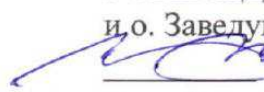


Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
САЯНО-ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра «Гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических систем и электрических сетей»

УТВЕРЖДАЮ

и.о. Заведующего кафедрой

 И.Ю. Погоняйченко


« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

**РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ГИБРИДНОЙ ГЕЛИО-  
ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ  
С МАЛОЙ НАСЕЛЕННОСТЬЮ**

13.04.02.06 Гидроэлектростанции

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Научный руководитель  профессор кафедры ГГЭЭС  
08.06.18 доктор технических наук М.Ф. Носков  
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник  08.06.18  
подпись, дата А.В. Навесов  
инициалы, фамилия

Рецензент  начальник ПТС  
07.06.18 Воткинской ГЭС Р.А. Шамсуаров  
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Нормоконтролер  16.06.18  
подпись, дата А.А. Чабанова  
инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2018

## АННОТАЦИЯ

**Тема магистерской диссертации:** Разработка проекта гибридной гелио-гидроэлектростанции для электроснабжения городов с малой населённостью.

**Объем диссертации** составляет 74 страницы, 32 рисунка, 8 таблиц.

**Объектом исследования при написании работы послужил** потенциал использования солнечной энергетики в нашей стране для энергоснабжения регионов не подключенных к Единой Энергетической системе России.

**Предметом исследования** стал проект гибридной гелио-гидроэлектростанции.

**Ключевые слова:** солнечная энергетика, фотоэлектрическая установка, аккумуляторная батарея, себестоимость электроэнергии, солнечная инсоляция, дальневосточный гектар, гибридная гелио-гидроэлектростанция, дизель-генераторная установка.

В магистерскую диссертацию входят: введение, пять глав и заключение.

Во введении раскрывается актуальность исследования, указывается его значимость, происходит постановка целей и задач.

Первая глава посвящена общим сведениям о возобновляемых источниках энергии, их состоянию на сегодняшний день и перспективам.

Вторая глава посвящена описанию текущего состояния солнечной энергетики в России и мире. Проанализированы экономические факторы, замедляющие развитие и перспективы данной отрасли.

Третья глава посвящена непосредственно пилотному проекту, а именно выбору местоположения, анализу природных ресурсов и выбору оборудования.

Четвёртая глава посвящена расчёту проекта в специальном программном комплексе HOMER.

Пятая глава посвящена экономическому обоснованию рентабельности проекта.

Заключение посвящено основным выводам и предложениям, полученным в ходе выполнения работы.

## АВТОРЕФЕРАТ

**Актуальность работы.** Роль электроэнергии в современном мире трудно переоценить. Электрический ток является уникальным носителем энергии, который пригоден для использования во всех сферах и процессах человеческой жизни. Благодаря своей делимости, мгновенной передаче на большие расстояния и высокому коэффициенту использования электроэнергия наиболее приемлема для удовлетворения производственных, социальных, бытовых, коммуникационных и других энергетических потребностей человеческого сообщества. Электровооружённость стран и потребность в электроэнергии в будущем будет только возрастать.

На сегодняшний день выработка электроэнергии базируется в основном на не возобновляемых источниках энергии. Доля возобновляемых источников энергии во многих странах крайне небольшая. В России, например, всего 19% от всей выработки электроэнергии приходится на возобновляемые источники (преимущественно гидроэнергетика). Для сравнения в Бразилии этот показатель составляет 85%.

Электроэнергетика, которая основывается на исчерпаемых источниках энергии имеет ряд минусов. Во-первых, это зависимость от поставок и наличия необходимого ресурса. Как только необходимый источник энергии заканчивается – заканчивается и выработка электроэнергии. Во – вторых, такой тип получения является “грязным”. Выбросы в атмосферу, загрязнение рек и земель, всё это приводит к постепенной гибели планеты и ухудшению здоровья людей. Возобновляемые источники электроэнергии не имеют данных минусов. Всё это говорит в пользу получения энергии от естественных процессов, протекающих в нашей планете. Однако, человечество, к сожалению, не спешит переходить на новые виды источников. Это обуславливается в первую очередь их дороговизной и непостоянством получения требуемого ресурса. Так, например, солнечная генерация требует закупки дорогостоящих солнечных элементов и возможна только в светлое время суток. Это делает её непривлекательной для инвестирования. Но всё меняется.

На сегодняшний день себестоимость электроэнергии для солнечных электростанций варьируется в пределах 35-150 копеек за кВт\*час. Это показатель, который, конечно выше, чем стоимость электрогенерации ТЭС и АЭС, но уже сравним с ними. Кроме того, здесь следует обращать внимание на то, что стоимость электроэнергии, получаемой от невозобновляемых источников, будет только расти, а с солнечной генерацией всё обстоит прямо противоположно. Бесспорно за этим будущее.

В России на сегодняшний день развитие солнечной генерации происходит медленно. Это связано с дороговизной элементов, производимых в стране и слабой поддержке этого вопроса со стороны государства. Но общая тенденция к развитию и снижению цены аналогична мировой. Поэтому применение солнечных батарей в нашей стране – вопрос времени. Целесообразным на данный момент будет применение солнечной

электроэнергии для отдалённых мест с высокой инсоляцией, в которых есть проблемы с поставкой традиционной электроэнергии. «Нужно разрабатывать свои технологии, нужны прямые субсидии и нужно развивать ВИЭ для труднодоступных мест, куда тянуть классическую ЛЭП слишком дорого» - директор Фонда энергетического развития Сергей Пикин.

Применение солнечных батарей для таких мест и регионов, позволит обеспечить их относительно недорогой и “чистой” электроэнергией, позволит не тянуть длинную и дорогостоящую ЛЭП от ближайшей электростанции. Однако, как быть со вторым минусом солнечной генерации – выработка энергии только в светлое время суток?

Для решения данной проблемы, предлагается гибридная гелио-гидроэлектростанция. Её применение позволит обеспечить бесперебойной электроэнергией отдалённые районы нашей страны. В настоящее время примерно 2/3 территории России находится вне зоны централизованного электроснабжения. Применение подобной электроустановки позволит обеспечить эти территории электроэнергией.

**Цель работы:** создание пилотного проекта гибридной СГЭУ, расчёт в программе Nomer, оценка его пригодности для энергоснабжения отдалённых территорий, а также населённых пунктов, создающихся в рамках реализации государственной программы: “Дальневосточный гектар”.

#### **Задачи исследований:**

- для выбранной местности провести анализ солнечной активности, определить её максимальные и минимальные показатели;
- произвести оценку гидроресурсов местности;
- на основании полученных данных выбрать оборудование и произвести расчёт;
- проанализировать экономические показатели проекта.

#### **Практическая значимость работы:**

1. Исследовано текущее состояние солнечной энергетики в России и в мире
2. Проанализированы регионы, пригодные для внедрения ВИЭ.
3. Подобрано оборудование для подобных типов станций.
4. С помощью программы NOMER выбран оптимальный состав оборудования.
5. Проанализирована возможность интеграции в государственную программу “Дальневосточный гектар”.

**Предмет исследования:** расчетные параметры гибридной гелио-гидроэлектростанции и её экономические показатели.

**Апробация работы:** Результаты выполненной работе докладывались и обсуждались на конференциях: Четвёртая Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Гидроэлектростанции XXI века», Пятая Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Гидроэлектростанции XXI века»

**Личный вклад:** выносимые на защиту результаты получены соискателем лично.

**Публикации.** По основным результатам опубликовано 2 печатные работы.

**Структура и объем диссертации:** диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, изложена на 75 страницах машинописного текста, содержит 31 рисунок, 4 таблицы, список используемой литературы из 30 наименований и одно приложение.

**Ключевые слова:** *солнечная энергетика, фотоэлектрическая установка, аккумуляторная батарея, себестоимость электроэнергии, солнечная инсоляция, дальневосточный гектар, гибридная гелио-гидроэлектростанция, дизель-генераторная установка.*

## ABSTRACT

**Actuality of work.** The role of electricity in the modern world can not be overestimated. Electric current is a unique carrier of energy, which is suitable for use in all spheres and processes of human life. Due to its divisibility, instantaneous transmission over long distances and a high utilization rate, electricity is most acceptable to meet the production, social, household, communication and other energy needs of the human community. The electrification of countries and the need for electricity in the future will only increase.

Today, electricity generation is based mainly on non-renewable energy sources. The share of renewable energy in many countries is extremely small. In Russia, for example, only 19% of all electricity generation is from renewable sources (mainly hydropower). For comparison, in Brazil, this figure is 85%.

Electric power, which is based on exhaustible sources of energy has a number of drawbacks. First, it is a dependence on supplies and the availability of the necessary resource. As soon as the necessary energy source is over, energy production ends. Secondly, this type of receipt is "dirty". Emissions into the atmosphere, pollution of rivers and lands, all this leads to the gradual death of the planet and the deterioration of human health. Renewable sources of electricity do not have these drawbacks. All this speaks in favor of obtaining energy from the natural processes taking place in our planet. However, mankind, unfortunately, is not in a hurry to switch to new types of sources. This is due primarily to their high cost and inconsistency in obtaining the required resource. For example, solar generation requires the purchase of expensive solar cells and is only possible during the daytime. This makes it unattractive for investment. But everything changes.

