователей солнечной и ветряной энергии, а также экономической эффективности их использования.

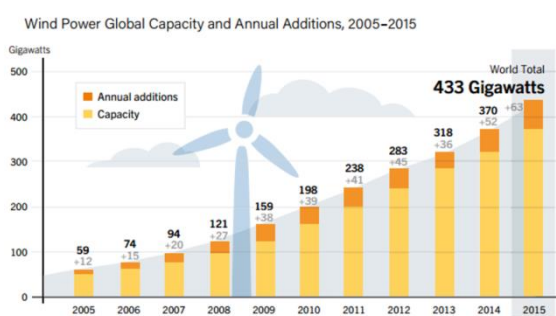
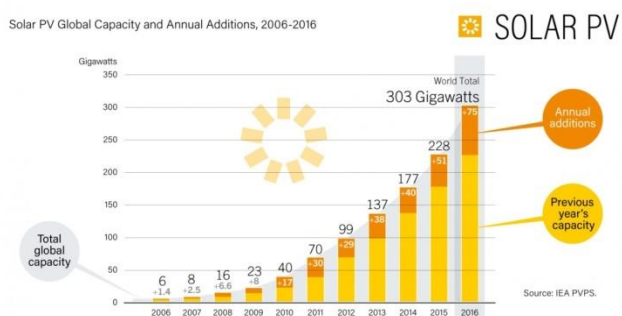


Рисунок 5. Ежегодная тенденция увеличения ввода в эксплуатацию фотоэлектрических [24] (слева) и ветряных станций [25] (справа).

В удалённых инфраструктурных объектах транспорта, где постоянно централизованного электроснабжение не обеспечивается по тем или иным

причинам, подобные преобразователи возобновляемых источников энергии могут стать автономным источником энергии или же дополнить централизованную сеть, что позволит экономить средства на электроэнергию, тариф на которую из года в год увеличивается на внушительные проценты (рисунок 6) [26].

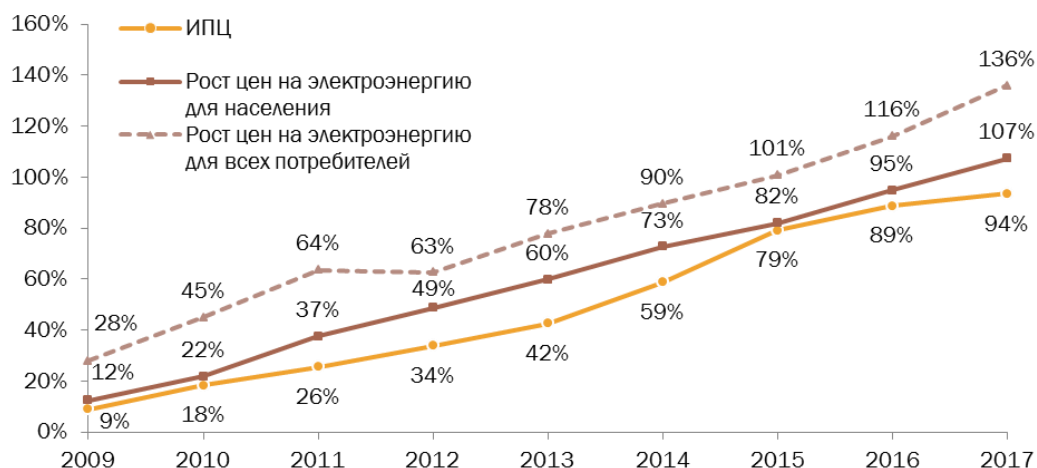


Рисунок 6. Ежегодный рост цен на электрическую энергию [26].

Также, внедрение преобразователей солнечной и ветряной энергии в инфраструктурных объектах транспорта поможет улучшить имидж транспорта, так как на сегодня он связан как с экологическим загрязнением окружающей среды [27], так и шумовым загрязнением [28] от работы двигателей внутреннего сгорания. Такие проекты будут примером устойчивого развития и применению «зелёных» технологий в транспорте. Строения инфраструктурных объектов транспорта станут, таким образом, энергоактивными зданиями — зданиями, которые спроектированы для эффективного использования энергетического потенциала внешней среды, когда есть возможность частично или полностью (автономное энергоснабжение) производить энергообеспечение с помощью различных мероприятий и технических решений, в том числе и с использованием преобразователей возобновляемой энергии (солнечные модули, ветрогенераторы и т.п.) [29].

Инфраструктурные объекты транспорта располагаются на всей территории Российской Федерации и, в то же время, большая часть территории

Российской Федерации обладает большим потенциалом использования солнечной энергии [30], где в южных районах длительность солнечного излучения составляет от 2000 до 3000 часов в год, а годовой приход солнечной энергии на горизонтальную поверхность составляет от 1280 до 1870 кВт·час на 1 м² [31]. Солнечная энергия может быть использована в быту, в космосе и авиации, для освещения участков частных домов или городских улиц, автономном и параллельном с существующей электросетью электроснабжении [32], когда внедрение преобразователей солнечной энергии будет целесообразным и в транспортных объектах. Для подобных технических решений целесообразно использование солнечных модулей с увеличенной эффективностью и сроком службы 40-50 лет [33], которые обеспечат выработку номинальной мощности дольше, чем стандартные модули, изготовленные по технологии ламинирования [34]. В то же время, диапазон температур, при которых такие модули стабильно работают и не деградируют, больше, чем у стандартных заламинированных модулей, что немаловажно, так как объекты транспорта располагаются в зонах с экстремальными температурами. Однако в пасмурные дни и ночное время для компенсации малого прихода солнечной энергии также целесообразно использование ветрогенераторов, что позволит использовать не только энергию Солнца, но и энергию ветра.

2. Основная часть.

2.1. Актуальность.

Исходя из вышеперечисленных мировых тенденций, проектирование и создание инфраструктурных объектов транспорта с преобразователями возобновляемой энергии, позволит вырабатывать «чистую», «зелёную» энергию транспортными объектами, которая будет использоваться этими объектами как на внутреннее потребление (заправки, вокзалы, станции, аэропорты и т.п.), так и использоваться общественным электрическим транспортом для его электроснабжения (электropоезда, электроавтобусы, электросамолёты), в том числе и водородного (водородные электropоезда, водородные электроавтобусы, водородные электросамолёты, водородные

дирижабли, водородные беспилотные летательные аппараты). В то же время, пассажиры вокзала или аэропорта при парковке своего электрического транспорта на расположенных рядом с вокзалами, аэропортами или станциями электрическими заправками, также смогут зарядить свой электротранспорт, которым может быть как автомобиль, так и средство индивидуальной мобильности [35]. Такие заправки могут быть как электрическими аккумуляторными, так и водородными [36], когда «зелёный» водород [37] для заправки транспорта будет производиться с помощью электролиза воды [38], электричество для которого будет вырабатываться от солнечных модулей и ветрогенераторов (рисунок 7) [39]. В то же время «зелёный» водород мог бы использоваться как для электротранспорта с топливными ячейками [40], так и для транспорта с двигателями внутреннего сгорания.



Рисунок 7. Технологии производства водорода [39].

Для уменьшения скорости заправки, увеличения запаса хода и уменьшения веса транспорта, вместо аккумуляторных батарей и прямого заряда электрическим током, целесообразнее использовать заправку водородом, когда заправка транспорта будет производиться на парковочном месте, защищённом от негативного воздействия солнечного излучения, ветра и осадков, а сама защитная конструкция станции является одновременно местом установки преобразователей солнечной и ветряной энергии.

Подобное комплексное решение, когда транспортный комплекс включает в себя генерацию энергии как для своих нужд, так и нужд общественного

транспорта, а также является перехватывающей парковкой электрического и водородного транспорта, в том числе и средств индивидуальной мобильности, будет являться перспективным симбиозом технологий возобновляемой энергетики и современной транспортной отрасли.

Использование в подобных энергоактивных строениях кроме преобразователей солнечной энергии ещё и ветрогенераторов позволит свести к минимуму периоды отсутствия выработки электроэнергии. Использование тихоходных вертикально-осевых ветрогенераторов [41] позволит вырабатывать электроэнергию даже при малых скоростях ветра, а использование солнечных модулей с увеличенной эффективностью и сроком службы 40-50 лет повысит экономическую эффективность и привлекательность подобных проектов. Предложенные технические решения позволят не только производить автономное электроснабжение инфраструктурных объектов, но и также экономить средства при параллельной с сетью работой, продавая в централизованную сеть вырабатываемую электроэнергию, будет согласовываться с глобальным энергопереходом [42], быть примером «зелёного» и устойчивого будущего, а также уменьшать выбросы углекислого газа, благодаря уменьшению использования ископаемого топлива.

Таким образом, основываясь на вышеизложенном, видна целесообразность создания и широкого внедрения электрического транспорта и инфраструктурных объектов на базе аккумуляторных и водородных технологий, когда инфраструктурные объекты (заправки, вокзалы, аэропорты и т.п.) будут являться местами установки преобразователей солнечной и ветряной энергии, которые будут вырабатывать электрическую энергию для работы транспорта.

2.2. Аналогии.

В качестве аналогов предлагаемого «зелёного» транспортного комплекса представлены обычный транспортный комплекс, транспортный комплекс со стоянкой электротранспорта и транспортный комплекс со стоянкой водородного транспорта, когда те или иные системы имеют как положительные

отличия, так и негативные. Сравнение основных параметров предложенных систем представлено в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение различных транспортных комплексов.

Параметр / система	Обычный трансп. комплекс	Трансп. комплекс со стоянкой электро-транспорта	Трансп. комплекс со стоянкой водородного транспорта	«Зелёный» трансп. комплекс
Экологичность и тишина транспортных средств	нет	есть	есть	есть
Использование «солнечных» и водородных летательных аппаратов	нет	нет	нет	есть
Использование «солнечного» и водородного железнодорож. транспорта	нет	нет	нет	есть
Скорость заправки	нет	медленная	быстрая	быстрая
Автономность работы при отключении электроэнергии	нет	нет	нет	есть
Выбросы углекислого газа	есть	есть	есть	нет
Возможность производства промышленных газов (водород, кислород)	нет	нет	есть	есть
Экологичность производства топлива	нет	нет	есть	есть
Пропаганда «зелёной» энергетики	нет	есть	есть	есть
Устойчивое развитие и глобальный энергопереход	нет	есть	есть	есть
Продажа электроэнергии в сеть	нет	есть	есть	есть
Возможность использования ВИЭ	нет	есть	есть	есть

География использования	широкая	средняя	средняя	средняя
Образование и просвещение молодёжи	нет	есть	есть	есть
Привлечение экологических туристов	нет	есть	есть	есть
Использование заменённых аккумуляторов от электротранспорта	нет	есть	нет	есть
Защищённая парковка от Солнца, осадков и ветра	нет	есть	есть	есть
Энергоактивное здание	нет	есть	есть	есть
Начальные вложения	средние	высокие	высокие	высокие (в зависимости и от региона)

Исходя из представленной таблицы, можно сделать вывод, что «зелёный» транспортный комплекс включает в себя все положительные параметры аналогов, связанные с экологичностью, однако начальные вложения для реализации подобного комплекса высокие, но в то же время продажа электрической энергии в централизованную сеть, а также продажа электроэнергии и водорода на заправочных станциях обеспечит более быструю окупаемость проекта. Регионы внедрения предложенного «зелёного» транспортного комплекса целесообразно выбирать более южные, солнечные и ветреные, с туристической направленностью, тогда как инфраструктурные объекты такого комплекса сами вырабатывают электрическую энергию, когда внимания и обслуживания от обслуживающего персонала требуют минимум.

2.3. Цель.

Целью представленного проекта является разработка и изготовление макета-прототипа «зелёного» транспортного комплекса с преобразователями солнечной и ветряной энергии на базе аккумуляторных и водородных технологий, которые устанавливаются непосредственно на конструктивные

элементы зданий аэропорта, вокзала и парковочные места с автономной генерацией электроэнергии и «зелёного» водорода для заправки наземного и воздушного электротранспорта.

2.4. Задачи.

Для достижения поставленной цели должны быть решены следующие задачи:

1. Определение комплектации и схемы разрабатываемого макета «зелёного» транспортного комплекса на основе возобновляемых источников энергии и на базе аккумуляторных и водородных технологий.
2. Изучение устройства, принципа работы солнечного модуля и ветрогенератора, а также применение их в макете.
3. Изучение устройства и принципа работы электротранспорта, светодиодного освещения, контроллера заряда, аккумуляторной батареи и инвертора, водородного электротранспорта, электролизёра и топливной ячейки, а также применение их в прототипе.
4. Изучение систем автоматизированного проектирования.
5. Создание трёхмерной моделей транспортного комплекса, преобразователей возобновляемой энергии и инфраструктурных объектов.
6. Изучение среды программирования Arduino IDE.
7. Изучение электронных компонентов и сред программирования для создания программы и сайта мониторинга энергопотребления транспортного комплекса.
8. Изучение программы-слайсера 3D принтера.
9. Создание трёхмерных моделей преобразователей возобновляемой энергии.
10. Изучение технологии послойного наплавления полимерного материала с целью создания твердотельных прототипов с помощью 3D принтера.
11. Изготовление макета транспортного комплекса, преобразователей возобновляемой энергии и инфраструктурных объектов с помощью послойного наплавления термопластика.

12. Создание программы и сайта для управления оборудованием транспортного комплекса.
13. Итоговая сборка компонентов транспортного комплекса в разработанный прототип.
14. Описание конструкции, принципа работы, а также руководства по эксплуатации разработанного макета-прототипа «зелёного» транспортного комплекса.
15. Определение основных достоинств и недостатков разработанного макета «зелёного» транспортного комплекса, а также направлений для его дальнейшего совершенствования.

2.5. Гипотеза.

Разрабатываемый прототип «зелёного» транспортного комплекса с преобразователями солнечной и ветряной энергии на базе аккумуляторных и водородных технологий, которые устанавливаются непосредственно на конструктивные элементы здания аэропорта, вокзала, а также парковочные места с автономной генерацией электроэнергии и «зелёного» водорода, позволит производить автономное или параллельное с существующей сетью электроснабжение зданий комплекса, а также заправку наземного и воздушного электротранспорта.

2.6. Методы и инструменты.

В процессе выполнения проекта использовались: принцип работы фотоэлектрических преобразователей, который основан на фотоэффекте, с помощью которого вырабатывается электрический ток; принцип работы ветрогенератора, принцип которого основан на преобразовании кинетической энергии ветра в механическую энергию ротора с преобразованием её в электроэнергию, водородного электротранспорта, электролизёра и топливной ячейки; метод трёхмерного моделирования в системе автоматизированного проектирования для создания трёхмерных моделей прототипа; методы программирования микроэлектроники на базе языка оболочки Arduino; методы программирования электронных компонентов и среды программирования для

создания программы и сайта мониторинга; метод твердотельного прототипирования с помощью аддитивных технологий на 3D принтере для изготовления компонентов прототипа; принципы и инструменты для сборки электронных компонентов.

2.7. Место и сроки выполнения работы.

Основные работы в ходе выполнения рассматриваемого проекта выполнялись в период с сентября 2024 г. по февраль 2025 г. Работы проводились на территории и с помощью оборудования школы № 2045, а также частично на территории и с помощью оборудования «Российского университета транспорта (МИИТ)» и «Федерального научного агроинженерного центра ВИМ».

2.8. Комплектация.

В комплектацию макета-прототипа входят пластиковые макеты аэропорта, вокзала и заправки, на которые крепятся солнечные модули различной конструкции, соединяемые с помощью соединительных проводов и шин, а также ветрогенераторы вертикально-осевой конструкции с генераторами постоянного тока, с помощью которых происходит заряд аккумуляторной батареи и электролиз воды для выработки водорода. Также предусмотрены другие макеты инфраструктурных объектов для демонстрации общей концепции «зелёного» транспортного комплекса. Аккумуляторная батарея заряжается через контроллер постоянного тока и может питать нагрузку как постоянного тока, так и переменного тока с помощью инвертора электрического тока. В качестве примеров нагрузки макета-прототипа представлено осветительное оборудование, двигатель постоянного тока, динамик, дисплей, питаемые от постоянного тока и различные электроприборы, питаемые от переменного тока. Также в состав макета входят различные платы и микроконтроллеры, которые обеспечивают мониторинг выработки электроэнергии для отображения баланса выработки и потребления на сайте с помощью разработанной программы. В таблице 2 представлены компоненты и их стоимость в макете-прототипе.

Таблица 2. Компоненты и их стоимость в макете-прототипе.

Компонент	Количество, шт.	Стоимость в прототипе, руб.
Макет вокзала	1	700
Макет аэропорта	1	900
Макеты самолётов	9	300
Макеты дирижаблей	2	100
Макет квадрокоптера	1	50
Макеты складов	4	200
Макет ангара	1	100
Макеты ёмкостей для водорода	4	200
Солнечные модули различной конструкции	53	1500
Ветрогенератор	28	1400
Комплект соединительных проводов и шин	1	600
Плата Arduino	1	500
Плата Wemos D1 mini	1	300
Плата esp8266	1	300
Датчик температуры и влажности dh11	1	200
Сервопривод	1	200
Дисплей	1	300
Динамик	1	100
Вентилятор	1	100
Потребители постоянного тока	5	500
Набор радиоэлектронных компонентов	1	400
Осветительные приборы	1	500
Контроллер постоянного тока	1	900
Аккумуляторная батарея	1	2800
Инвертор	1	3500
Итого:		16950

В таблице 2 представлены основные компоненты, из которых состоит макет, где однотипные устройства объединены в одну группу, а различные типы фотоэлектрических преобразователей также объединены. При масштабировании макета и реализации на объекте стоимость будет увеличиваться соответственно необходимой мощности вырабатываемой и потребляемой электроэнергии. Также в таблице не указаны теплофотоэлектрические и тепловые солнечные модули, которые

предусмотрены для установки в транспортном комплексе для одновременной выработки электрической и тепловой энергии.

2.9. Принцип работы.

Электроснабжение макета-прототипа «зелёного» транспортного комплекса происходит с помощью преобразователей солнечной энергии различных типов (фотоэлектрический, теплофотоэлектрический и тепловой) и ветряной энергии. В качестве преобразователей солнечной энергии представлены несколько типов солнечных модулей, которые выполнены в форме сайдинг-панелей [43], которые устанавливаются на стены здания аэропорта и вокзала и позволяют вырабатывать электрическую и тепловую энергию (рисунок 8) [44]. Вертикальное расположение сайдинг-панелей обеспечит максимальную выработку в дни низкого солнцестояния и обеспечит скатывание снега в зимний период, а также пыли в летний период. Использование в конструкции солнечных модулей с фотоэлектрическими преобразователями полисилоксанового компаунда увеличивает электрическую эффективность и срок службы фотоэлектрических преобразователей [45]. Размеры солнечных модулей различных конструкций в виде сайдинг-панелей одинаковы и составляют $0,8 \text{ м} \times 0,8 \text{ м}$, а мощность фотоэлектрического модуля около 130 Вт, теплофотоэлектрического около 120 Вт электрической мощности и около 300 Вт тепловой мощности, тогда как мощность теплового модуля составляет около 400 Вт. При увеличении площади сайдинг-панелей их мощность растёт пропорционально.



Рисунок 8. Фотоэлектрический (слева), теплофотоэлектрический (посередине) и тепловой (справа) солнечные модули [44].

Электрическая эффективность фотоэлектрических преобразователей будет достигать 20%, а светопропускающая конструкция будет целесообразна

для установки над платформами вокзала (рисунок 9 слева) [45]. Также на поверхностях навесов платформ целесообразно устанавливать гибкие солнечные модули с утолщённым лицевым слоем (рисунок 9 справа).



Рисунок 9. Светопропускающие фотоэлектрические модули жёсткой (слева) и гибкой (справа) конструкции [45].

На крышах зданий заправок, вокзала и аэропорта также устанавливаются ветрогенераторы вертикально-осевой конструкции, которая обеспечивает работу даже при малых скоростях ветра и относительно безопасна для птиц (рисунок 10) [46, 47], тогда как мощность ветрогенератора составит около 1 кВт каждый.



Рисунок 10. Ветрогенераторы вертикально-осевой конструкции [46, 47].

На крышах платформ вокзала также устанавливаются фотоэлектрические модули и ветрогенераторы вертикально-осевой конструкции, что позволит обеспечивать электрической энергией как потребителей внутри вокзала, так и электропоезда, находящиеся на путях вокзала, заряжать их аккумуляторы при аккумуляторной конструкции поезда и водородом при использовании топливных ячеек [48] в конструкции.

Вырабатываемая электрическая энергия аэропортом с помощью преобразователей солнечной и ветряной энергии будет использоваться потребителями электроэнергии постоянного и переменного тока с помощью контроллера заряда и инвертора электрического тока. В то же время, вырабатываемая электрическая энергия будет использоваться на электролиз воды с дальнейшим получением «зелёного» водорода, который, в свою очередь, будем заправлять солнечно-водородные дирижабли/аэростаты (рисунок 11 слева) [49], солнечно-водородные самолёты/парапланы (рисунок 11 посередине) [50], солнечно-водородные беспилотные летательные аппараты/квадрокоптеры (рисунок 11 справа) [51].



Рисунок 11. Солнечно-водородный дирижабль/аэростат (слева) [49], солнечно-водородный самолёт/параплан (посередине) [50] и солнечно-водородный беспилотный летательный аппарат/квадрокоптер (справа) [51].

Летательные аппараты аэропорта также будут снабжены солнечными модулями для обеспечения заряда аккумуляторной батареи на борту и электролиза воды для получения водорода на борту, что будет обеспечивать автономное питание электродвигателей. Подобные летательные аппараты на сегодня особо актуальны для метеорологических, мониторинговых, информационных, коммуникационных, транспортных, военных целей и т.п., где автономные летательные аппараты с продолжительным временем полёта очень востребованы.

Предусмотренный в электрической системе макета-прототипа контроллер постоянного тока, обеспечит оптимальный режим заряда аккумуляторной батареи от преобразователей солнечной и ветряной энергии, а также позволит производить электроснабжение электроустройств, питаемых от постоянного

тока, например, светодиодного освещения, двигателей постоянного тока, дисплеев, вентиляторов, динамиков и т.п.. Устройства, питаемые от переменного тока, обеспечиваются электроэнергией через инвертор электрического тока, который также подключается к аккумуляторной батарее. Электрическая система подключается к централизованной электросети через двунаправленный счётчик электрической энергии и может отдавать электроэнергию в локальную сеть или продавать её в централизованную сеть (рисунок 12).

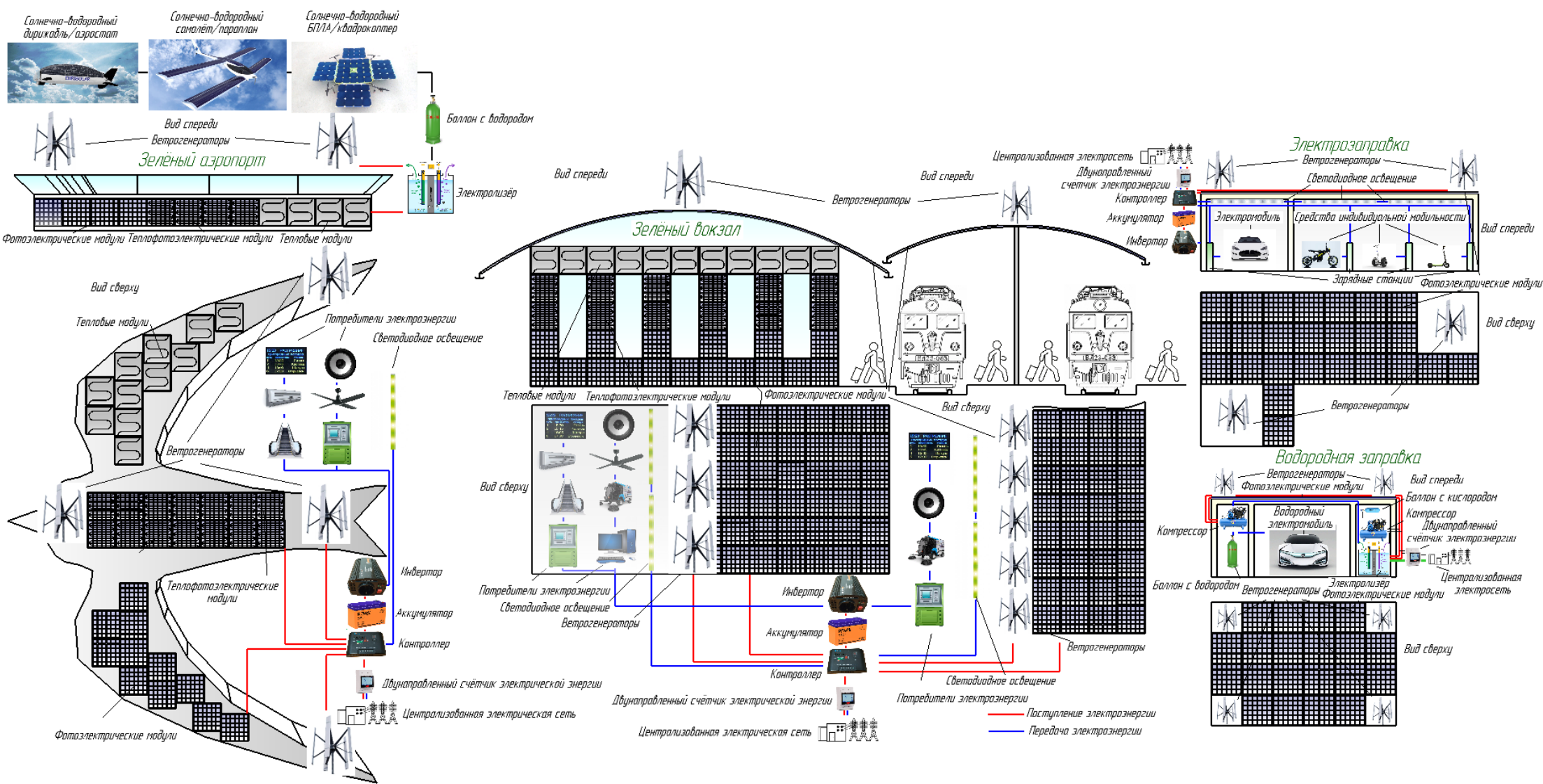


Рисунок 12. Схема «зелёного» транспортного комплекса и принцип электроснабжения потребителей.

Во время дефицита солнечной и ветряной энергии электрическая энергия направляется (покупается) из сети или из аккумуляторной батареи. Однако, стоит учитывать, что объём аккумуляторной батареи не должен быть завышен из-за высокой стоимости её ёмкости, тем более, когда наряду с автономной электросистемой есть возможность потреблять электроэнергию из централизованной сети. Большая ёмкость аккумуляторной батареи уместна при полностью автономной работе транспортного комплекса без возможности подключения к централизованной электросети, что нецелесообразно и маловероятно. Во время отключения электроэнергии при параллельной работе с существующей электросетью, происходит прямое питание от автономной системы без перебоев. При постоянной автономной работе системы питание происходит напрямую от аккумуляторной батареи всё время работы.

Разрабатываемая система макета-прототипа предназначена для автономного или параллельного с существующей электросетью электроснабжения потребителей транспортного комплекса – освещения, дисплеев, вентиляторов, динамиков, кондиционеров, терминалов, компьютеров, эскалаторов, уборочных машин, техники и т.п. Электрический ток вырабатывается с помощью фотоэффекта, происходящего внутри солнечных модулей, которые располагаются на крыше и стенах заправок, вокзала, платформ и аэропорта, которые также могут быть использованы в виде активных козырьков окон. В солнечных модулях в слое кремния с добавками фосфора возникают свободные электроны, а в слое кремния с добавками бора отсутствуют электроны. При попадании кванта света на солнечные модули в них начинается движение частиц из одного слоя в другой, то есть возникает электрический ток [52]. При направленном солнечном излучении электричество образуется в каждой точке кремниевой пластины. Для того, чтобы вывести электрический ток с пластины нужны каналы, по которым будет протекать электричество. По этим каналам-проводникам ток перетекает к контроллеру аккумуляторной батареи и заряжает её (рисунок 12).

В теплофотоэлектрических модулях, установленных на стенах аэропорта и вокзала, наряду с электрической энергией, нагревается вода, которая охлаждает фотоэлектрические преобразователи, увеличивая их эффективность [53], которая затем поступает в подогревающие солнечные тепловые коллекторы, где уже подогревается до более высоких температур, когда её уже можно использовать посетителями аэропорта и вокзала в гигиенических целях и уборочных процессах сотрудниками аэропорта и вокзала.

Наряду с выработкой электроэнергии в солнечных модулях генерация электричества происходит также и в ветрогенераторе, принцип которого основан на преобразовании кинетической энергии ветрового потока в механическую энергию вращения ротора с последующим её преобразованием в электрическую энергию [17]. Благодаря модульной структуре преобразователей солнечной и ветряной энергии возможно создание системы любой номинальной мощности – от сотен ватт до мегаватт электрической мощности.

Контроллер постоянного тока необходим для заряда аккумуляторной батареи оптимальными параметрами постоянного тока, что увеличит срок её службы и позволит солнечным модулям и ветрогенераторам работать в оптимальном для них режиме. В зависимости от мощностей преобразователей энергии варьируется и рабочая мощность контроллера, также как и ёмкость аккумуляторной батареи, которая может быть выполнена по гелевой технологии (стандартная на сегодня) или же на основе литиевых аккумуляторов. Использование литиевых аккумуляторов от электрического транспорта (вторичных или бывших в употреблении) положительно скажется на экологии и экономике проекта, так как в транспорте их ёмкости может уже не хватать, а для стационарной работы остаточная ёмкость и масса не столь важны и критичны.