To date, the cost of electricity for solar power plants varies between 35-150 kopecks per kWh. This is an indicator that is certainly higher than the cost of generating electricity from TPPs and nuclear power plants, but we are already comparable with them. In addition, one should pay attention to the fact that the cost of electricity received from non-renewable sources will only grow, and with solar generation, everything is exactly the opposite. Undoubtedly for this the future.

In Russia, to date, the development of solar generation is slow. This is due to the high cost of the elements produced in the country and the weak support of this issue by the state. But the general tendency to develop and reduce prices is similar to the world one. Therefore, the use of solar batteries in our country is a matter of time. It is advisable at the moment to use solar energy for remote locations with high insolation, which have problems with the supply of traditional electricity. "We need to develop our technologies, we need direct subsidies and we need to develop renewable energy sources for hard-to-reach places, where it's too expensive to pull a traditional power line" - Director of the Energy Development Fund Sergei Pikin.

The use of solar cells for such places and regions, will provide them with relatively inexpensive and "clean" electricity, will not allow to pull a long and expensive transmission line from the nearest power station. However, what about the second disadvantage of solar generation - the generation of energy only during daylight hours?

To solve this problem, a hybrid helio-hydroelectric power station is proposed. Its application will ensure uninterrupted power supply to remote areas of our country. Currently, about 2/3 of the territory of Russia is outside the zone of centralized power supply. The use of such an electrical installation will make it possible to provide these territories with electricity.

**The purpose of the project** was to create a pilot project of a hybrid SGEU, calculate it in the Homer program, assess its suitability for energy supply to remote areas, and settlements created within the framework of the state program: "Far Eastern hectare".

**Research objectives:**

- for the selected area to analyze the solar activity, determine its maximum and minimum values;
- evaluate the water resources of the area;
- on the basis of the data obtained, select the equipment and perform the calculation;
- analyze the economic indicators of the project.

**Practical significance of the work:**

1. The current state of solar energy in Russia and in the world
2. Regions suitable for the introduction of RES have been analyzed.
3. Equipment for these types of stations was selected.
4. Using the HOMER program, the optimal equipment is selected.
5. The possibility of integration into the state program "Far Eastern hectare" was analyzed.

**The subject of the study:** the calculated parameters of the hybrid helio-hydroelectric plant and its economic indicators.

**Approbation of the work:** The results of the work were reported and discussed at the conferences: The Fourth All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students "Hydroelectric Power of the XXI Century", Fifth All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students "Hydroelectric Power of the XXI Century"

**Personal contribution:** the results to be defended are obtained personally by the applicant.

**Publications.** The main results published 2 printed works.

**The structure and scope of the dissertation:** the thesis consists of an introduction, five chapters and a conclusion, set out on 75 pages of typewritten text, contains 31 figures, 4 tables, a list of used literature from 30 titles.

**Key words:** solar power, photovoltaic system, battery, power cost, solar insolation, Far Eastern hectare, hybrid helio-hydroelectric power station, diesel generator set.



## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	10
1.Современные энергоустановки на основе возобновляемых источников энергии, возможности и проблемы связанные с ними .....	11
1.1Возобновляемые источники энергии, особенности .....	11
1.2 Перспективы возобновляемой энергетики в России .....	12
1.3 Малые ГЭС.....	13
1.4 Ветроэнергетика .....	18
1.5 Гелиоэнергетика .....	21
2. Анализ возможности солнечной энергетики в разных регионах.....	35
2.1 Солнечная энергетика на Дальнем Востоке .....	35
2.2 Солнечная энергетика в Красноярском крае.....	36
2.3 Солнечная энергетика в Астраханской области .....	39
2.4 Солнечная энергетика в Волгоградской области.....	40
3. Исследование поселка Чумикан .....	44
3.1 Обоснование выбора поселка .....	44
3.2 Исследование солнечной инсоляции в поселке .....	45
3.3 Исследование гидроэнергетического потенциала реки Уда .....	45
3.4 Выбор фотоэлектрической установки.....	47
3.5 Выбор гидроэнергетической установки .....	49
3.6 Выбор аккумуляторной батареи .....	52
3.7 Выбор инвертора и контроллера .....	57
4 Расчет в программном комплексе HOMER.....	59
4.1 Общее описание окон программного комплекса.....	59
4.2 Задание исходных данных для расчета .....	61
4.3 Выбор основного оборудования и задание их параметров .....	64
4.4 Расчет гибридной гелио-гидроэлектростанции в программе Homer .....	66
5 Экономические показатели проекта .....	71
5.1 Расчет затрат на содержание дизель-генераторной станции .....	71
5.2 Расчет инвестиционной привлекательности проекта .....	72
5.3 Расчет срока окупаемости в случае привлечения денежных средств в кредит .....	72
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	74
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	76
Приложение А .....	78

## ВВЕДЕНИЕ

Работа посвящена созданию методологических основ проектирования гибридной гелио-гидроэлектростанции для удаленных от линий централизованного электроснабжения небольших поселений.

Именно вопрос электроснабжения отдалённых потребителей наиболее остро стоит в большинстве регионов Сибири и Дальнего Востока. Эти территории имеют богатые природные ресурсы, огромные возможности развития инфраструктуры и создания масштабного производства. Необходимость неоправданно больших капиталовложений в строительство линий электропередач в условиях сложного рельефа местности, огромных расстояний вкупе с малой потребляемой мощностью объекта ещё раз подтверждает актуальность поиска альтернативных методов решения задачи, электрификации данных объектов.

Внедрение альтернативной энергетики на основе возобновляемых источников энергии позволяет создавать надежные, редко обслуживаемые локальные системы энергоснабжения. При этом одним из доступных, удобных и выгодных вариантов является солнечная энергетика. Солнечные панели можно располагать, где угодно, они достаточно удобны для размещения,

Данная отрасль энергетики является достаточно инновационной для нашей страны, однако её потенциал здесь огромен.

Стоит понимать, что далеко не все мест подходят для размещения фотоэлектрических установок по экономическим, либо техническим причинам. При оценке пригодности площадки все аспекты её пригодности и соответствия необходимым требованиям должны быть решены.

Первоначальная подборка мест для размещения производится, как правило, на основании нескольких возможных мест размещения будущей гибридной гелио-гидроэлектростанции. Основными критериями такого предварительного отбора будут: характеристики солнечной инсоляции, гидрологические характеристики реки, температурный режим, удаленность от потребителей и сетей, ценовая и тарифная ситуация в регионе, планы других компаний по строительству других мощностей генерации и др.

Изучив географическое положение поселка Чумикаг, климатические особенности и наличие районов с децентрализованным энергоснабжением, было решено, что данная территория вполне удовлетворяет критериям для размещения будущей гибридной гелио-гидроэлектростанции.

# **1 Современные энергоустановки на основе возобновляемых источников энергии, возможности и проблемы связанные с ними**

## **1.1. Возобновляемые источники энергии, их особенности**

Использование энергии возобновляемых источников энергии является одним из приоритетных направлений развития мировой энергетики. Это связано с ростом цен на ископаемое топливо, необходимостью обеспечения стабильности поставок энергии, обострения климатических проблем. В современном мире качество жизни населения во много определяется именно его энергообеспеченностью. Но, традиционные ресурсы достаточно неравномерно распределены по земному шару, в связи с чем определённые страны вынуждены экспортировать свои ресурсы (Россия), а другие импортировать (страны ЕЭС). Однако, это “несправедливое” распределение практически не распространяется на ВИЭ. Ими в той или иной степени располагает каждая страна и в большинстве случаев они способны покрыть все её энергетические потребности.

Также большое значение имеет экологическая чистота. Традиционная энергия, как правило, является “грязной” и даёт порядка 50% выбросов, связанных с жизнью человечества. В случае же с ВИЭ можно сказать что они в гораздо меньшей степени влияют на экологическую обстановку Земли.

Новые технологии в энергетическом секторе развиваются и продвигаются в течение десятков лет, поэтому, готовиться к реструктуризации энергетики надо уже сейчас. А готовиться необходимо, традиционные ресурсы в ближайшие десятилетия начнут заканчиваться, для добычи новых потребуются значительные финансовые вложения и если, к этому времени не будут развиты ВИЭ, то это приведёт к тяжёлым последствиям как для экономики, так и для жизни каждого конкретного человека. Необходимо активно проводить исследования и разрабатывать новые технологии, которые будут удовлетворять условиям нашего будущего мира.

Главным двигателем новых энергоресурсов является технический прогресс. Именно благодаря ему, уже на сегодняшний день, ряд новых технологий является вполне конкурентоспособными на фоне традиционных. Вдобавок к этому, у новых технологий огромный потенциал для дальнейшего улучшения технико-экономических показателей, в первую очередь, сокращения себестоимости электроэнергии. Учитывая, что эксплуатационные расходы на ВИЭ, как правило, очень малы, стоимость возобновляемых источников энергии снижается из года в год и выработка электроэнергии не загрязняет атмосферу – всё это делает возобновляемую энергетику привлекательной для инвестирования и дальнейшего развития.