В предложенный «зелёный» транспортный комплекс целесообразно внедрить перехватывающую парковочную зарядную станцию, предназначенную как для персонального транспорта, так и взятого временно в аренду (шеринг) [54], где предусмотрена возможность зарядки электрического

транспорта, как самого тихого и экологичного, причём, электроснабжение транспорта происходит от фотоэлектрических модулей и вертикально-осевых ветрогенераторов, установленных на самом здании парковки. Такой инфраструктурный объект позволит производить зарядку электрического транспорта на парковочном месте, защищённом от негативного воздействия солнечного излучения, ветра и осадков, тогда как защитная конструкция станции является одновременно и местом установки преобразователей солнечной и ветряной энергии. Подобного рода электрические зарядные станции также будут иметь возможность подключения к городской электрической сети с целью обеспечения зарядки электротранспорта во время длительного отсутствия солнечной и ветряной энергии, тогда как во время избытка электрической энергии от возобновляемых источников энергии и при полностью заряженных аккумуляторных батареях, станция сможет продавать или направлять в централизованную сеть избытки электрической энергии, а во время дефицита мощности возобновляемых источников энергии – покупать или брать электроэнергию из централизованной сети с помощью двунаправленного счётчика электрической энергии.

Наряду с электрической заправочной станции с аккумуляторными батареями, в «зелёном» транспортном комплексе целесообразно внедрение водородной заправочной станции с парковочным местом для транспорта, так как развитие водородного транспорта [55] происходит также активно, как и электрического, однако заправка водородного транспорта происходит быстрее, чем зарядка электрического, а запас хода у водородного транспорта зачастую больше. В подобной заправочной станции происходит автономное или параллельное с существующей электрической сетью электроснабжение электролизёра для производства «зелёного» водорода с помощью преобразователей возобновляемой энергии, защита транспорта от внешних негативных погодных условий, а также возможность временного размещения транспортного средства на парковочном месте под защитным сооружением. Накопление электрической энергии от возобновляемых источников энергии

будет происходить с помощью водорода в баллонах, полученного с помощью электролиза в электролизёре с помощью электрической энергии, полученной от фотоэлектрических модулей и ветрогенераторов. Во время избытка электрической энергии от возобновляемых источников энергии и полностью заправленных баллонов с водородом, водородная станция с помощью топливных ячеек сможет продавать или направлять в централизованную сеть избытки электрической энергии, а во время дефицита мощности возобновляемых источников энергии – покупать или брать электроэнергию из централизованной сети с помощью двунаправленного счётчика электрической энергии. Также во время выработки водорода с помощью электролиза будет образовываться и ценный кислород, что улучшит окупаемость проекта, а на выходе из выхлопной трубы водородного транспорта образуется лишь вода, которая может повторно использоваться для производства водорода или иных целей, что способствует экологичности развития мегаполисов.

2.10. Создание и сборка компонентов макета.

Макеты зданий аэропорта и вокзала. Макеты зданий аэропорта и вокзала изготавливаются с помощью разработанных трёхмерных моделей в системе автоматизированного проектирования [56] и впоследствии изготавливается на 3D принтере [57] с помощью послойного построения расплавленным полимерным материалом в виде пластика PLA (полилактид – биоразлагаемый, биосовместимый, термопластичный полиэфир, мономером которого является молочная кислота [58]). Разработаны современные здания аэропорта в форме птицы стрижа, а также вокзала, которые имеют функциональную конструкцию и позволяет внедрить преобразователи солнечной и ветряной энергии на поверхностные элементы своей конструкции (рисунок 13).

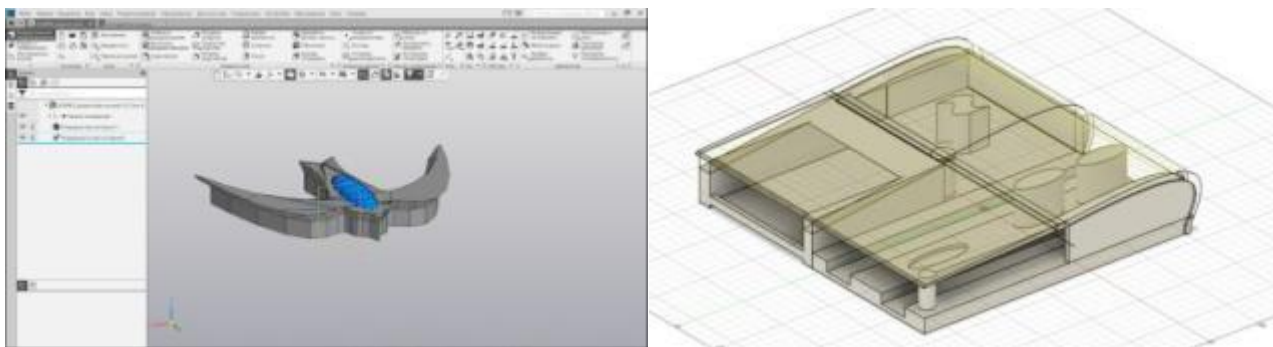


Рисунок 13. Разработанные трёхмерные модели зданий аэропорта и вокзала в системе автоматизированного проектирования.

В результате подготовки к печати и оптимизации настроек печати 3D принтера были подготовлены трёхмерные модели зданий аэропорта и вокзала в слайсере 3D принтера [59] (рисунок 14). С целью изготовления твердотельных прототипов была применена технология послойного наплавления полимерного материала с помощью 3D принтера. Используемая программа-слайсер поставляется с 3D принтером и позволяет оптимизировать параметры печати модели. Трёхмерная модель может разделяться на несколько частей с целью увеличения итогового размера твердотельного макета.

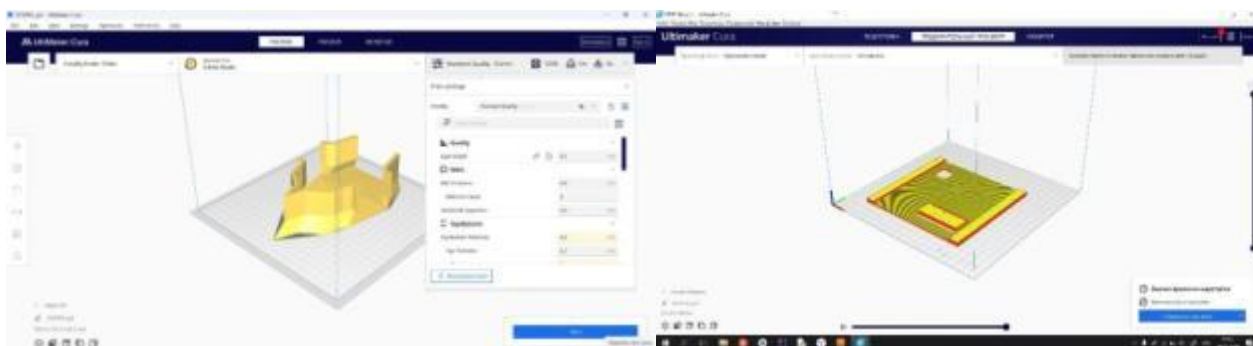


Рисунок 14. Трёхмерные модели зданий аэропорта и вокзала в слайсере 3D принтера.

В результате быстрого прототипирования на 3D принтере получены твердотельные макеты-прототипы зданий аэропорта и вокзала (рисунок 15), на которые впоследствии устанавливаются солнечные модули различной конструкции в виде сайдинг-панелей для тепло- и электроснабжения, а также ветрогенераторы вертикально-осевой конструкции.

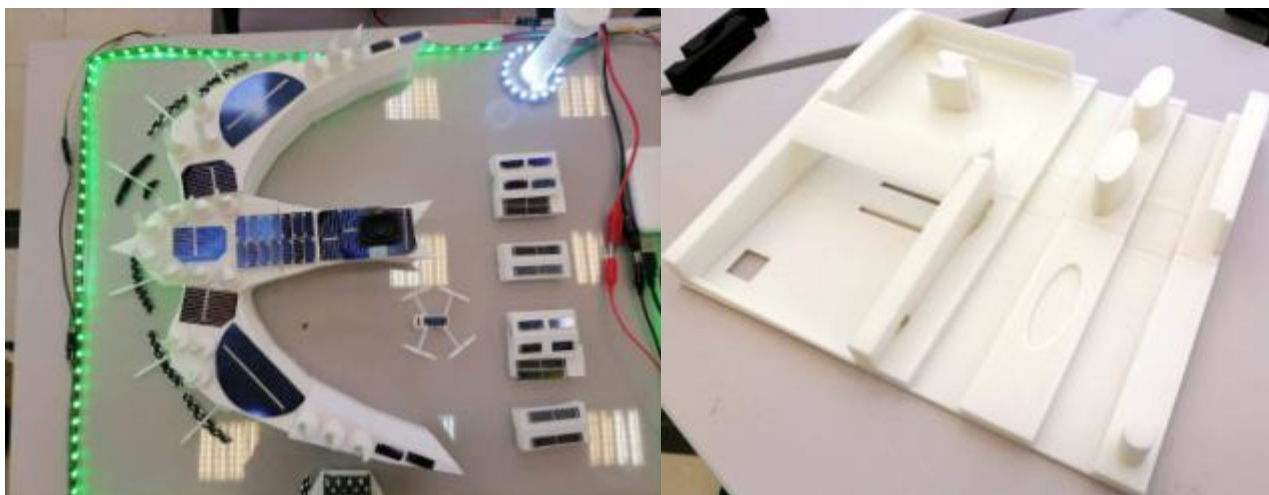


Рисунок 15. Макеты-прототипы зданий аэропорта и вокзала, изготовленные из пластика PLA.

Макеты прототипа могут изготавливаться из различных пластиков, таких как ABS, PLA, PETG, HIPS и т.п.

Макеты зданий объектов инфраструктуры аэропорта. Наряду с макетами зданий аэропорта и вокзала также были разработаны в системе автоматизированного проектирования трёхмерные модели макетов зданий объектов инфраструктуры аэропорта, такие как ёмкости для «зелёного» водорода (рисунок 16 слева), ангары для солнечно-водородных летательных аппаратов (рисунок 16 посередине), метеорологическая башня (рисунок 16 справа) и т.п., которые затем были обработаны в слайсере 3D принтера и напечатаны на 3D принтере с помощью PLA пластика, в результате чего были получены твердотельные макеты-прототипы зданий объектов инфраструктуры аэропорта.



Рисунок 16. Макеты-прототипы зданий объектов инфраструктуры аэропорта, изготовленные из пластика PLA.

Солнечно-водородные летательные аппараты аэропорта. Основными летательными аппаратами разработанного аэропорта являются солнечно-водородные летательные аппараты, такие как дирижабли/аэростаты (рисунок 17 сверху), самолёты/парапланы (рисунок 17 снизу слева и посередине), беспилотные летательные аппараты/квадрокоптеры (рисунок 17 справа снизу), трёхмерные модели которых были разработаны в системе автоматизированного проектирования, которые затем были обработаны в слайсере 3D принтера и напечатаны на 3D принтере с помощью PLA пластика, в результате чего были получены твердотельные макеты солнечно-водородных летательных аппаратов аэропорта.

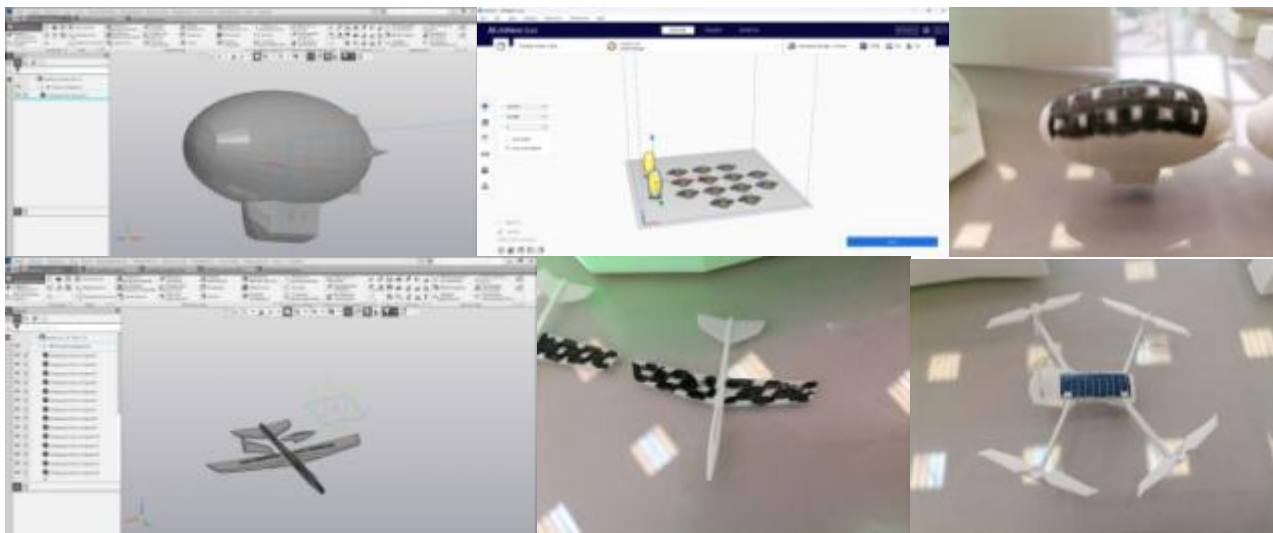


Рисунок 17. Трёхмерные модели и изготовленные макеты солнечно-водородных летательных аппаратов аэропорта.

Солнечные модули. Для обеспечения электроэнергией потребителей «зелёного» транспортного комплекса на поверхностях крыш и стен зданий аэропорта и вокзала, а также на поверхностях навесов платформ подобраны и установлены кристаллические монокремниевые фотоэлектрические преобразователи (рисунок 18 сверху) и фотоэлектрические преобразователи на основе аморфного кремния (рисунок 18 снизу слева), которые обеспечат выработку постоянного тока. Фотоэлектрические модули, установленные на крыше здания, могут иметь различный угол наклона, повторяющий профиль крыши, или устанавливаться на специальные опоры-профили под необходимым углом. На стенах зданий планируется устанавливать солнечные модули в форме

сайдинг-панелей, что обеспечит лучшую скатываемость пыли и осадков, а также более высокую выработку электроэнергии в весенние и осенние месяцы, когда Солнце не поднимается высоко над горизонтом, а на криволинейных поверхностях крыши вокзала и навесов платформ планируется устанавливать гибкие фотоэлектрические модули (рисунок 9 справа). Также сайдинг-панели могут устанавливаться над окнами в качестве козырьков с изменяемым углом наклона, что летом обеспечит тень, а зимой оптимальный угол наклона к низкому положению Солнца над горизонтом с одновременной выработкой электрической энергии.

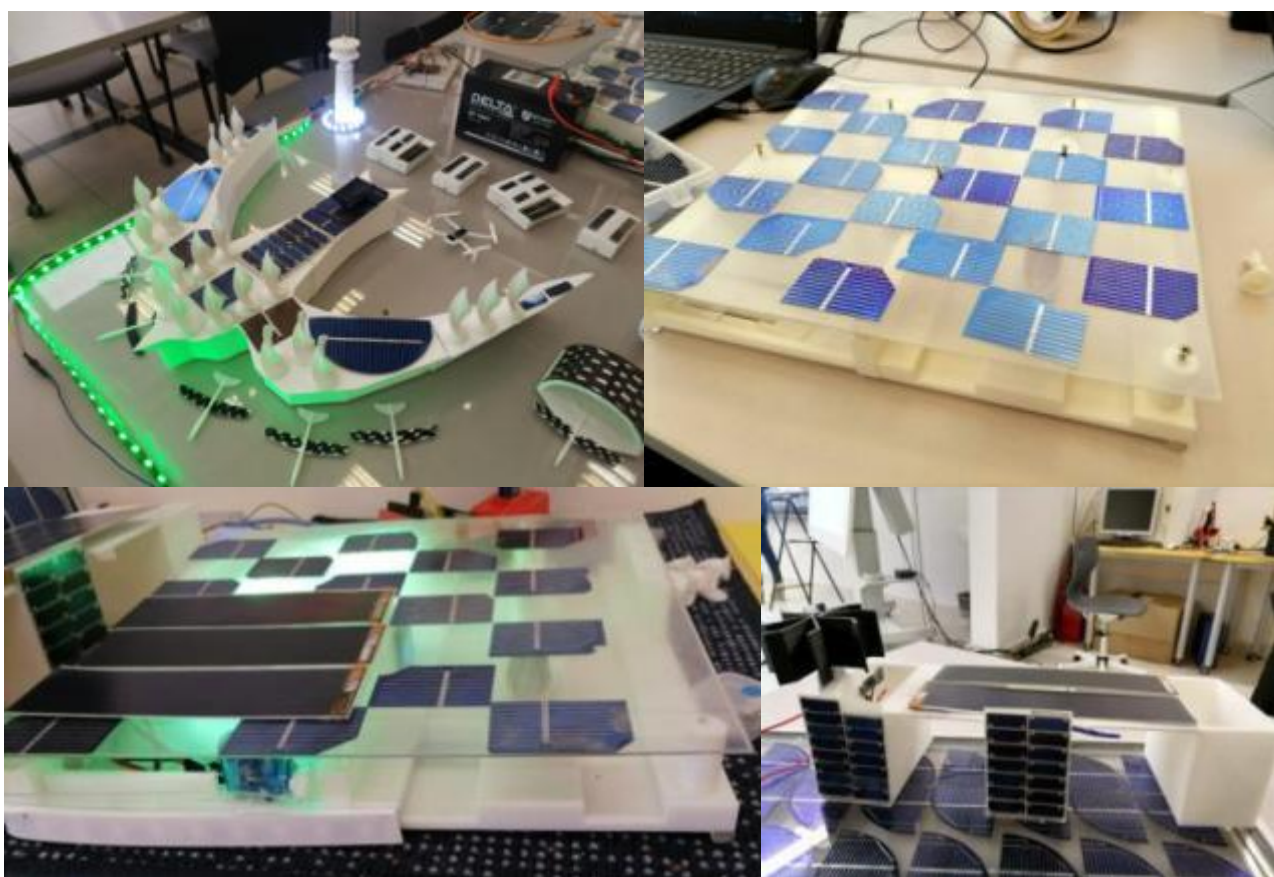


Рисунок 18. Фотоэлектрические модули в форме сайдинг-панелей на поверхностях зданий аэропорта и вокзала (сверху) и гибкие фотоэлектрические модули на поверхностях навеса платформы (снизу слева).

На рисунке 19 представлены вольтамперные характеристики фотоэлектрического модуля, выполненного в виде сайдинг-панели (рисунок 8 слева) и гибкого фотоэлектрического модуля (рисунок 9 справа), которые планируется устанавливать на реальном объекте.

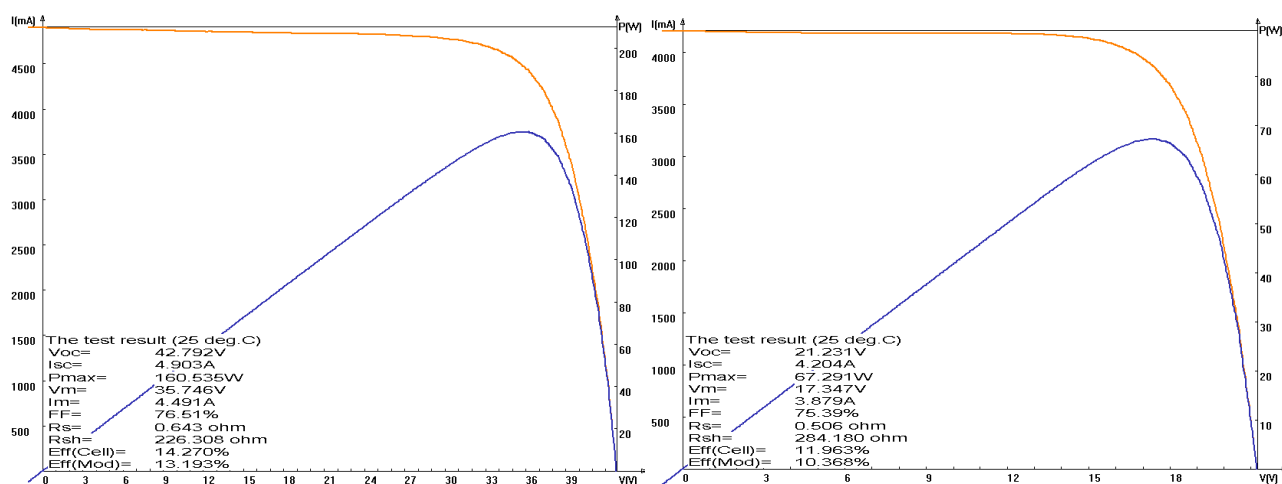


Рисунок 19. Вольтамперные характеристики фотоэлектрического модуля, выполненного в виде сайдинг-панели (слева), и гибкого фотоэлектрического модуля (справа).

Вольтамперные характеристики измерены с помощью имитатора солнечного излучения PICOSOLAR с одиночной длинноимпульсной вспышкой (1000 Вт/м^2 , $1,5 \text{ АМ}$). Для реального объекта планируется использовать изготавливаемые солнечные модули во «Всероссийском научном агроинженерном центре ВИМ» [60], образцы которых представлены на рисунках 8 и 9, а вольтамперные характеристики на рисунке 19. Герметизация фотоэлектрических преобразователей в фотоэлектрическом модуле в виде сайдинг-панели происходит с помощью полисилоксанового компаунда, который увеличивает электрическую эффективность и срок службы фотоэлектрических преобразователей (по сравнению со стандартными этиленвинилацетатными плёнками [61] и технологией ламинирования, с помощью которой изготавливаются стандартные современные солнечные модули).

Для заряда аккумуляторной батареи через контроллер заряда необходимо напряжение фотоэлектрических преобразователей около 15 В , таким образом все фотоэлектрические преобразователи в макете были соединены последовательно-параллельно для обеспечения требуемого напряжения и максимизации электрического тока ввиду небольших размеров фотоэлектрических преобразователей. Коммутация фотоэлектрических

преобразователей между собой происходила медными проводами с небольшим сечением или лужёными токосъёмными шинами.

Таким образом, фотоэлектрические модули в форме сайдинг-панелей, а также гибкие фотоэлектрические модули устанавливаются на конструктивные элементы зданий аэропорта и вокзала, а также навеса платформы и являются при этом строительно-защитным материалом. С помощью фотоэлектрических преобразователей, соединённых последовательно-параллельно, происходит заряд аккумуляторной батареи с оптимальными параметрами благодаря контроллеру заряда, а запасённая электроэнергия может быть передана потребителю постоянного или переменного тока. Наряду с фотоэлектрическими модулями на стены зданий аэропорта и вокзала будут устанавливаться солнечные модули теплофотоэлектрической и тепловой конструкции для выработки параллельно с электрической энергией также и тепловой энергии в виде нагрева воды, которая будет использована посетителями и работниками «зелёного» транспортного комплекса.

Ветрогенераторы. Наряду с фотоэлектрическими модулями в виде сайдинг-панелей и гибкими солнечными модулями в макете-прототипе «зелёного» транспортного комплекса используются ветрогенераторы, которые имеют вертикально-осевую конструкцию, которая обеспечивает работу даже при малых скоростях ветра и относительно безопасна для птиц. Предложенные ветрогенераторы устанавливаются на крышах зданий заправок, аэропорта, вокзала и навеса платформы. Использование ветрогенераторов будет сглаживать уменьшение электроснабжения во время пасмурных дней и по ночам. Запасённой электроэнергии в аккумуляторной батарее от фотоэлектрических, теплофотоэлектрических модулей и ветрогенераторов будет достаточно для автономной работы различного оборудования «зелёного» транспортного комплекса в течение определённого времени, которое зависит от ёмкости аккумуляторной батареи и установленной мощности солнечных модулей и ветрогенераторов. При параллельной работе с существующей электросетью ёмкость аккумуляторов может быть минимальной и достаточной

только для кратковременной работы во время внезапного отключения электроэнергии в централизованной сети и для буферизации электроэнергии для продажи её в сеть.

Твердотельные прототипы ветрогенераторов изготавливаются с помощью разработанной трёхмерной модели в системе автоматизированного проектирования и впоследствии изготавливается на 3D принтере с помощью послойного построения расплавленным полимерным материалом в виде пластика PLA. Трёхмерная модель разработанного ветрогенератора представлена на рисунке 20.

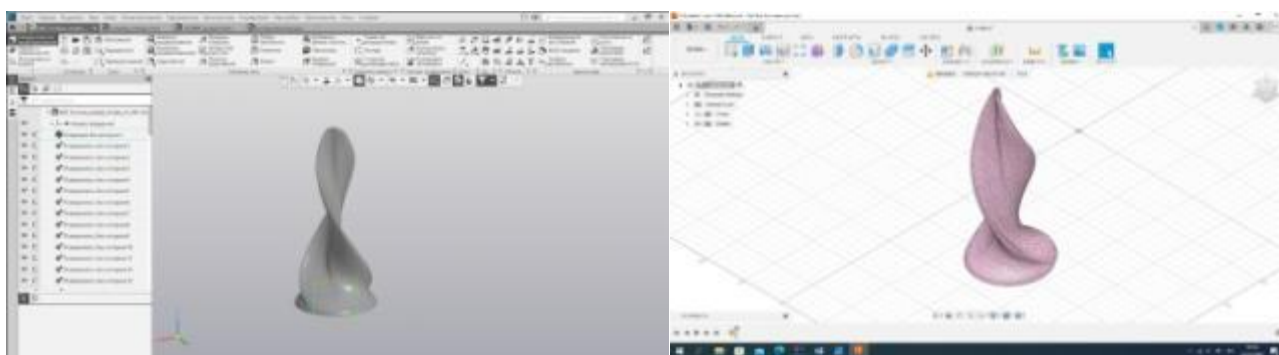


Рисунок 20. Трёхмерная модель ветрогенератора вертикально-осевой конструкции.

После создания трёхмерной модели ветрогенератора был произведен её импорт в слайсер 3D принтера (рисунок 21 слева) и изготовлен твердотельный прототип ветрогенератора (рисунок 21 справа).

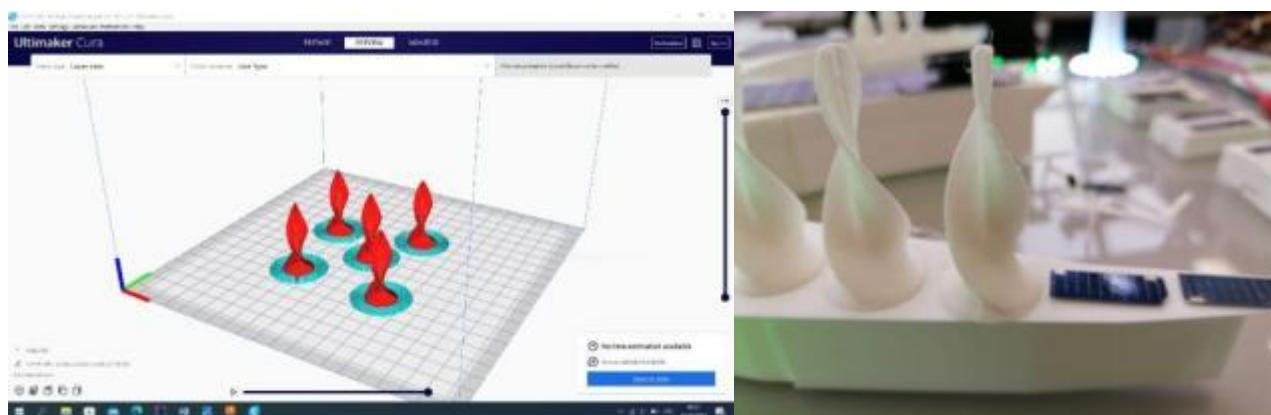


Рисунок 21. Трёхмерная модель ветрогенератора в слайсере (слева) и изготовленный твердотельный прототип ветрогенератора (справа).

Генераторы постоянного тока, необходимые для электропитания аккумуляторной батареи, устанавливаются на оси изготовленных ветрогенераторов и подключаются к контроллеру заряду аккумуляторной батареи.

Платы, микросхемы и датчики макета-прототипа. Для моделирования работы аэропорта использовалась плата Wemose D1 mini - компактная плата на основе чипа ESP8266, которая предназначена для разработки проектов с использованием интернета вещей [62], которая обеспечивает возможность беспроводной связи через Wi-Fi и имеет входы и выходы для подключения различных датчиков и устройств (рисунок 22).

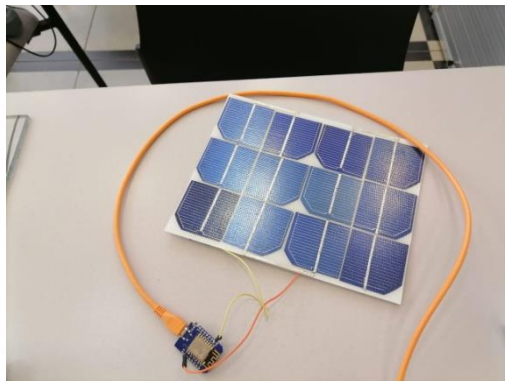


Рисунок 22. Компактная плата Wemose D1 mini на основе чипа ESP8266 [62].