Согласно фактам ВИЭ, развивается достаточно быстрыми темпами, показывая рост в десятки процентов в год, в то время как энергетика прошлого наращивает мощности всего на 1-1,5% в год. Всё это говорит о том, что несмотря на свои особенности, возобновляемая энергетика – это наше будущее.

## 1.2 Перспективы возобновляемой энергетики в России

В нашей стране данный вопрос является довольно неоднозначным. С одной стороны существуют огромные возможности для развития и работы в этом направлении. С другой стороны Российская Федерация обладает огромным запасом традиционных источников энергии и на данный момент их использование, наиболее экономически выгодно и менее трудозатратно. Это усложняет развитие этой новой для России отрасли. Главная задача государства в данном случае – всячески стимулировать, как крупных отраслевых игроков, так и частных инвесторов, к переходу и использованию данных технологий. Например распоряжением Правительства России от 8 января 2009 установлен индикатор роста мощности ВИЭ до 2024 года. Он составляет 5,5 ГВт или 4,5% от общего объема мощности. У других стран этот показатель варьируется от 15 до 20%. Причём в нашей стране этот показатель относится только к централизованной энергетике и не касается обособленных потребителей, что не в полной мере отражает реальные приоритеты страны.

Для стимулирования развития в 2013 была дополнена нормативная база, что позволило использовать механизм торговли мощностями в рамках ДПМ для электростанций на основе возобновляемых источников энергии с того же года. При внедрении этого механизма на основе тендера выбираются объекты генерации возобновляемых источников энергии с установленной мощностью более 5 МВт. Проекты отбираются для строительства в ценовых зонах оптового рынка в рамках подаваемых заявок, в которых среди ключевых критериев указываются полные и предельные капитальные затраты на строительство мощности, предельные эксплуатационные затраты, а также вид ВИЭ. На данный момент уже есть первые результаты данных мер. Например, если в 2013 году в конкурсе проектов ВИЭ было отобрано 504 МВт мощности, то в 2014 уже 577 МВт. Однако данные результаты являются совершенно “несерьёзными” и темпы роста необходимо ускорять в несколько сотен, если не тысяч раз.

Одной из ключевых проблем развития ВИЭ в условиях Российской действительности является то факт, что существующие нормы технического регулирования делают невозможным прогнозирование сроков согласования проектной документации, реализации проектных решений, что ведет к существенному, неоправданному удорожанию проектов строительства новых видов генерации, в частности ветроэнергетических станций. Например, нормы для ветряных турбин, которые представляют собой очень высокую конструкцию (не менее 80-90 м), требования предъявляются как для высотных зданий и сооружений (небоскрёбы Москва - сити). В результате такого подхода типичный проект ветровой превращается в объект, требующий отдельного подробного рассмотрения, с представлением неуместных требований для обеспечения устойчивости структурных элементов, заимствованных из многоэтажного строительства. Это приводит к тому, что проекты Российских

ветропарков обойдутся потенциальному инвестору в 1,5 – 2 раза дороже, чем в Европе.

Характерная особенность российского энергетического сектора - 100-процентная резервируемость в случае ремонта основной линии - дает почти двукратное переоценку стоимости решений по поставке электроэнергии по сравнению с европейскими проектами. Но из-за их специфики, возобновляемая энергия не может в принципе гарантировать постоянное производство электричества. В случае ремонтных ситуаций было бы проще временно приостановить работу станции, чем построить еще одну дорогую линию электропередач.

Эти и многие другие факторы делают возобновляемую энергетику в России абсолютно неинтересной для потенциальных инвесторов. Поэтому, в первую очередь требуется от российских специализированных учреждений пересмотреть существующие нормативно-правовые акты, касающиеся строительства и эксплуатации объектов, с тем чтобы привести их в соответствие с принятыми международными практиками и стандартами для того, чтобы избежать чрезмерных требований и излишне завышать стоимость строительства объектов ВИЭ.

При разработке ВИЭ мы создаем две новые высокотехнологичные отрасли в России: производство оборудования и оборудования для возобновляемых источников энергии, а также строительство и эксплуатацию таких объектов. Единственным правильным решением в этом случае будет отказ от всех сомнений и создание широкомасштабной и перспективной отрасли возобновляемых источников энергии, развитие и развитие компетенций в этой области, интеграция в глобальные производственные цепочки и один из основных игроков в мире рынка ВИЭ.

### **1.3 Малые ГЭС**

В России к малой гидроэнергетике относят бесплотинные гидроэлектростанции (ГЭС), мощность которых не превышает 30 МВт, а мощность единичного гидроагрегата составляет менее 10 МВт. Такие ГЭС, в свою очередь, делятся на: микро-ГЭС (мощностью от 1.5 до 100 кВт); малые ГЭС (мощностью от 100 кВт до 30 МВт).

Это достаточно интересная для инвестиций отрасль. С одной стороны, на небольших, микро- или нано-гидроэлектростанциях сочетаются преимущества большой ГЭС, а с другой - возможность децентрализованной подачи энергии. У них не так много недостатков, характерных для крупных ГЭС, а именно: дорогие передачи, проблемы, связанные с негативным воздействием на окружающую среду. Кроме того, использование малой гидроэнергетики приводит к децентрализованному использованию электроэнергии, способствует развитию этого региона, главным образом на основе самодостаточности и использования местных ресурсов.

Большинство из них не имеют больших водохранилищ, либо бесплотинную компоновку. Они вырабатывают электроэнергию, если естественного уровня воды в реке достаточно, но в периоды высыхания реки или снижения расхода ниже определенной величины производство электроэнергии приостанавливается.

Технико-экономический потенциал малой гидроэнергетики в России превышает потенциал возобновляемых источников энергии, таких как ветер, солнце и биомасса в сочетании. В настоящее время он оценивается в 60 миллиардов кВт\*ч в год. Но этот потенциал крайне слабый: всего 1%. Не так давно, в 1950-х и 1960-х годах, работало несколько тысяч МГЭС. Сейчас - всего несколько сотен - результаты искажений в ценовой политике и недостаточное внимание к совершенствованию конструкции оборудования, использованию более совершенных материалов и технологий.

Одним из основных преимуществ малых гидроэнергетических объектов является экологическая безопасность. В процессе их строительства и использования вредного воздействия на свойства и качество воды там. Вода также может использоваться для рыбной деятельности и в качестве источников водоснабжения для населения. наносят ущерб. Однако в дополнение к этому, микро- и малые гидроэлектростанции имеют много преимуществ. Современные станции просты в дизайне и полностью автоматизированы, т. е. не требуют присутствия человека во время работы. Произведенный ими электрический ток соответствует требованиям ГОСТ для частоты и напряжения, и станции могут работать как в автономном режиме, так и в составе энергосистемы. И общая продолжительность жизни станции составляет не менее 40 лет (не менее 5 лет до капитального ремонта). Ну и что самое главное - небольшие энергетические объекты не требуют организации крупных водохранилищ с соответствующим затоплением территории и колоссальным материальным ущербом.

В 1990-х годах из-за сокращения объемов крупной гидроэнергетики в России такие предприятия, как ОАО «ЛМЗ» и ОАО «НПО ЦКТИ» (Санкт-Петербург), ОАО «Тяжмаш» (Сызрань) и др. В то же время малые предприятия и совместные предприятия, были созданы акционерные общества, производящие оборудование для МГЭС, в том числе в рамках конверсии. Среди них наиболее известными являются МНТО «Инсет» и НПЦ «Ранд» из Санкт-Петербурга, а также ОАО «НАПОР», ОАО «НИИЭС», ОАО «Энергомаш» из Москвы. Среди поставщиков оборудования также следует отметить региональные организации, которые когда-то были частью Всесоюзного института «Гидропроект». В настоящее время на российском рынке имеются комплексные гидравлические агрегаты с автоматическими системами управления и регулирования для сетей и автономных МГЭС на этажах от 1 до 250 метров, а также нестандартное гидромеханическое, подъемное оборудование, напорные трубопроводы, предтурбинные затворы, трансформаторы подстанций, распределительных устройств и других компонентов, необходимых для строительства малых энергообъектов. Для МГЭС с использованием статического давления на гидравлических устройствах

с радиально-осевыми, пропеллерами, ковшами, наклонными и поперечными реактивными передними гидротурбинами упрощенной конструкции. В настоящее время на российском рынке интегрированы гидроагрегаты с системами автоматического управления и регулирования для сетей и автономных ГЭС на этажах от 1 до 250 метров, а также нестандартное гидромеханическое, подъемное оборудование, напорные трубопроводы, предтурбинные затворы, трансформаторные подстанции, распределительные устройств и другие компоненты, необходимые для строительства небольших энергетических объектов. Для МГЭС с использованием статического давления на гидравлические устройства с радиально-осевыми, пропеллерными, ковшовыми, наклонно- и поперечно-струйными, фронтальными гидротурбинами упрощенной конструкции.

Среди факторов, препятствующих развитию малой гидроэнергетики в России, большинство экспертов объясняют недостаточную осведомленность потенциальных пользователей о преимуществах использования малых гидроэнергетических объектов; недостаточное знание гидрологического режима и объема стока малых водотоков; низкое качество существующих методов, рекомендаций и СНиП, что является причиной серьезных ошибок в расчетах; неразработанные методы оценки и прогнозирования возможного воздействия на окружающую среду и хозяйственную деятельность; слабая производственная и ремонтная база предприятий, производящих гидроэнергетическое оборудование для ГЭС, а массовое строительство малых гидроэлектростанций возможно только в случае массового производства оборудования, отказа от индивидуального проектирования и качественно нового подхода к надежности и стоимости оборудования - по сравнению со старыми объектами, выведенными из эксплуатации.

Многие из малых ГЭС не всегда обеспечивают гарантированную выработку электроэнергии, являясь сезонными электростанциями. Зимой отпуск энергии резко падает, снежный покров и льдообразование, а также летняя низкая вода и высыхание рек могут вообще приостановить их работу. Сезонность малых ГЭС требует дублирования источников энергии, многие из них могут привести к потере надежности энергоснабжения. Поэтому во многих областях способность малых ГЭС к выработке рассматривается не как основная, а как дублирующая.

Водохранилища малых ГЭС, особенно горных и предгорных, очень чувствительны к заиливанию и связанными с этим проблемами повышения уровня воды, затопления, снижения гидроэнергетического потенциала рек и выработки электроэнергии. Известно, например, что водохранилище Земонечальской ГЭС на реке Кура за 5 лет засохло на 60%.

На сегодняшний день существует широкое количество различных типов малых ГЭС, причём некоторые из них, это практически готовые решения, которые легко адаптировать под различные климатические условия.

**Гирляндная мини-ГЭС.** Полуметровые крыльчатка гребных винтов изготовлены из 0,5-0,7 мм оцинковки, они нанизаны и закреплены на стальном

канате 10-15 мм – он становится приводным валом генератора.. Трос закрепляется закреплен опорным соединением на металлической подставке на одном берегу, а с другой - на валу ротора генератора. По расчетам ее разработчика Бориса Сергеевича Блинова, на реке со скоростью течением порядка 2,5 м/с каждая гидроэнергетическая установка гирляндной микро-ГЭС произведет в среднем от 1,5 до 2 кВт. О действующих моделях такой гидроэлектростанции толком ничего не известно, поэтому трудно судить о ее реальной эффективности..

Недостатки гирляндной гидроэлектростанции: высокое потребление материала; низкая эффективность; создание препятствий для движения по реке (на самом деле - это та же плотина).

**Рукавная микро-ГЭС.** Ее создал также Б.С. Блинов – разработка велась им в 70-х годах прошлого века одновременно с гирляндной гидроэлектростанцией.

Его преимущество заключается в возможности использования небольших водохранилищ – если дебет воды в потоке будет превышать 50 л /с, а перепад высот 5 м, то этого будет достаточно для выработки электроэнергии. Вода выводится с помощью конической трубы, широкий верх которой подведен к наиболее быстрой части течения, а в ее нижней части - гидротурбина. В СССР рукавные микро-ГЭС пользовались спросом, и они производились на заводах, но ближе к 90-м, выпуск был прекращен. С 2000 года неоднократно предпринимались попытки установить серийное производство рукавных микро-ГЭС, но спрос на них слишком мал – вероятно по причине низкой популярности.

**Мини-ГЭС Н.И. Ленева.** Алтайский изобретатель Николай Иванович построил свою мини-ГЭС в конце 90-х, патент на нее получил в 2001 году. Конструкция основана на двух рядах плоских, прямоугольных лопастей, каждая из которых делится осью на неравные части друг к другу, большая из которых выступает обратно направлению потока воды. Такой сдвиг центра, по словам Ленева, уменьшает турбулентность вокруг лопастей, осевые штифты которых закреплены сверху и снизу на цепях. Под воздействием потока воды цепи с закрепленными на них лезвиями вращаются, что приводит в движение два вала, расположенных вертикально с помощью звездообразных колес. Производимая ими работа при помощи промежуточного вала и муфты передается гидрогенератору. Производительность микро-ГЭС Ленева, по словам разработчиков, составляет от 2 до 20 кВт (в зависимости от модели).

Следует заметить, что, несмотря на заявленные в прессе многократные продажи моделей микро-ГЭС Ленева, результаты их испытаний и информации о фактической эксплуатации так и не были опубликованы.

Перечисленные выше типы малых ГЭС объединены одним существенным недостатком: они никак не препятствуют зимнему замерзанию рек и ручьев, а в случае небольших водотоков замерзание происходит как правило всегда.



**Гравитационная (водоворотная) микро-ГЭС.** В отличие разработок советских и российских изобретателей эта малая гидроэлектростанция придумана в Австрии. Изобретатель Франц Цоттерлер, который живет в городе Оберграфендорф, разработал новую, нестандартную схему для малых ГЭС. Он назвал свой проект «Технический водоворот».

Цель изобретателя заключается в том, чтобы избежать негативных последствий для окружающей среды, которые обнаруживаются при строительстве классической плотины. Для этого он предлагает часть потока вблизи берега отводить к специальному каналу, который направляет. Плотина представляет собой бетонный цилиндр, к которому по касательной проходит вода и далее падает к центру. Таким образом, в середине цилиндра образуется водоворот, который вращает турбину. Этот тип мини – ГЭС является достаточно оптимальным для получения небольшой мощности, даже при перепаде высот всего в 0,8 метра.

Подобная концепция имеет ряд преимуществ. Прежде всего это высокий КПД при преобразовании энергии. Он достигает 75%, учитывая во внимание то, что для эксперимента использовался далеко не самый технологичный генератор. Водоворотная станция произвела более 50 МВт / ч электроэнергии на небольшом потоке. Рабочая разница в высоте воды составляла около 1,3 м, а расход составлял около 1 м<sup>3</sup> в секунду. Максимальная мощность установки составляет 9 кВт. В то же время скорость вращения турбины низкая, поэтому лопасти, которые вращаются синхронно с потоком воды, не опасны для речной рыбы.

Помимо вышеперечисленного к плюсам можно отнести тот факт, что водоворот аэрирует воду, тем самым восстанавливая процессы очистки каналов. Кроме того, летом он способствует терморегуляции водоёма, а зимой гидроэлектростанция продолжает работать под льдом. Плотная вода, температура которой составляет 3-4 градуса, тяготеет к центру водоворота, по краям образуется корка, которая является своего рода изолятором. Водоворот фактически действует как машина, стремящаяся довести температуру воды до 4 градусов зимой, что благотворно сказывается на жизни ниже по течению.

Другое преимущество - такая станция намного дешевле, чем мини-ГЭС, аналогичная по мощности, но построенная по классической схеме. Франц говорит о хорошей ремонтпригодности, простоте обслуживания, общей простоте дизайна. Турбина демонстрирует хорошую эффективность при падении воды 0,7-0,9 м. Поэтому можно сделать вывод о том, что на сегодняшний день подобная схема малой ГЭС является одной из наиболее перспективных.

**Малая ГЭС построенная по классической схеме.** В целом является копией “больших” гидроэлектростанцией, но масштабированная под небольшой водоём или речку. Обладает высоким КПД, достаточно проста для расчётов. Однако основной минус, такой как, высокая ресурсоёмкость, а следовательно и дороговизна делает её практически нерентабельной в текущих

Российских условиях. Также к минусам можно отнести меньшую экологичность, по сравнению с другими мини – ГЭС.

Перспективы МГЭС. По мнению экспертов, основной целью малой гидроэнергетики в ближайшие годы будет замена завозимых в отдалённые регионы ископаемых видов топлива (в первую очередь дизельное) с целью сокращения расходов федерального бюджета и повышения эффективности и энергетической безопасности энергодефицитных регионов. Строительство МГЭС будет осуществляться в охраняемых природных зонах и в местах с довольно стабильным режимом потока воды.

В этих условиях организации, которые проектируют МГЭСи проводят соответствующие обследования малых водотоков, выявили более 200 объектов для строительства, которые, по приблизительным подсчетам, будут производить до 1,5 млрд. кВт\*ч электроэнергии в год. Согласно последним исследованиям, энергоснабжение ряда населенных пунктов на Дальнем Востоке и Приморье может быть оптимизировано путем строительства 7-8 ГЭС, расположенных вблизи потребителей и интегрированных в местную энергосистему.

Реализация этих проектов позволит сократить объем импортируемого дизельного топлива до 28 тыс. тонн в год, что позволит освободить автомобильный транспорт и снизить нагрузку на местные порты. Все это значительно увеличит энергетическую независимость Дальнего Востока и Приморья.

#### **1.4 Ветроэнергетика**

В последние годы энергия ветра стала действительно быстро развивающейся отраслью современной «чистой» энергии. Средства преобразования кинетической энергии потока ветра в механическую, тепловую и электрическую формы энергии занимают все большую долю в мировом энергетическом секторе.

Запасы этой энергии неисчерпаемы, поскольку ветер возникает из-за действия солнца, а уровень вредных выбросов с текущим поколением установок практически равен нулю. Энергетические запасы ветра превышают количество гидроресурсов всех рек Земли в 100 раз. На высотах 7-14 км от поверхности земного шара его мощность в 10-15 раз выше, что открывает широкие возможности в области ветроэнергетики. Высотные ветры ветра постоянны и неизменны в течение года.