В основе Wemos D1 Mini находится ESP8266, который является микроконтроллером со встроенным Wi-Fi модулем. Он позволяет устройствам подключаться к Wi-Fi сети и отправлять/принимать данные через интернет. Wemos D1 Mini можно программировать с помощью среды разработки Arduino IDE или других инструментов, таких как PlatformIO, что позволяет писать код для управления устройством и его взаимодействия с другими компонентами. Плата имеет несколько цифровых и аналоговых пинов, которые можно использовать для подключения датчиков, реле, светодиодов и других устройств. Wemos D1 Mini может подключаться к существующей Wi-Fi сети, что позволяет ему обмениваться данными с другими устройствами или отправлять информацию на сервер, что открывает возможности для создания различных IoT-приложений. С помощью Wemos D1 Mini можно

интегрироваться с облачными платформами, такими как Blynk, Adafruit IO или MQTT, что позволяет управлять устройством и получать данные удаленно.

Высокоэффективный микроконтроллер ESP8266 с поддержкой Wi-Fi используется в проектах интернета вещей, поддерживает различные интерфейсы, такие как UART, SPI, I2C, PWM и GPIO для подключения различных устройств [63] (рисунок 20).



Рисунок 23. Микроконтроллер ESP8266 с поддержкой Wi-Fi [63].

Соединение с Wi-Fi ESP8266 позволяет устройствам подключаться к Wi-Fi сетям, когда Wi-Fi модуль поддерживает стандарт 802.11 b/g/n. Микроконтроллер можно использовать в режиме точки доступа (AP) или клиента (STA), он поддерживает различные сетевые протоколы, такие как TCP/IP, что позволяет взаимодействовать с интернетом. Популярная платформа для разработки, поддерживающая библиотеки, упрощающие взаимодействие с Wi-Fi – NodeMCU является открытой платформой, использующей Lua для сценарного программирования. MicroPython и позволяет писать код на Python, что делает разработку более доступной.

Датчик температуры и влажности DHT11 – простой и недорогой сенсор, который используется для измерения температуры и относительной влажности воздуха [64] (рисунок 24).

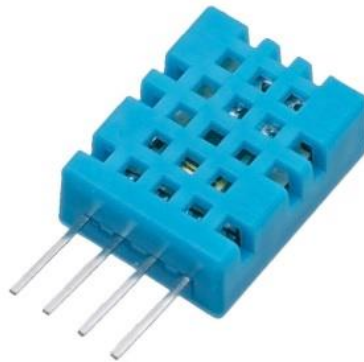


Рисунок 24. Датчик температуры и влажности DHT11 [64].

Сенсорная часть DHT11 содержит два основных сенсора: для измерения температуры и для измерения влажности, которые используют различные физические принципы для своих измерений. Влажность измеряется с помощью гигроскопического материала, который изменяет свои свойства (сопротивление) в зависимости от влажности окружающего воздуха. DHT11 передает данные на микроконтроллер (например, Arduino) с помощью цифрового сигнала, использует один вывод для передачи информации о температуре и влажности по специальному протоколу. Процесс передачи данных начинается с сигнала запуска от микроконтроллера, после чего DHT11 отправляет данные в формате, который включает целое число для влажности и целое число для температуры. Микроконтроллер принимает данные, распознает их и интерпретирует, что позволяет получить значения температуры и влажности.

Датчик водорода MQ-8 – чувствительное устройство, предназначенное для обнаружения и измерения концентрации водорода в воздухе. Датчик основан на принципе изменения сопротивления полупроводникового материала в зависимости от концентрации газа [65] (рисунок 25).



Рисунок 25. Датчик водорода MQ-8 [65].

Когда водород попадает на поверхность сенсора, происходит химическая реакция, которая изменяет электрическое сопротивление. MQ-8 способен обнаруживать концентрацию водорода в диапазоне от 100 до 10,000 ppm (частей на миллион). Обычно датчик имеет такие выводы, как VCC (питание), GND (земля) и аналоговый выход, чтобы передавать сигнал в микроконтроллер или другое устройство для обработки. Датчик содержит нагревательный элемент, который поддерживает определенную температуру для оптимальной работы и повышения чувствительности.

Контроллер заряда, инвертор, аккумуляторная батарея и потребители электроэнергии. В состав макета-прототипа «зелёного» транспортного комплекса также входит контроллер заряда, который производит заряд аккумуляторной батареи оптимальными параметрами электрического тока, как для самой аккумуляторной батареи, так и для фотоэлектрических модулей и ветрогенераторов [66] (рисунок 26 слева). Контроллер заряда рассчитан на напряжение 12 или 24 В и ток заряда и нагрузки 5 А, может запитывать напрямую нагрузку постоянным током. Аккумуляторная батарея в макете-прототипе изготовлена по гелевой технологии и имеет параметры 12 В и 7 А·ч [67] (рисунок 26 посередине). Инвертор электрического тока предназначен для питания переменным током различных потребителей в макете-прототипе «зелёного» транспортного комплекса (рисунок 26 справа). Входное напряжение для инвертора электрического тока составляет 12 В постоянного тока, а выходное напряжение переменного тока составляет 230 В. Максимальный входной ток составляет 15 А [68].



Рисунок 26. Контроллер заряда аккумуляторной батареи (слева), аккумуляторная батарея (посередине) [67] и инвертор электрического тока (справа).

В качестве нагрузки в макете-прототипе использовано светодиодное освещение, дисплей, электродвигатель и т.п. устройства, которые питаются напрямую от контроллера заряда и устройства, которые подключаются к инвертору электрического тока для питания переменным током (рисунок 27).



Рисунок 27. Различные потребители электрического тока макета-прототипа, питающиеся от постоянного и переменного тока.

В качестве дополнительных потребителей электрического тока могут быть добавлены различные устройства, которые зачастую используются в аэропортах, на вокзалах и платформах, электрообеспечение которых может происходить как постоянным током с помощью контроллера заряда, так и переменным током от инвертора электрического тока.

Программа управления потребителями электроэнергии и сайт мониторинга баланса электроэнергии. С целью управления установленными потребителями электрического тока разработано программное обеспечение, которое позволяет управлять такими потребителями в реальном времени и

демонстрировать, таким образом, работу «зелёного» транспортного комплекса на примере разработанного и созданного макета-прототипа (рисунок 28).

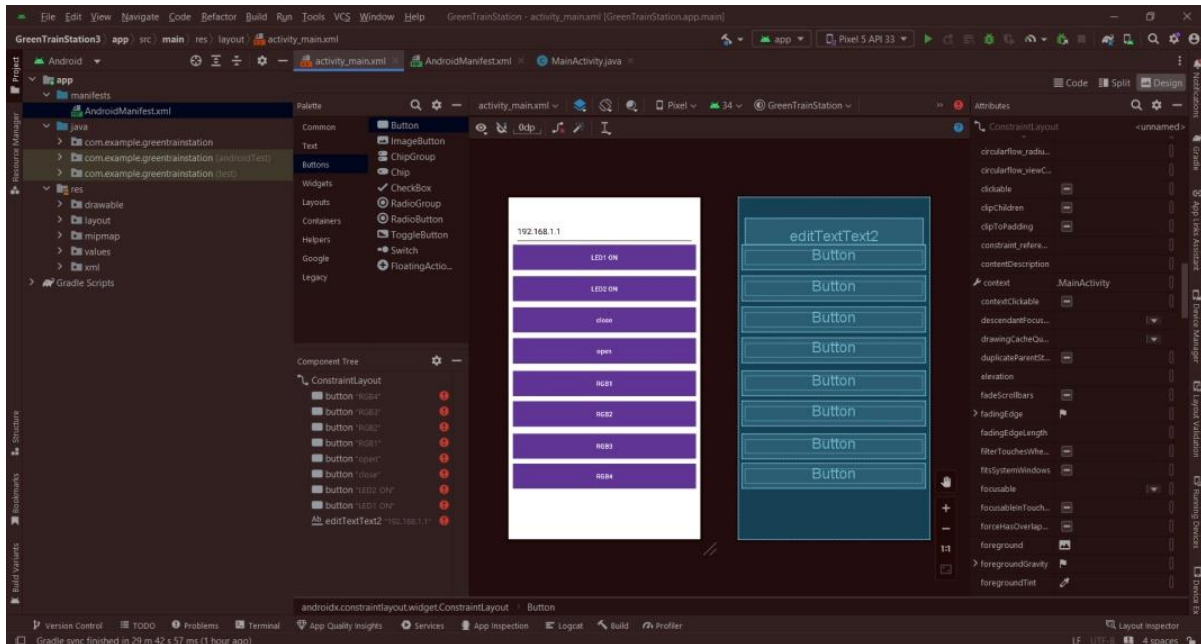


Рисунок 28. Вид приложения для управления потребителями электрического тока в макете-прототипе.

Для реализации функции управления в разработанном макете-прототипе подготовлен программный код, позволяющий запрограммировать работу устройств (рисунок 29).

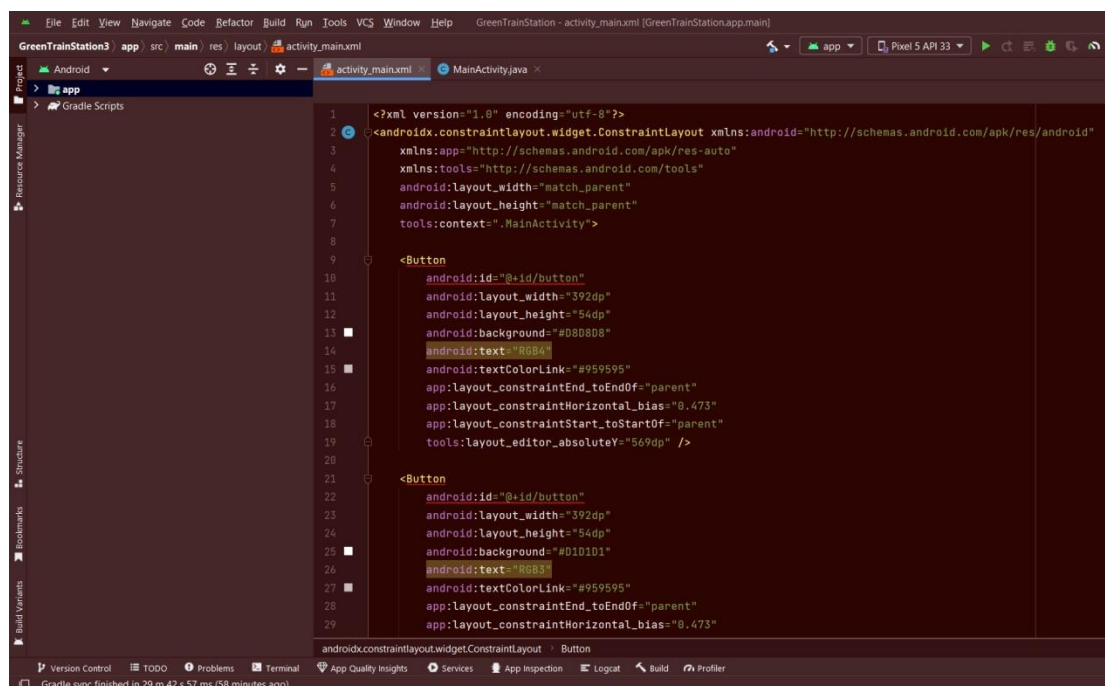


Рисунок 29. Программный код, используемый для написания приложения для управления потребителями электроэнергии макета-прототипа.

С увеличением количества потребителей электрической энергии и по мере усложнения системы приложение будет усложняться и дополняться в будущих работах по усовершенствованию макета-прототипа.

С целью управления установленными потребителями электрического тока разработан сайт, для корректной работы которого используются:

1. Микроконтроллер Wemos D1 Mini, который собирает данные о выработке и потреблении электроэнергии, отправляя их через POST-запросы на API.
2. API на Spring Boot, который обрабатывает данные от Wemos D1 Mini и предоставляет их для фронтенда через GET-запросы.
3. Фронтэнд (React) отображает данные об энергопотреблении и генерации с помощью графиков Chart.js.
4. База данных PostgreSQL хранит информацию о потреблённой и произведённой электроэнергии.

Рабочее API:

GET запрос - <https://backend2-b1j6.onrender.com/api/energy/v1.0/report>

POST запрос - <https://backend2-b1j6.onrender.com/api/energy/v1.0/add>

Рабочий сайт для пользователей - <https://green-transport-hub.netlify.app/>.

Wemos D1 Mini собирает данные о выработке электроэнергии от солнечной панели и передаёт их на API.

Алгоритм работы:

1. Измерение напряжения с помощью метода `analogRead()`.
2. Расчёт энергии с использованием фиксированного коэффициента.
3. Отправка POST-запросов вида, показанных на рисунке 30:

```
{
  "type": "1",
  "value": "7",
  "password": "pass"
}
```

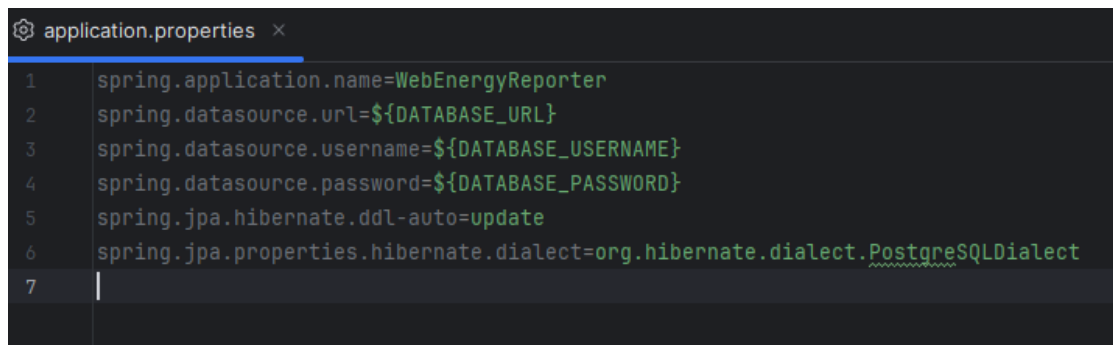
Рисунок 30. Отправка POST-запросов.

Поле `type` принимает значения: 1 – потреблённая энергия; 2 – произведённая энергия; а поле `value` – количество энергии данного типа.

Настройка работы:

1. Подключение солнечной панели к аналоговому пину Wemos.
2. Настройка регулярной отправки POST-запросов каждые 5 секунд.
3. Проверка корректности пароля для передачи данных.

API на Spring Boot: основные классы и файлы - application.properties представлены на рисунке 31.

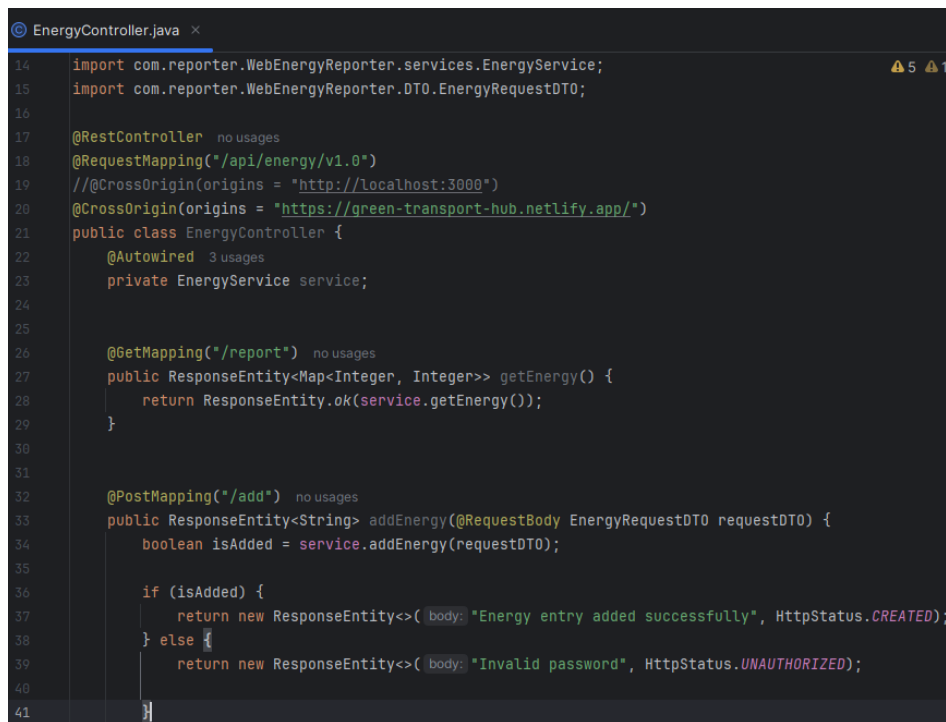


```
application.properties
1  spring.application.name=WebEnergyReporter
2  spring.datasource.url=${DATABASE_URL}
3  spring.datasource.username=${DATABASE_USERNAME}
4  spring.datasource.password=${DATABASE_PASSWORD}
5  spring.jpa.hibernate.ddl-auto=update
6  spring.jpa.properties.hibernate.dialect=org.hibernate.dialect.PostgreSQLDialect
7
```

Рисунок 31. Основные классы и файлы - application.properties.

В настройках приложения прописаны данные для подключения к базе данных, используются переменные среды для нормальной работы при деплое (из названий переменных понятно что и куда передавать), за счёт пятой строки после создания базы данных не нужно создавать никаких таблиц, программа сделает это сама.

Контроллер: класс EnergyController предоставляет эндпоинты для обработки запросов (рисунок 32).



```

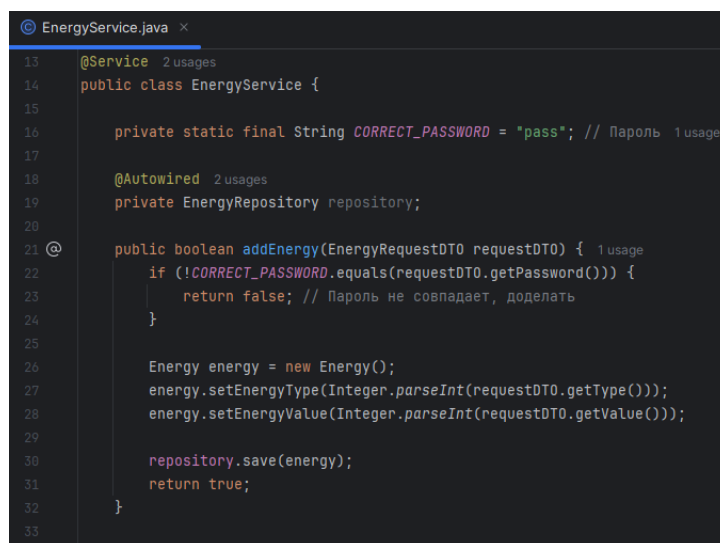
14 import com.reporter.WebEnergyReporter.services.EnergyService;
15 import com.reporter.WebEnergyReporter.DTO.EnergyRequestDTO;
16
17 @RestController no usages
18 @RequestMapping("/api/energy/v1.0")
19 // @CrossOrigin(origins = "http://localhost:3000")
20 @CrossOrigin(origins = "https://green-transport-hub.netlify.app/")
21 public class EnergyController {
22     @Autowired 3 usages
23     private EnergyService service;
24
25
26     @GetMapping("/report") no usages
27     public ResponseEntity<Map<Integer, Integer>> getEnergy() {
28         return ResponseEntity.ok(service.getEnergy());
29     }
30
31
32     @PostMapping("/add") no usages
33     public ResponseEntity<String> addEnergy(@RequestBody EnergyRequestDTO requestDTO) {
34         boolean isAdded = service.addEnergy(requestDTO);
35
36         if (isAdded) {
37             return new ResponseEntity<> (body: "Energy entry added successfully", HttpStatus.CREATED);
38         } else {
39             return new ResponseEntity<> (body: "Invalid password", HttpStatus.UNAUTHORIZED);
40         }
41     }

```

Рисунок 32. Класс EnergyController предоставляет эндпоинты для обработки запросов.

Аннотация `@CrossOrigin` блокирует запросы с веб серверов кроме своего фронтэнда (надо учитывать при его переносе или локальном тесте). Эндпоинт `/report` возвращает текущие данные об энергопотреблении и генерации. Эндпоинт `/add` добавляет новую запись в базу данных с проверкой пароля. Возможности расширения включают добавление фильтров и обработки статистики.

Сервис: класс EnergyService реализует бизнес-логику (рисунок 33).



```

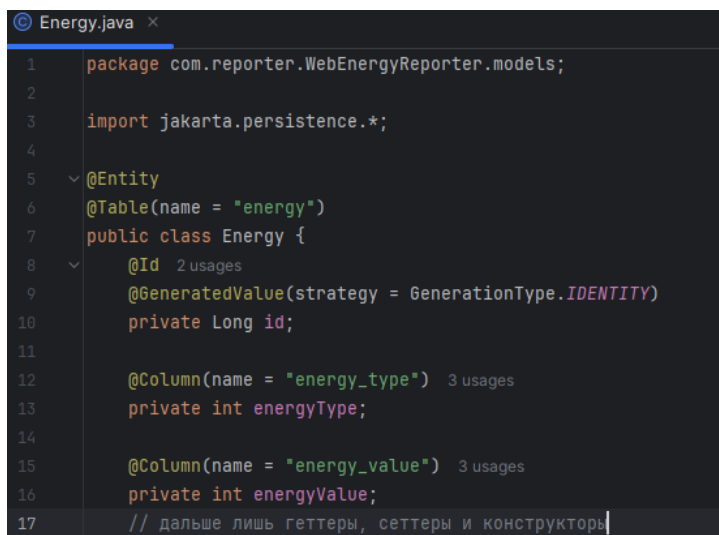
13 @Service 2 usages
14 public class EnergyService {
15
16     private static final String CORRECT_PASSWORD = "pass"; // Пароль 1 usage
17
18     @Autowired 2 usages
19     private EnergyRepository repository;
20
21     @
22     public boolean addEnergy(EnergyRequestDTO requestDTO) { 1 usage
23         if (!CORRECT_PASSWORD.equals(requestDTO.getPassword())) {
24             return false; // Пароль не совпадает, доделать
25         }
26
27         Energy energy = new Energy();
28         energy.setEnergyType(Integer.parseInt(requestDTO.getType()));
29         energy.setEnergyValue(Integer.parseInt(requestDTO.getValue()));
30
31         repository.save(energy);
32         return true;
33     }

```

Рисунок 33. Класс EnergyService реализует бизнес-логику.

Методы: addEnergy принимает на вход EnergyDTO из контроллера, проверяет пароль, и если он совпал, передаёт репозиторию Energy, со значениями из переданной на вход сущности EnergyDTO; getEnergy получает на вход список значений из репозитория, преобразует его в подходящий формат и отправляет его контроллеру

Модель: Energy – модель данных (рисунок 34).



```
1 package com.reporter.WebEnergyReporter.models;
2
3 import jakarta.persistence.*;
4
5 @Entity
6 @Table(name = "energy")
7 public class Energy {
8     @Id 2 usages
9     @GeneratedValue(strategy = GenerationType.IDENTITY)
10     private Long id;
11
12     @Column(name = "energy_type") 3 usages
13     private int energyType;
14
15     @Column(name = "energy_value") 3 usages
16     private int energyValue;
17     // дальше лишь геттеры, сеттеры и конструкторы
```

Рисунок 34. Energy – модель данных.

Модель данных поддерживает два типа (type) энергии: потреблённая (1) и произведённая (2). В value пишется количество энергии данного типа.

База данных PostgreSQL: структура таблицы представлена в таблице 3.

Таблица 3. База данных PostgreSQL: структура таблицы.

Поле	Тип данных	Описание
id	SERIAL	Уникальный идентификатор
energy_type	INTEGER	Тип энергии (1 или 2)
energy_value	INTEGER	Значение энергии

Подключение: доступ осуществляется через JDBC-драйвер. Параметры подключения указываются в переменных среды, как подробно указано ранее.

На рисунке 35 представлен интерфейс разработанной программы мониторинга выработки и потребления электрической энергии «зелёным» транспортным комплексом.

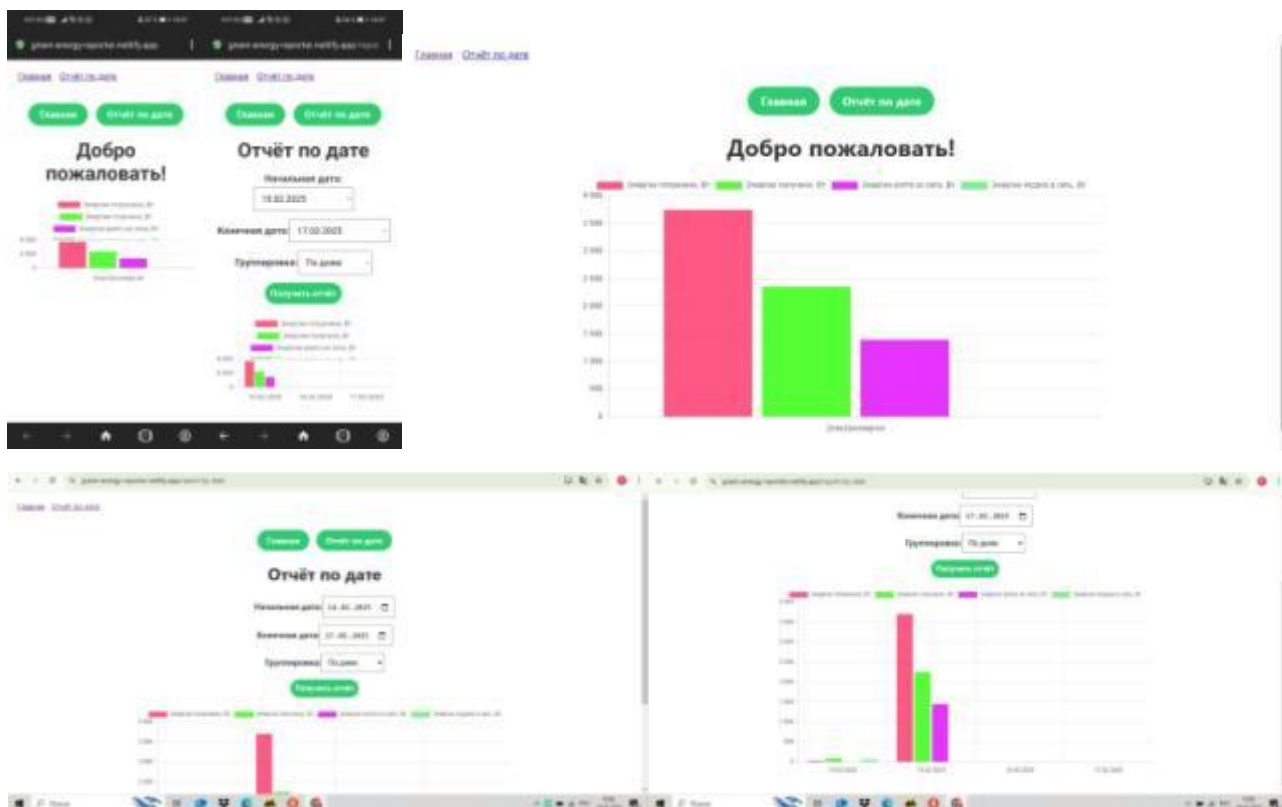


Рисунок 35. Интерфейс разработанной программы мониторинга выработки и потребления электрической энергии «зелёным» транспортным комплексом.

Исходя из полученных графиков, можно сделать вывод о балансе электрической энергии, то есть, сколько электрической энергии преобразователи солнечной и ветряной энергии вырабатывают и сколько «зелёный» транспортный комплекс использует электрической энергии, а в ряде случаев и передаёт в централизованную электрическую сеть с помощью двунаправленного счётчика электрической энергии.

Электрозаправка и водородная заправка транспорта. В качестве дополнения зданий аэропорта и вокзала «зелёного» транспортного комплекса другими инфраструктурными объектами транспорта предложены две заправки частного и взятого в аренду транспорта: электрическая заправка электроавтомобиля и средств индивидуальной мобильности частного владения или взятого в аренду, а также водородная заправка «зелёным» водородом водородного транспорта (рисунок 37).