По данным Всемирного совета по ветроэнергетике, общая установленная мощность ветровых электростанций к началу 2015 года уже составила 369 ГВт. По данным BP Statistical Review of World Energy 2013, выработка электроэнергии за счёт ветра составила 521,3 миллиарда киловатт-часов, что соответствует 2,3% мирового производства электроэнергии. На данный момент тройка стран – лидеров по установленной мощности ВЭУ выглядит так: Китай, США, Германия.

В пользу развития технологий ВЭУ играет 30-летний путь развития отрасли. В настоящее время используются современные дешевые и эффективные материалы, а также увеличивается мощность ветроэнергетических установок. Все сводится к тому, что издержки производства снижаются, а конкурентоспособность ветроэнергетики возрастает.

Что же касается нашей страны, то в России всплеск интереса к ветроэлектростанциям произошел в 20-х годах XX века. Электрификация всей страны потребовала не только модификации силовых структур, но и обеспечения огромных государственных территорий «лампочками Ильича». Строительство гидроэлектростанции дорого и не слишком быстро, помимо этого также возникла проблема с передачей генерируемой энергии на значительные расстояния. В этих условиях использование энергии ветра было наиболее предпочтительным.

Были разработаны ветроэлектростанции для сельского хозяйства, которые можно было производить непосредственно на месте, а материалы для их производства были достаточно доступны. Эти установки использовались для освещения, а также для бытовых нужд (например, для мельниц). Обычная «крестьянская ветряная мельница» могла обеспечить охват большой деревни - до двухсот дворов. При этом не возникало проблем с передачей электроэнергии на дальние расстояния.

Однако в середине XX – го века ситуация изменилась. Появились дешевые сети передачи и распределения электростанций с использованием традиционных органических топлив, а также гидроэлектростанций. Но ограниченные запасы топлива к концу двадцатого века привели к возрождению интереса к энергии ветра.

Очевидным плюсом ветровой энергии является фактическая бесконечность ресурсов: до тех пор, пока у планеты есть атмосфера и солнечное освещение, будет движение воздушных масс, которые могут быть использованы для выработки энергии.

Еще один несомненный плюс: экологичность. Ветровые фермы не выделяют вредных веществ, не загрязняют окружающую среду. К сожалению, их до сих пор нельзя назвать полностью экологически чистыми. Нельзя назвать, поскольку ветряная электростанция довольно шумная, в связи с чем, в Европе законодательно установлена норма шума для дневного и ночного времени, которую не должны превышать ветровые электростанции. Кроме того, работа ветряных электростанций должна быть прекращена во время сезонного полета птиц (в этом случае в Европе также существует законодательное ограничение). В России таких ограничений нет, но ветряные электростанции не располагаются вблизи жилых зданий для того, чтобы население не испытывало дискомфорта.

Наряду с таким плюсом, как неисчерпаемость источника энергии, есть минус: эффективность ветряной электростанции зависит от времени года, времени суток, погодных условий и географического положения. К сожалению,

скорость ветра изменяется в зависимости от всех этих параметров. Скорость ветра же, в свою очередь напрямую влияет на количество электроэнергии вырабатываемой ВЭС. Поэтому ветряные электростанции должны использоваться обычно вместе с другими источниками энергии, а также использовать батареи, которые будут потреблять избыточную энергию в ветреные дни и отдавать во время простоя.

Помимо этого преимуществом является быстрое возведение ветропарка: даже для промышленной установки требуется не более двух недель, учитывая время, затрачиваемое на подготовку участка. Если говорить о ветрогенераторе для бытовых нужд, то его установка и вовсе занимает всего пару часов.

Также к минусам можно отнести высокую стоимость, однако этот фактор в скором времени можно будет исключить. На сегодняшний день цена уже существенно, чем несколько лет назад. Например, в 2017 году компания Siemens Gamesa выиграла тендер на строительство 1ГВт новых ветровых мощностей в Турции. При этом, по результатам конкурентного отбора цена киловатт – часа снизилась до рекордно низкого уровня. Он составил - \$0,0348. В переводе по текущему курсу, это чуть больше 2 – х рублей.

Возвращаясь к нашей стране, следует сказать, что Россия обладает внушительным потенциалом ветровых ресурсов (рис. 1) , которые, что характерно, расположены как раз в тех районах, где отсутствует централизованное энергоснабжение. К этим районам в первую очередь относятся Арктическое побережье, острова и берега Берингова и Охотского морей. В дополнение, к перспективным “ветровым” регионам относятся: Архангельская, Астраханская, Волгоградская, Калининградская, Камчатская, Ленинградская, Магаданская, Мурманская, Новосибирская, Ростовская, Сахалинская, Тюменская области; Пермский Краснодарский, Приморский, Хабаровский края, а также Дагестан, Калмыкия, Карелия, Коми, Таймырский автономный округ, Хакасия, Чукотка, Якутия и др.



Рисунок 1- Атлас ветров Российской Федерации

В целом ветроэнергетику можно назвать достаточно перспективной отраслью. Да, в ней есть свои характерные проблемы, однако практически все они на сегодняшний день имеют решения.

### 1.5 Гелиоэнергетика

Одним из наиболее перспективных направлений развития альтернативной энергетики является солнечная энергия. Солнечная энергия - это солнечная энергия, основанная на принципах накопления солнечной энергии с ее дальнейшим преобразованием в электричество и тепло, необходимые человеку.

Следует понимать, что уже с древних времен человечество использует солнечную энергию. Освещение и отопление дома, вода для бытовых нужд, сушка фруктов, сушка одежды, выращивание тепличных культур - все это напрямую связано с солнцем. Люди всегда использовали и будут использовать в своей повседневной жизни тепловую энергию этого светила. Однако раньше никто особо не задумывался над повышением эффективности использования данного вида электроэнергии. Но, в 90-х годах прошлого века все изменилось и были начаты полномасштабные научные исследования в этой области.

Основным преимуществом солнечного тепла и света является его доступность. В любой точке мира можно получить эту бесплатную, экологически чистую и возобновляемую энергию. Разность плотности солнечного света в разных климатических зонах и регионах различается не более чем в два раза. Поэтому такое альтернативное направление энергии набирает популярность не только на уровнях государств, но и среди населения. Общая площадь солнечных установок, расположенных в разных странах, сейчас занимает более 120 миллионов квадратных метров. И объем солнечной энергии будет расширяться с каждым годом.

Энергетический потенциал солнца на нашей планете огромен. Он составляет порядка 700 квадрильонов ( $7 \times 10^{17}$ ) кВт\*ч в год. В данный момент на мировом рынке продается и покупается около 85 триллионов ( $8,5 \times 10^{13}$ ) в год. Это означает, что даже 1-го процента солнечной энергии хватит для того, чтобы с запасом покрыть мировые потребности в электроэнергии. Поэтому необходимо уделять внимание и развивать эту отрасль, ведь в перспективе, она позволит, получать всю необходимую человечеству электроэнергию практически без эксплуатационных затрат.

По принципу получения энергии гелиоэнергетику можно разделить на два основных вида:

1. Солнечные коллекторы для нагрева воды - самое распространённое оборудование в мире, позволяющее использовать солнечное тепло для теплоносителя. Успешно применяется как в повседневной жизни, так и в промышленности. Такое устройство легко справляется с нагревом воды для бытовых нужд или обеспечивает качественное альтернативное отопление в холодное время года.

2. Фотоэлектрические преобразователи - оборудование для выработки электроэнергии путем поглощения и преобразования солнечной радиации. Первоначально эта технология использовалась в космической отрасли.

Далее, поговорим о достоинствах и недостатках солнечной энергетики.

Достоинства:

- бесконечность ресурса. До тех пор пока светит солнца, энергия неисчерпаема;
- экологичность. Получение энергии не сопровождается выбросом вредных веществ в атмосферу и грунт;
- бесшумное производство. Это позволяет устанавливать станции непосредственно у мест проживания людей;
- возможность установки в любой точке земного шара;
- быстрый монтаж станции. Достаточно просто приобрести все необходимые элементы, установка не требует строительных работ и крупных затрат;
- большая степень автоматизации производственного процесса, в связи с чем нет нужды в специалистах для обслуживания.

Недостатки:

- на выработку электроэнергии влияет большое количество факторов таких, как погодные условия, время суток, время года;
- невозможность получения энергии в ночное время суток;
- определённые сложности с обслуживанием станции;
- высокая стоимость оборудования

Поговорим о высокой стоимости генерации солнечной электроэнергии. Конечно, этот вопрос всё ещё актуален и сегодня, однако актуальность его уже не такая острая, как всего 5 лет назад. Это связано с тем, что цены на силовые панели с 1975 года упали более чем в 150 раз и продолжают падать (рис. 2) . Это связано с улучшением технологий, оптимизацией процесса производства и другими факторами. В последнее время обороты набирает и другой фактор – конкуренция. Крупные мировые игроки стали признавать этот тип генерации и теперь стремятся занять свою, как можно большую нишу. Жёсткая конкуренция между ними приводит к ещё большему снижению цен и в перспективе это будет только усиливаться. Лидером здесь закономерно является Китай. Дешёвая рабочая сила, а также поддержка государства сыграли свою роль. На данный момент Китай можно назвать передовиком этой отрасли и конкурентам приходится равняться на него и вслед за ним снижать цены.

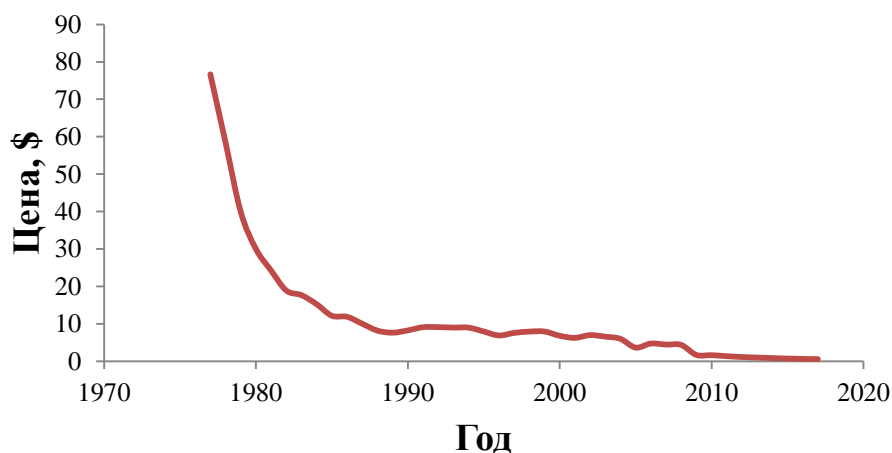


Рисунок 2 – График изменения цен на кремниевые фотоэлементы из расчёта \$/Вт – пик установленной мощности

Столь резкое падение цен приводило к постепенной популяризации солнечной энергетики. Однако до 2000, несмотря на уже значительное снижение цен, количество установок солнечной генерации не росло. Но с 2000 года произошёл настоящий прорыв. Снижение цен достигло критической точки для инвесторов в связи с чем в период с 2000 по 2017 установленная мощность фотоэлементов выросла практически с 0 до 65 ГВт. Следует также сказать, что “инвестиционная усталость”, то есть заметное снижение прибыльности инвестиций, по прогнозам, не наступит в ближайшие пару десятков лет. Зависимость изменения установленной мощности от уровня цен представлена на рисунке 3.

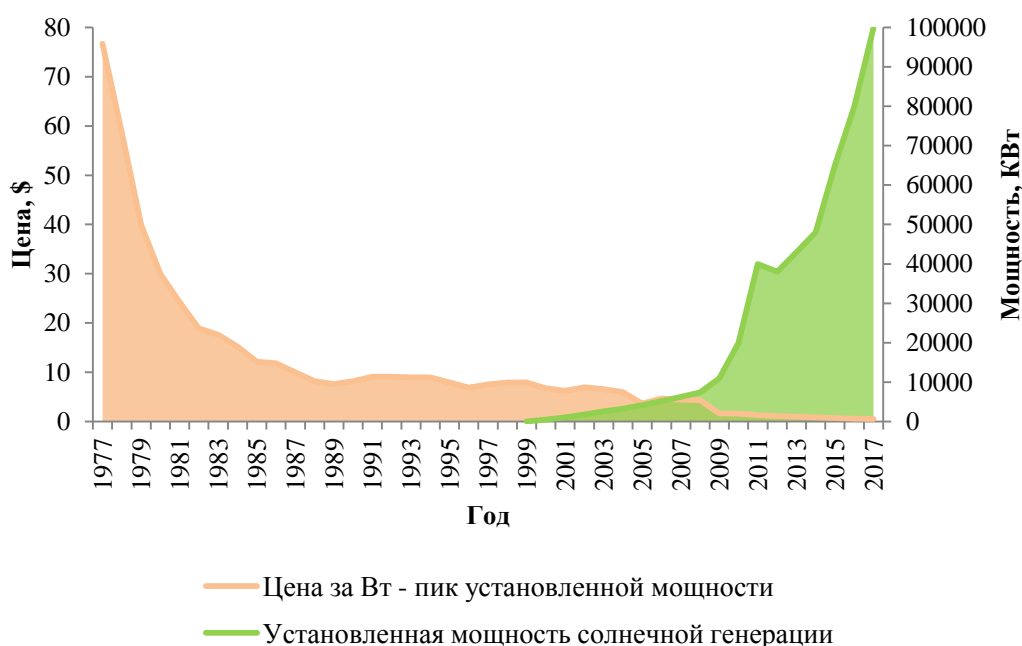


Рисунок 3 – Изменение установленной мощности солнечной генерации в зависимости от изменения цены на кремниевые фотоэлементы

Согласно прогнозам BNEF (Bloomberg New Energy Finance), к 2040 году мир инвестирует не менее \$ 3,4 трлн. в производство солнечной энергии. Это будет больше, чем совокупные объединенные инвестиции в производство первичной энергии из всех видов ископаемого топлива (2,1 трлн. Долл. США) и ядерной энергии (1,1 трлн. Долл. США, включая новые). Специалисты Bloomberg считают, что в результате этих инвестиций и дальнейшего развития солнечных и ветровых технологий эти две технологии станут самыми дешевыми способами производства электроэнергии во многих странах в 2020-х годах, а в 2030-х годах - в большинстве стран мира.

Международным агентством IEA ( International Energy Agency) был подготовлен прогноз развития солнечной генерации вплоть до 2050 года (рис. 4). Согласно ему к 2050 году 16% от всей генерации энергии будет приходиться на классические панели, сделанные из кремния и ещё 11% от мировой выработку будут осуществлять когенерационные гелиотермоэлектрические установки различной мощности. При этом согласно среднесрочного прогноза развития солнечной энергетики по регионам планеты (рис. 5) , Китай будет удерживать лидирующие позиции, постепенно отрываясь от достаточно развитой в отношении ВИЭ Европы. К сожалению в нашей стране на сегодняшний день ситуация обстоит в корне наоборот, поэтому в среднесрочном прогнозе она даже не фигурирует.

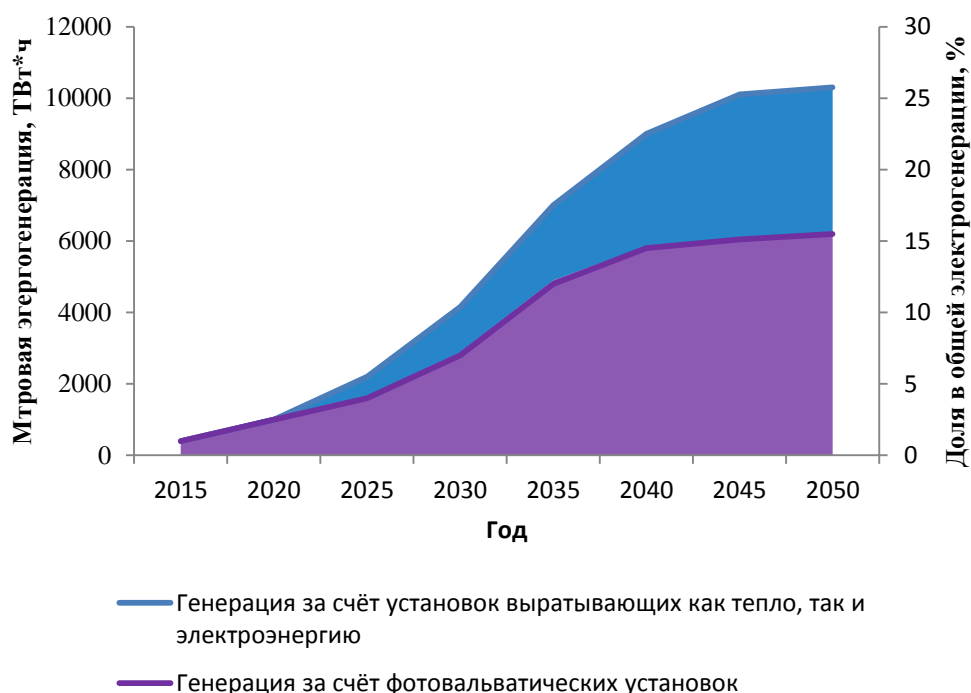


Рисунок 4 – Прогноз развития установок преобразующих энергию солнца



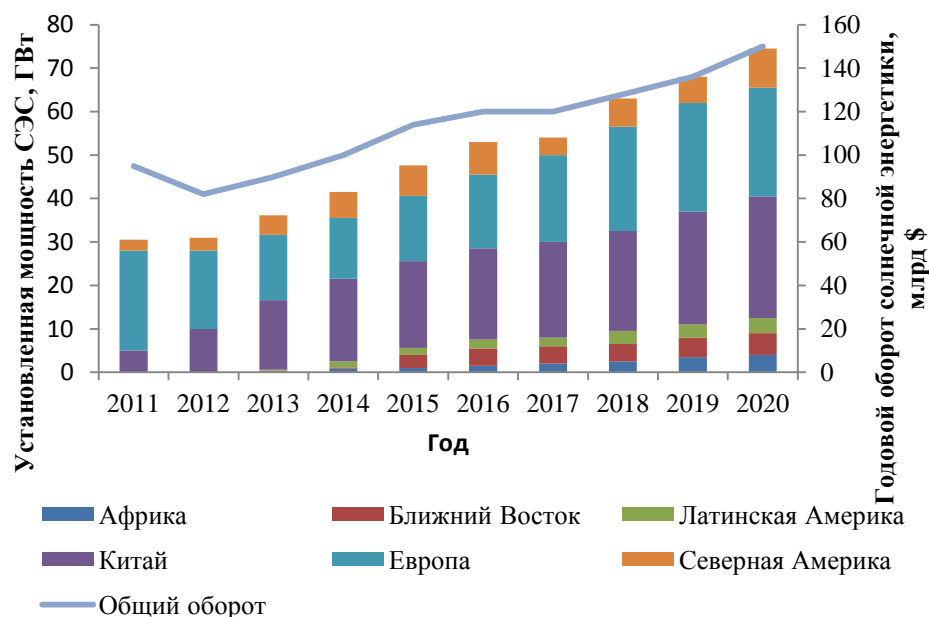


Рисунок 5 – Показатели установленной мощности фотовальтатики по регионам и годовой оборот отрасли солнечной генерации