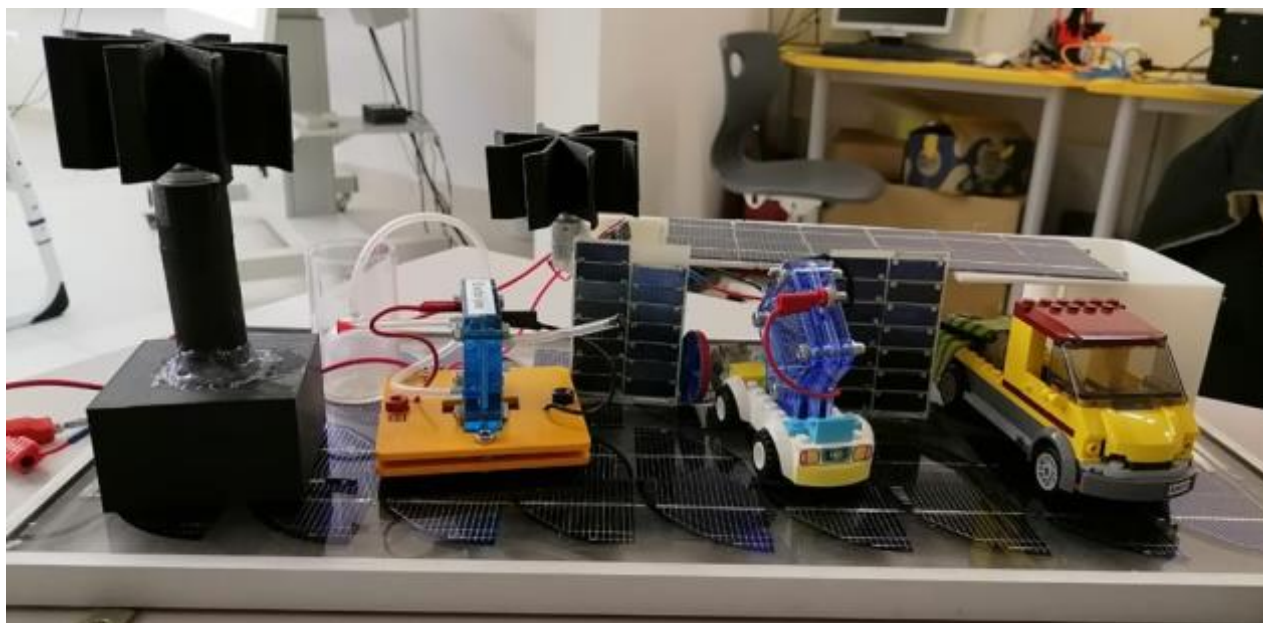


Рисунок 37. Электрозаправка электроавтомобиля и средств индивидуальной мобильности и водородная заправка «зелёным» водородом водородного транспорта.

Обе заправки снабжены фотоэлектрическими преобразователями и ветрогенераторами вертикально-осевой конструкции, а также соединены с централизованной сетью, что позволит продавать в сеть избытки электрической энергии и покупать из сети электроэнергию при отсутствии солнечного излучения и ветра.

Железнодорожный вокзал «зелёного» транспортного комплекса. Наряду с макетами зданий аэропорта и электрозаправки также был напечатан на 3D принтере с помощью PLA пластика макет железнодорожного вокзала, на крышу и стены которого устанавливаются солнечные модули различной конструкции и ветрогенераторы, а потребителями электрического тока являются различные устройства и компоненты, например, такие как светодиодное освещение, дисплей, электродвигатель и т.п. (рисунок 38).

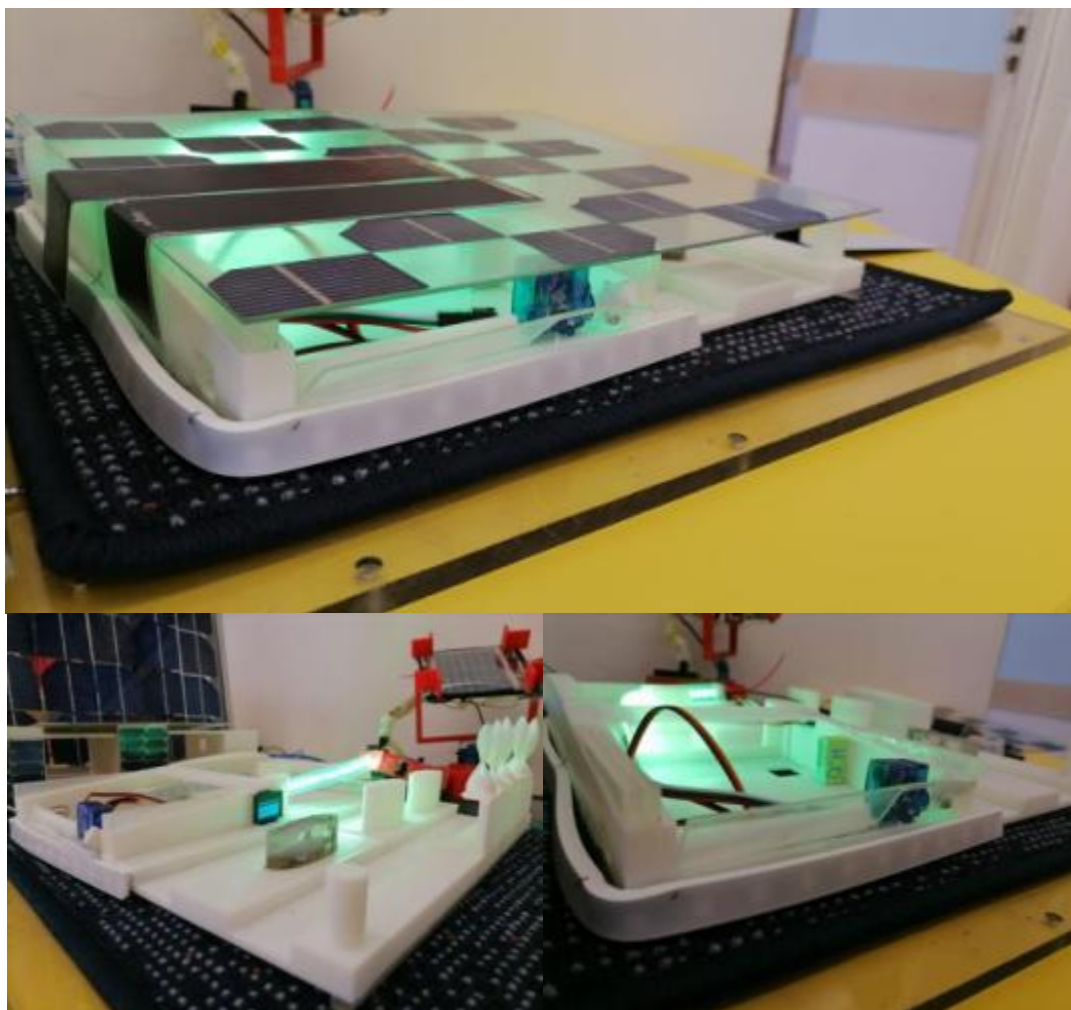


Рисунок 38. Макет железнодорожного вокзала «зелёного» транспортного комплекса.

Макет железнодорожного вокзала может также изготавливаться из различных пластиков, таких как ABS, PLA, PETG, HIPS и т.п.

Сборка макета-прототипа «зелёного» транспортного комплекса.

Завершающим этапом изготовления макета-прототипа «зелёного» транспортного комплекса является полная сборка всех компонентов прототипа и подготовка его к работе (рисунок 39).



Рисунок 39. Макет-прототип «зелёного» транспортного комплекса в собранном виде.

При засветке фотоэлектрических модулей и обеспечении потока воздуха для вращения лопастей ветрогенераторов, расположенных на всех используемых в макете-прототипе зданий и сооружений, происходит выработка электрической энергии, которая через контроллер заряда поступает с оптимальными параметрами электрического тока в аккумуляторную батарею. Запасённая электрическая энергия в аккумуляторной батарее через контроллер заряда питает электропотребителей как постоянного тока, так и переменного тока через инвертор электрического тока. Работу разработанного и собранного

макета-прототипа «зелёного» транспортного комплекса можно увидеть в представленном видео.

В дальнейших работах по усовершенствованию макета-прототипа «зелёного» транспортного комплекса планируется доработать электрическую схему системы, оптимизировать состав системы относительно количества и мощности фотоэлектрических модулей и ветрогенераторов, добавить в систему оборудование, работающее от переменного тока инвертора, а также добавить в конструкцию макета-прототипа теплофотоэлектрические и тепловые солнечные модули. Планируется добавить в макет-прототип новые датчики, потребители электрической и тепловой энергии, после чего усовершенствовать и усложнить работу приложения и сайта для управления потребителями энергии и мониторинга баланса электрической энергии. С целью разнообразия энергоснабжения разработанного «зелёного» транспортного комплекса планируется добавить в её состав биогазовую установку для получения биометана для выработки тепла и электрической энергии из отходов (отходы питания посетителей, туалетов и т.п.), а также тепловые насосы для отопления внутридомового пространства зданий и строений. Также планируется распространение макета в коробочном решении (оформлении) в образовательных учреждениях с целью обучения устойчивому развитию, принципам и технологиям возобновляемой энергетики и транспорта, что улучшит осведомлённость детей и подростков о технологиях возобновляемой энергетики, электроники и транспорта.

2.11. Достоинства и недостатки.

Разработанный макет-прототип (транспортный комплекс) имеет ряд достоинств:

- использование преобразователей возобновляемой энергии (солнечные модули, ветрогенератор), одновременное использование которых увеличит выработку электроэнергии и уменьшит периоды с низкой выработкой электроэнергии;

- возможность автономной работы и параллельно с существующей электросетью с возможностью продажи в сеть вырабатываемой электроэнергии;
- возможность использования перспективных солнечно-водородных летательных аппаратов;
- оригинальный и современный дизайн аэропорта;
- возможность одновременного обслуживания экологичного электрического наземного и воздушного транспорта;
- солнечные модули различных типов - фотоэлектрического (с увеличенным сроком службы до 40 – 50 лет), теплофотоэлектрического и теплового для выработки электрической и тепловой энергии;
- сайдинг-панели являются также и строительными материалами, причём при теплофотоэлектрической и тепловой конструкции ещё и нагревают воду;
- простота обслуживания и низкая стоимость содержания преобразователей солнечной и ветряной энергии;
- использование строений транспортного комплекса для преобразователей возобновляемой энергии – нет необходимости выделять отдельно земельные участки для них;
- защита от солнечного излучения, осадков и ветра транспорта посетителей и пассажиров транспортного комплекса;
- уменьшение выбросов углекислого газа, экологичность транспортного комплекса, соответствие глобальному энергопереходу;
- производство «зелёного» водорода и кислорода - ценных промышленных газов;
- возможность использования в аккумулировании электрической энергии заменённых литиевых аккумуляторов от электротранспорта;
- масштабируемость для больших мощностей преобразователей возобновляемой энергии;
- обучение школьников и студентов устойчивому развитию, принципам работы преобразователей возобновляемой энергии, электроники и транспорта.

Однако макет-прототип (транспортный комплекс) имеет и недостатки, которые в будущем планируется устранить:

- малая мощность солнечных модулей различной конструкции и ветрогенераторов (планируется увеличить в усовершенствованном макете);
- использование устаревшего типа аккумуляторной батареи (планируется вместо гелевой технологии аккумулятора использовать литиевые аккумуляторы на макете и заменённые литиевые аккумуляторы от электротранспорта на реальном объекте);
- высокая стоимость преобразователей возобновляемой энергии (согласно исследованиям стоимость солнечных модулей и ветрогенераторов стабильно падает, а тарифы на энергию стабильно растут);
- небольшой потенциал солнечной инсоляции и ветра в отдельных регионах (проект использует одновременно два преобразователя возобновляемой энергии и рекомендуется к использованию в солнечных и ветреных, а также туристических регионах).

2.12. Руководство по эксплуатации.

Перед использованием макета в учебных целях следует собрать все компоненты «зелёного» транспортного комплекса согласно рисунку 12. Фотоэлектрические солнечные модули в виде сайдинг-панелей и гибких солнечных модулей, установленных на стенах и крышах зданий заправок, аэропорта, вокзала и платформ должны быть надёжно соединены между собой и подключены через контроллер заряда к аккумуляторной батарее. Ветрогенераторы, установленные на крышах зданий транспортного комплекса, также должны быть подключены через контроллер заряда к аккумуляторной батарее и надёжно закреплены у оснований.

Фотоэлектрические модули, установленные на крыше водородной заправочной станции, должны быть надёжно соединены между собой и подключены к электролизёру. При подаче освещения на поверхность фотоэлектрических модулей электролизёр будет расщеплять дистиллированную воду на кислород и водород, которые поступят в

специальные резервуары. Ветрогенераторы, установленные на крыше водородной заправочной станции, также должны быть подключены к электролизёру и надёжно закреплены у основания на крыше. При подаче освещения на поверхность фотоэлектрических модулей аккумуляторная батарея будет заряжаться через контроллер заряда, на котором загорится зелёный индикатор. При обдуве ветрогенераторов потоком воздуха также будет происходить заряд аккумуляторной батареи через контроллер заряда, а также электролиз дистиллированной воды в электролизёре. Потребитель водорода – баллон для водорода модели водородного автомобиля, который подключается к резервуару с водородом напрямую. После поступления водорода из резервуара для водорода модели водородного автомобиля в топливную ячейку, будет происходить выработка электрической энергии. Электролизёр аэропорта генерирует водород с помощью преобразователей солнечной и ветряной энергии, установленных на его поверхностях, для заправки солнечно-водородных летательных аппаратов, которые также могут вырабатывать автономно в полёте электрическую энергию с помощью фотоэлектрических модулей, установленных на их поверхностях.

При корректной работе системы и правильном соединении всех датчиков, плат и компонентов, на экране компьютера или мобильного телефона будет происходить демонстрация вырабатываемой и потреблённой электрической энергии в виде столбцов. Также будет демонстрироваться количество электрической энергии, которая поступила из сети или которая была туда передана при избытке её выработки преобразователями солнечной и ветряной энергии «зелёного» транспортного комплекса.

Потребители постоянного тока могут подключаться к контроллеру заряда напрямую, тогда как потребители переменного тока подключаются через инвертор электрического тока. При подключении и использовании инвертора, потребители переменного тока подключаются только через него. Использование подобных электронных устройств продемонстрирует принцип работы электрической системы и будет наглядным примером её работы.

При использовании солнечных модулей различной конструкции и ветрогенераторов большей мощности на реальном объекте следует обратиться к их инструкции по эксплуатации для выяснения особых условий их использования. Солнечные модули и ветрогенераторы также подключаются к контроллеру заряда и аккумуляторной батарее. Фотоэлектрические модули и ветрогенераторы на реальном объекте также подключаются к электролизёру с дистиллированной водой, однако для увеличения давления для подачи водорода в баллоны для кислорода и водорода следует использовать компрессоры, запитываемые от фотоэлектрических модулей и ветрогенераторов. При использовании двунаправленного счётчика электрической энергии при параллельной работе с существующей электрической сетью следует обратиться к его инструкции по эксплуатации. При солнечном освещении и присутствии ветра фотоэлектрические модули и ветрогенератор будут вырабатывать электричество, которое будет заряжать аккумулятор, заряд которого будет использован для потребителей постоянного и переменного тока, а также будет обеспечивать процесс электролиза в электролизёре, когда водород после расщепления воды будет направлен для заправки водородного электромобиля. При избытке электроэнергии (когда резервуар для водорода заполнен полностью), она, с помощью топливных ячеек, будет продаваться в централизованную сеть, а во время отсутствия солнечного излучения и ветра при разряженном электрическом аккумуляторе (при пустом резервуаре для водорода), электроэнергия будет подаваться из централизованной сети через двунаправленный счётчик электроэнергии.

3. Результаты и обсуждение.