Казалось бы, эти “футуристические” прогнозы достаточно утопичны и воплотить их в реальности не удастся никогда. Но с каждым годом эти прогнозы всё больше находят подкрепление в реальных цифрах. Например, согласно анализу LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory) в США, в январе 2015 года было заключено 18 контрактов продажи солнечной электроэнергии по гарантированной цене. Общая мощность контрактов составила 1,1 ГВт\*ч, а цена \$50/МВт\*ч или 5 центов за 1 кВт\*ч. Этот факт уже является выдающимся, особенно на фоне того, что средняя цена электроэнергии в США держится на отметке 12 центов за 1кВт\*ч.

Теперь подобные прогнозы выглядят уже не так утопично, не так ли? Однако, на этом рекорды по снижению цены не заканчиваются. Так, осенью 2014 энергоснабжающая компания Austin Energy сообщила, что подписала контракт с компаниями First Solar Inc. и Hanwha Q-Cells Corp на 288 МВт полезной потребляемой мощности, генерируемой солнечными установками. Цена составила 4 цента за кВт\*ч. Всего через год, в конце 2015 – го, энергокомпания Berkshire Hathaway Inc. NV Energy согласилась платить 3,87 цента за кВт\*ч для мощности от 100 МВт по проектам, которые развивает всё та же First Solar Inc.

Также, весьма поразительно выглядят новые тендеры в Эмиратах. Например, в 2016, управление по электро – и водоснабжению Дубая (DEWA) огласило предложения на установку третьей очереди гелиоэлектростанции Мохаммеда бин Рашид аль - Мактума мощностью 800 МВт. Всего было получено 5 предложений от иностранных организаций. После раскрытия цен, минимальная цена составила 2,99 цента за кВт\*ч. Для сравнения, в Соединённых штатах СЭС промышленного масштаба сбывают электроэнергию по цене 5 центов за кВт\*ч. При этом такая цена с США получается за счёт

государственных субсидий и налоговых льгот. Что же касается Дубая, то там ничего этого нет. Чистая конкуренция. Новая цена по итогам тендера вдвое ниже, чем цена заключённого в 2015 году 25 - летнего контракта на 1000 МВт. Тогда цена составила 5,84 цента за кВт\*ч. Нетрудно заметить, что всего за один год стоимость солнечной энергии снизилась в два раза. Это говорит о том, что этот вид получения энергии только набирает обороты и не собирается останавливаться! Также отмечается, что столь низкая стоимость не является уникальной. Например, коммунальная компания Enel Green Power подписала контракт в Мексике на поставку энергии по цене 3,6 кВт\*ч. И этот пример является далеко не единственным в своём роде. Также, всё в тех же Арабских Эмиратах в сентябре 2016 года JinkoSolar и Marubeni Corporation выиграли тендер на строительство солнечной электростанции в Абу-Даби мощностью 350 МВт с рекордно низкой ценой 2,42 цента за кВт\*ч. Однако размер электростанции вырос с 350 МВт до 1177 МВт, а зафиксированная на тендере цена сегодня подтверждена договором. Его срок действия 25 лет. Объект должен быть введен в эксплуатацию в 2019 году. Строительство и эксплуатацию электростанции будет осуществлять специально созданная компания, в которой 20% будет принадлежать JinkoSolar, еще 20% - Marubeni и 60% арабской стороне в лице местного регулятора Abu Dhabi Water and Electricity Authority. На сегодняшний день, цена в 2,42 цента кВт\*ч солнечной электроэнергии является рекордно низкой, однако можно с абсолютной уверенностью сказать, что тенденция на снижение цен продолжится и дальше. Солнечная энергетика семимильными шагами движется к полной конкурентоспособности к традиционными видами электрогенерации.

Разумеется, речь идет о минимальных затратах на крупные промышленные установки в странах с солнечной энергией. Но средняя стоимость солнечного электричества в других странах также уменьшается примерно по той же ставке, хотя в России или Германии она, безусловно, будет выше, чем в Объединенных Арабских Эмиратах или Саудовской Аравии. Тем не менее, через несколько лет или десятилетий даже наши затраты на солнечную энергию неизбежно снизятся до 2-3 центов за кВтч.

Говоря о цене за кВт\*ч солнечной энергии следует различать полную цену всей солнечной установки и цену за установленную мощность кремниевой PV – ячейки или PV – панели. Что же касается себестоимости, то ни солнечная ячейка, ни даже панель в сборе с элементами крепления не составляют самую большую часть затрат. На рисунке 6 будет отражена структура себестоимости солнечной установки за Вт мощности.

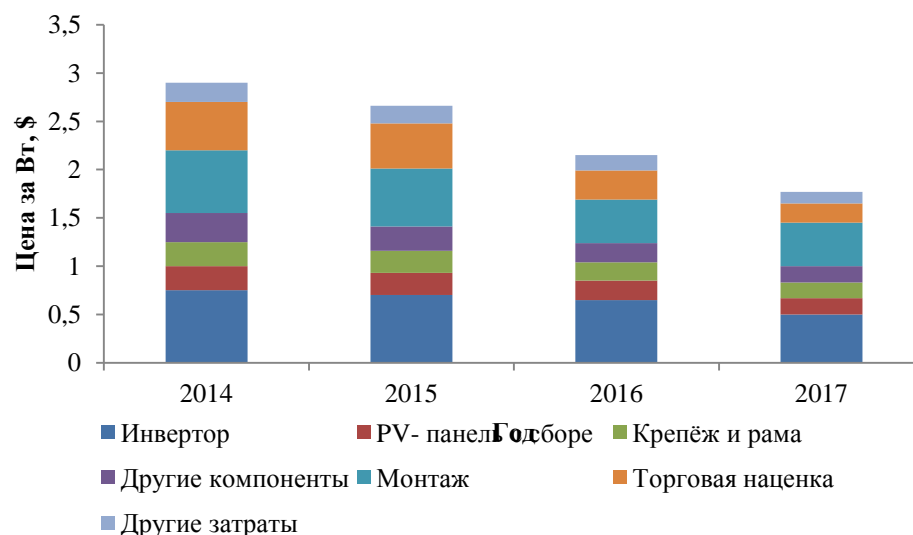


Рисунок 6 – Структура себестоимости солнечной установки для частного дома

Отсюда видно, что за несколько лет общая стоимость упала на 40%. Стоит сказать, что цены, указанные в диаграмме применимы только для неоптовых частных клиентов. Большая часть PV – рынка будет сосредоточена на разработке небольших домашних систем. В большинстве стран мира пока нет мощной сетевой инфраструктуры, которая позволит эффективно перераспределять энергию между населенными пунктами или регионами. Это касается даже США. В Германии ситуация с инфраструктурой лучше. Общая стоимость домашних систем там меньше, а общая стоимость установок за последние три года снизилась примерно на 40%. Расходы в Германии сегодня намного ниже, чем в США и других менее развитых «солнечных» рынках. Из этого следует, что в ближайшее время остальные страны «подтянутся» до уровня Германии – стоимость начнет падать, а инфраструктура развиваться.

Основным рынком для фотоэлектрических установок в ближайшие годы являются панели на крышах частных домов. Домашние системы в большинстве случаев не смогут эффективно сбрасывать избыточную электроэнергию в общую электрическую сеть, а в других случаях компенсировать ее отсутствие (ночью, в пасмурную погоду или при нерегулярном пиковом потреблении). Поэтому при таком использовании, говорить равенстве цен и тарифов пока рано.

Отдельно следует рассмотреть показатель «другие компоненты» (рисунок 6). В него помимо дополнительных частей фотоэлектрической системы, как правило, включается ещё и аккумулятор.