В результате проделанной работы разработан и изготовлен макет-прототип «зелёного» транспортного комплекса, который демонстрирует принципы работы преобразователей солнечной и ветряной энергии на примере фотоэлектрических модулей и ветрогенераторов, которые производят заряд аккумуляторной батареи для заряда электротранспорта и питания различных потребителей постоянного и переменного тока, а также питают электролизёр с

целью получения водорода для заправки водородного электрического наземного и воздушного транспорта. Макет позволяет производить автономное и параллельное с существующей электросетью электроснабжение и питания водородного электрического наземного и воздушного транспорта, продавать кислород потребителям как вторичный продукт и продавать избыток электроэнергии в сеть при мощности электростанции не более 15 кВт. Разработанный макет будет интересен образовательным организациям для обучения школьников и студентов, а внедрение его компонентов в конструкцию реального транспортного комплекса позволит комплексу стать энергоактивным. Для распространения проекта в образовательных учреждениях с целью обучения обучающихся устойчивому развитию и принципам возобновляемой энергетики, электроники и электрического транспорта, планируется комплексное и коробочное решение (оформление) разработанного проекта. Макет-прототип также может быть оптимизирован и модернизирован, на что будут направлены дальнейшие работы.

4. Направления дальнейших исследований.

В дальнейших работах по усовершенствованию макета-прототипа «зелёного» транспортного комплекса планируется доработать электрическую схему системы, оптимизировать состав системы относительно количества и мощности фотоэлектрических модулей и ветрогенераторов, добавить в систему оборудование, работающее от переменного тока инвертора, а также добавить в конструкцию макета-прототипа теплофотоэлектрические и тепловые солнечные модули. Планируется добавить в макет-прототип новые датчики, потребителей электрической и тепловой энергии, после чего усовершенствовать и усложнить работу приложения и сайта для управления потребителями энергии и мониторинга баланса электрической энергии. С целью разнообразия энергоснабжения разработанного «зелёного» транспортного комплекса планируется добавить в её состав биогазовую установку для получения биометана для выработки тепла и электрической энергии из отходов (отходы питания посетителей, туалетов и т.п.), а также тепловые насосы для отопления

внутридомового пространства зданий и строений. Также планируется распространение макета в коробочном решении (оформлении) в образовательных учреждениях с целью обучения устойчивому развитию, принципам и технологиям возобновляемой энергетики и транспорта что улучшит осведомлённость детей и подростков о технологиях возобновляемой энергетики, электроники и транспорта.

5. Выводы.

В процессе создания макета-прототипа: были определены комплектация и схема разрабатываемого макета «зелёного» транспортного комплекса на основе возобновляемых источников энергии и на базе аккумуляторных и водородных технологий; изучены устройство, принцип работы солнечного модуля и ветрогенератора, электротранспорта, светодиодного освещения, контроллера заряда, аккумуляторной батареи и инвертора, водородного электротранспорта, электролизёра и топливной ячейки; изучена система автоматизированного проектирования; создана трёхмерная модель транспортного комплекса, преобразователей возобновляемой энергии и инфраструктурных объектов; изучена среда программирования Arduino IDE; изучены электронные компоненты и среда программирования для создания программы и сайта мониторинга энергопотребления транспортного комплекса; изучена программа-слайсер 3D принтера; созданы трёхмерные модели преобразователей возобновляемой энергии; изучены технология послойного наплавления полимерного материала с целью создания твердотельных прототипов с помощью 3D принтера; изготовлен макет транспортного комплекса, преобразователи возобновляемой энергии и инфраструктурные объекты с помощью послойного наплавления термопластика; созданы программа и сайт для управления оборудованием транспортного комплекса; проведена итоговая сборка компонентов транспортного комплекса в разработанный прототип; описаны конструкция, принцип работы, а также руководство по эксплуатации разработанного макета-прототипа «зелёного» транспортного комплекса; определены основные достоинства и недостатки разработанного макета

«зелёного» транспортного комплекса, а также направления для его дальнейшего совершенствования.

Разработанный макет может быть образовательным стендом для изучения принципов работы преобразователей солнечной и ветряной энергии, электроники и транспорта или примером реализации представленных решений в проекте на реальном транспортном комплексе.

6. Список используемой литературы.

1. Энергетические показатели различных видов транспорта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://lokomotiv.ru/info/energeticheskie-pokazateli-razlichnyh-vidov-transporta.html> (дата обращения: 11.02.2025 г.).

2. Выхлопные газы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Выхлопные_газы (дата обращения: 11.02.2025 г.).

3. Концепция развития электрического транспорта в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.slideserve.com/sonya-welch/27-2012> (дата обращения: 11.02.2025 г.).

4. Электротранспорт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Электротранспорт> (дата обращения: 11.02.2025 г.).

5. Планы развития электромобилей в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://automobile-club.ru/needtoknow/elektromobili-v-rossii-nuzny-li-oni-sejchas.html> (дата обращения: 11.02.2025 г.).

6. Динамика парка электромобилей в России и мире [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://marafon.livejournal.com/6775258.html> (дата обращения: 11.02.2025 г.).

7. Тепловая электростанция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Тепловая_электростанция (дата обращения: 11.02.2025 г.).

8. Московский электробус [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Московский_электробус (дата обращения: 11.02.2025 г.).

9. Водоробус [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Водоробус> (дата обращения: 11.02.2025 г.).
10. Чемезов раскрыл план испытаний водоробуса в Москве [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.rbc.ru/business/06/09/2021/613630179a79473b3a8e7425> (дата обращения: 11.02.2025 г.).
11. Росатом, РЖД и Трансмашхолдинг построят семь опытных водородных поездов на Сахалине [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2021/09/03/117088> (дата обращения: 11.02.2025 г.).
12. Распределённая энергетика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Распределённая_энергетика 247114731 (дата обращения: 11.02.2025 г.).
13. Возобновляемая энергия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Возобновляемая_энергия (дата обращения: 11.02.2025 г.).
14. Солнечная энергетика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнечная_энергетика (дата обращения: 11.02.2025 г.).
15. Ветроэнергетика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ветроэнергетика> (дата обращения: 11.02.2025 г.).
16. Солнечная батарея [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнечная_батарея (дата обращения: 11.02.2025 г.).
17. Ветрогенератор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ветрогенератор> (дата обращения: 11.02.2025 г.).
18. Рыжова Е.Л. Энергосберегающие и энергоэффективные технологии транспортной отрасли. Журнал естественнонаучных исследований. Том 5, № 2, 2020, с. 51-57.
19. Активный дом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Активный_дом (дата обращения: 11.02.2025 г.).

20. Энергоэффективные стёкла - уникальная новая разработка, необходимая для каждого дома [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://desmassive.ru/energoeffektivnye-stekla-unikalnaa-novaa-razrabotka-neobhodimaa-dla-kazdogo-doma-osobennosti/> (дата обращения: 11.02.2025 г.).

21. Ветрогенератор на крышу многоэтажного дома [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://stroiteh-msk.ru/materialy/vetrogenerator-na-kryshu-mnogoetazhnogo-doma-96-foto.html> (дата обращения: 11.02.2025 г.).

22. Почему возобновляемые источники энергии так быстро дешевеют и к чему это может привести? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://news.myseldon.com/ru/news/index/247114731> (дата обращения: 11.02.2025 г.).

23. Средняя рыночная цена ветрогенераторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Файл:Средняя_рыночная_цена_ветрогенераторов_2018.jpg (дата обращения: 11.02.2025 г.).

24. Развитие солнечной энергетики в мире [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://oooevna.ru/razvitie-solnesnoj-energetiki-v-mire> (дата обращения: 11.02.2025 г.).

25. Темпы роста ветряных электростанций в мире [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.triodos.es/es/articulos/2018/revolucion-el-nuevo-potencial-de-las-renovables> (дата обращения: 11.02.2025 г.).

26. Ключевые результаты реформы электроэнергетики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://pandia.ru/text/82/006/45403.php> (дата обращения: 11.02.2025 г.).

27. Воздействие на окружающую среду различных видов транспорта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://studfile.net/preview/2988403/> (дата обращения: 11.02.2025 г.).

28. Шумовое загрязнение: источники, опасность, способы защиты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://cleanbin.ru/problems/noise-pollution> (дата обращения: 11.02.2025 г.).

29. Энергоактивные здания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://studopedia.su/15_125391_energoaktivnie-zdaniya.html (дата обращения: 11.02.2025 г.).
30. Babaev B.D., Panchenko V., Kharchenko V.V. Calculation of Receipt of Renewable Energy Resources and Operation Modes of Power Plants. Handbook of Research on Smart Technology Models for Business and Industry, 2020, p. 70-88, DOI: 10.4018/978-1-7998-3645-2.ch004.
31. Курсовая работа. Развитие солнечной энергетики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.bestreferat.ru/referat-199722.html> (дата обращения: 11.02.2025 г.).
32. Прорыв в будущее – основные направления использования энергии Солнца на Земле [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://energo.house/sol/ispolzovanie-energii-solntsa-na-zemle.html#Gde_ispolzuetsa_solnecnaa_energia (дата обращения: 11.02.2025 г.).
33. Panchenko V., Izmailov A., Kharchenko V., Lobachevskiy Ya. Photovoltaic Solar Modules of Different Types and Designs for Energy Supply. International Journal of Energy Optimization and Engineering, Volume 9, Issue 2, 2020, p. 74-94, DOI: 10.4018/IJEOE.2020040106.
34. Процесс ламинирования в солнечных батареях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://ru.everexceed.com/blog/lamination-process-in-solar-panels_b141 (дата обращения: 11.02.2025 г.).
35. Средства индивидуальной мобильности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Средства_индивидуальной_мобильности (дата обращения: 11.02.2025 г.).
36. Водородная заправочная станция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Водородная_заправочная_станция (дата обращения: 11.02.2025 г.).

37. "Зеленый водород": настоящее и будущее низкоуглеродной энергетики РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://tass.ru/obschestvo/13271849> (дата обращения: 11.02.2025 г.).
38. Электролиз воды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Электролиз_воды (дата обращения: 11.02.2025 г.).
39. Водород у ворот [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://pro-arctic.ru/09/10/2020/resources/41167> (дата обращения: 11.02.2025 г.).
40. Топливный элемент [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Топливный_элемент (дата обращения: 11.02.2025 г.).
41. Ветрогенератор для частного дома [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://happymodern.ru/vetrogenerator-dlya-chastnogo-doma/> (дата обращения: 11.02.2025 г.).
42. Энергетический переход [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Энергетический_переход (дата обращения: 11.02.2025 г.).
43. Панфилов И.А., Панченко В.А., Ерошенко В.И., Гусаров В.А.. Реализация совместного проекта МГГУ им. М.А.Шолохова и ФГБНУ ВИЭСХ «Солнечная аудитория». Инновации в сельском хозяйстве. Теоретический и научно-практический журнал, № 1 (16) /2016, С. 234 – 241.
44. Panchenko V.A., Chirsky S.P., Kovalev A.A., Litti Y.V., Karaeva Y.V., Katraeva I.V. Modeling and manufacturing of solar modules of different designs for energy supply of biogas plant. International Journal of Hydrogen Energy, Volume 84, 2024, 177-191. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.08.125>.
45. Стребков Д.С., Персиц И.С., Панченко В.А. Солнечные модули с увеличенным сроком службы. Инновации в сельском хозяйстве. Теоретический и научно-практический журнал. Инновации в возобновляемой энергетике. № 3(8)/2014, С. 154 – 158.
45. Панченко В.А. Обзор и применение солнечных модулей, разрабатываемых и выпускаемых ГНУ ВИЭСХ. Вестник ВИЭСХ, 2014, № 4 (17), С. 20 – 29.

46. «Дерево ветров», новая ветряная турбина, которая выглядит как дерево и бесшумно вырабатывает электроэнергию [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.renovablesverdes.com/ru/ветровое-дерево/> (дата обращения: 11.02.2025 г.).
47. Вертикально-осевой ветрогенератор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://mavink.com/explore/Vertical-Access-Wind-Turbine> (дата обращения: 11.02.2025 г.).
48. Топливный_элемент [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Топливный_элемент (дата обращения: 11.02.2025 г.).
49. Возрождение дирижаблей! Они снова в тренде [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://dzen.ru/a/XXdVlwJ6FQCuUUUX> (дата обращения: 11.02.2025 г.).
50. «Солнечный» самолет Solar Impulse совершит полет из Брюсселя в Париж [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://habr.com/ru/amp/publications/121274/> (дата обращения: 11.02.2025 г.).
51. Обновленный дрон на солнечной тяге будет представлен на выставке в Лас-Вегасе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://mykvadrocopter.ru/solardrone/> (дата обращения: 11.02.2025 г.).
52. Галилео. Солнечные батареи. Solar panels [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.youtube.com/watch?v=6gicYfuleI4> (дата обращения: 11.02.2025 г.).
53. Панченко В.А. Моделирование теплофотоэлектрической кровельной панели для энергоснабжения объектов. Строительство и техногенная безопасность, №13(65), 2018, с. 143 – 158.
54. Совместное потребление [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Совместное_потребление (дата обращения: 11.02.2025 г.).
55. Водородный транспорт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Водородный_транспорт (дата обращения: 11.02.2025 г.).

56. Inventor. Профессиональная 3D-САПР для проектирования и конструирования изделий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.autodesk.ru/products/inventor/overview> (дата обращения: 11.02.2025 г.).
57. 3D Принтер Ender-3 Pro [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.creality.com/ru/goods-detail/ender-3-pro-3d-printer> (дата обращения: 11.02.2025 г.).
58. Полилактид [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Полилактид> (дата обращения: 11.02.2025 г.).
59. Creality Slicer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.creality.com/download> (дата обращения: 11.02.2025 г.).
60. Всероссийский научный агроинженерный центр ВИМ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://vim.ru> (дата обращения: 11.02.2025 г.).
61. Этиленвинилацетат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Этиленвинилацетат> (дата обращения: 11.02.2025 г.).
62. WeMos D1 Mini ESP8266 Arduino WiFi Board [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://makersportal.com/blog/2019/6/12/wemos-d1-mini-esp8266-arduino-wifi-board> (дата обращения: 11.02.2025 г.).
63. ESP8266 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/ESP8266> (дата обращения: 11.02.2025 г.).
64. Датчик влажности и температуры DHT11 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://robotclass.ru/tutorials/arduino-dht/> (дата обращения: 11.02.2025 г.).
65. Датчик водорода MQ-8 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://know.smartelements.ru/main:sensors:mq8?ysclid=m71vrzjgqs21497536> (дата обращения: 11.02.2025 г.).
66. ШИМ-контроллеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: http://epsolar.ru/kontrolleri_zarjada_SHIM (дата обращения: 11.02.2025 г.).

67. Аккумуляторные батареи Delta [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://delta-batt.com/> (дата обращения: 11.02.2025 г.).

68. Инверторы для аккумуляторных батарей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://xantrex.com/power-products/power-inverters/xpower-inverter-international.aspx> (дата обращения: 11.02.2025 г.).