По оценкам Deutsche Bank, стоимость солнечных модулей снизилась с 1,31 \$ /Ватт в 2011 году до 0,50 \$ / Ватт в 2014 году из-за меньших затрат на обработку, снижения затрат на поликристаллический кремний и повышения эффективности преобразования солнечного света. В итоге, цены на модули упали почти на 60% за три года. Deutsche Bank полагает, что общие затраты могут упасть еще на 30-40% в течение следующих нескольких лет, но в

основном из-за снижения операционных издержек из-за развития самого рынка, особенно для жилого сектора. Снижение цены на кремний в панелях солнечных батарей теперь сказывается незначительно. В общей цене модуля сам кремний стоит не более 10-11 центов на ватт и даже двукратное снижение его цены, которое может быть достигнуто огромными технологическими и финансовыми усилиями, не повлияет на общую стоимость PV панелей кардинально. Хотя в течение следующих 12 кварталов Deutsche Bank по-прежнему ожидает, что цена PV-модулей упадет до равновесной цены спроса – предложения от 0,40 до 0,50 доллара США за ватт. Если панели будут продаваться с 10 центами валовой прибыли при цене 0,50 долларов за ватт, это означает, что производители получают как минимум 20% от валовой прибыли –это значительно выше, чем последние исторические средние значения. Кроме того, должны снизиться расходы на таможенные пошлины и перевозки.

Цены на инверторы, как правило, снижаются на 10-15% в год. Deutsche Bank ожидает, что эта тенденция сохранится и в будущем. Крупные поставщики солнечной энергии уже достигли высокого уровня в 0,25 доллара за 1 Вт или даже ниже. Есть предпосылки для ожидания того, что в течение ближайших нескольких лет цена будет снижаться и дальше. Снижение затрат на компоненты, снижение издержек производства и повышение КПД панелей следующего поколения будут стимулировать экономию при сохранении конкурентоспособной рентабельности даже при сокращении этой статьи расходов до 0,17 долларов США.

Также, один из определяющих вопросов - это улучшения в области хранения энергии. Батареи, способные накапливать в виде электричества солнечную энергию, получаемую в течение дня, и отдавать ее ночью, быстро становятся дешевле. В этой области произошли значительные изменения. За последние 4 года цена упала вдвое, а к 2020 году ожидается, что цена упадет еще на 50%. Прогноз цены на литий – ионные аккумуляторы на основе данных компаний Tesla , Umicort и UBS Group AG представлен на рисунке 7.

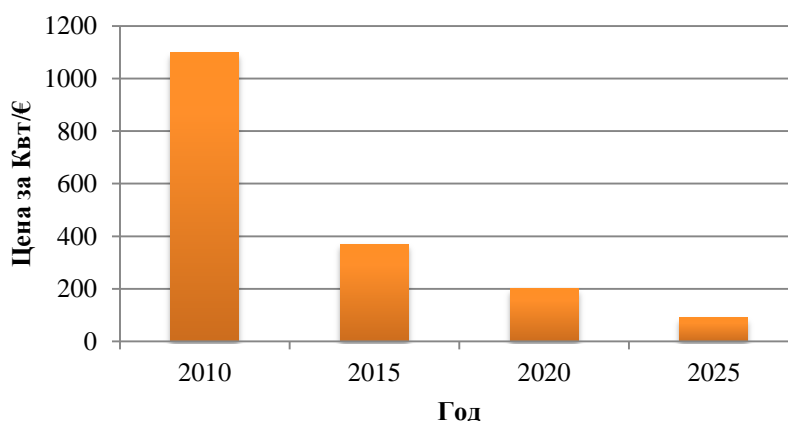


Рисунок 7 – Прогноз цены литий-ионных аккумуляторов

Следует сказать, что помимо прямых путей снижения цены за счёт технического совершенствования на сегодняшний день всё большую роль играют программы специального кредитования, субсидирования и различные способы экономической поддержки клиентов.

Серьёзную роль в становлении гелиоэнергетики играет Китай. За 2017 год эта страна установила солнечных батарей на 50 ГВт. Это больше чем мощность всех ГЭС (около 49 ГВт) или АЭС (около 25 ГВт) России вместе взятых. Благодаря этому в 2017 году было построено больше СЭС, чем любого другого вида электростанций. Ещё это означает, что Китай впервые потребил больше фотоэлементов, чем экспортировал. По состоянию на октябрь 2017 общая мощность солнечной энергетики страны составляет 120 ГВт или примерно половина мощности всех электростанций России (около 248 ГВт). Благодаря рынку Китая общая мощность новых солнечных электростанций по всему миру в прошлом году превысила 100 ГВт – это больше чем любой другой вид станций и это рекордные цифры за всю историю данного вида энергетики. Всё это происходит вследствие стремления Пекина быстро перейти от сжигания угля к более безопасным видам добычи энергии.

Если говорить о России, то здесь, конечно, ситуация далека от других стран. По информации, в 2015 году в России было введено 57 МВт новой мощности ВИЭ, в 2016 году - 70 МВт. В 2017 году завершатся работы по объектам ВИЭ общей мощностью около 125 МВт. При этом 90 МВт из них придется на солнечные станции, 35 МВт - на первый крупный в стране ветропарк. Цифры, мягко говоря, не впечатляют, однако и здесь видна тенденция к росту. Доля чистых источников энергии в энергетическом балансе России может достигнуть 12-15 процентов к 2050 году. Этот прогноз был сделан на энергетическом форуме во французском Лионе Игорем Лобовским, главой Глобальной энергетической ассоциации. И он вполне реален. Теперь, согласно целевым показателям, доля возобновляемых источников энергии в энергетическом балансе страны к 2024 году должна составлять не менее двух процентов. В среднем это 2 ГВт генерации, основанные на солнечной и ветровой энергии, и небольшое количество новой гидроэнергетики. Сегодня в России очень активно реализуются инвестиционные проекты в области солнечной энергии, причём сразу в двух аспектах - создание производства и строительство самой солнечной генерации. На сегодняшний день, лидером в области ВИЭ является солнечная энергетика «У России большой потенциал для развития возобновляемых источников энергии, только в солнечной генерации к 2030 году она может достичь около 10 гигаватт, потому что у нас хорошие климатические условия и производственная база», - говорит Антон Усачев, директор Ассоциации компаний солнечной энергетики.

Энергостратегия России предусматривает увеличение к 2035 году производства электроэнергии на основе безуглеродных источников энергии почти в 15 раз (с 2 до 29 миллиардов кВт\*ч). Это не так много, однако, учитывая особенности нашей страны, сильную привязанность к традиционным

источникам электроэнергии, эти результаты, в случае их достижения, можно будет назвать хорошими.

Теперь поговорим об оборудовании для гелиоэнергетики. Его можно разделить на два основных вида: солнечные панели и солнечные коллекторы. Солнечные панели служат для преобразования энергии солнца только в электроэнергию. В свою очередь они подразделяются на кремниевые и пленочные.

На основе кремния сегодня производятся самые распространённые и известные солнечные панели. Кремний - это материал, наиболее часто встречающийся в земной коре. Его легко извлечь для производства, что приводит к дешевизне готовой продукции. Кроме того, этот материал обладает хорошей производительностью. Все панели этого типа подразделяются на три разновидности:

**Изготовленные из монокристаллов или монокристаллические** - наиболее эффективные панели этого типа (эффективность до 17-22%). Максимальный чистый кремний, разрезанный на тончайшие пластины и пронизанный электродами, располагается в силиконовых ячейках - эта технология является самой дорогой в производстве кремниевых панелей. Готовые моноэлементы имеют характерный черный цвет. Эти модели очень популярны, несмотря на их довольно высокую цену. Они полностью оправдывают все средства, вложенные в них.

**Изготовленные из поликристаллов или поликристаллические** панели, которые изготавливаются методом охлаждения расплавленного кремния. Стоимость таких устройств меньше, в связи с более рациональным использованием материала. Но эффективность из-за наличия гранулированных областей в поликристаллах также ниже - КПД падает до 12-18%. Такие батареи можно различить по темно-синему цвету рабочих элементов.

**Изготовленные из аморфного кремния** - самые тонкие из всех (до 1 мкм) и легкие панели, благодаря технологии производства, относящиеся сразу к двум типам панелей (кремниевым и пленочным). Устройства имеют низкий КПД - всего 5-6%, но оцениваются за их превосходную поглощательную способность (они в 20 раз выше, чем для поликристаллических и монокристаллических моделей). Такие панели обладают повышенной гибкостью и способностью генерировать энергию даже в пасмурные дни.

Теперь перейдём к плюсам и минусам кремниевых панелей, которые относятся ко всем перечисленным ранее видам.

Достоинства:

- большой срок службы;
- относительная быстрая окупаемость;
- нет высоких требований к техническому обслуживанию.

Недостатки:

- зависимость от климата местности, где установлены;
- необходимость в дополнительном оборудовании (аккумулятор, контроллер, инвертор);

- занимают относительно большую площадь (с 1 кв. метра в среднем вырабатывается не более 120 Вт);
- отражают часть солнечного света, что снижает общий КПД;
- снижение КПД до 12% при нагревании.

Что касается цены, то она в среднем составляет от 3300 до 16000 рублей за модуль. Стоимость напрямую зависит от размеров и мощности модуля.

Перейдём к плёночным фотоэлементам. Это достаточно инновационный тип солнечных панелей, который отличается от традиционных как технологией производства, так и используемыми материалами. Развитие этого типа была связано с необходимостью снизить стоимость панелей и улучшить их технические характеристики. Они отличаются размещением проводника (основного рабочего материала) на подложке из стали или стекла. Модели такого типа делятся на несколько классов:

**На основе теллурида кадмия** - панели, ранее использовавшиеся в космической промышленности, но в настоящее время все чаще применяющиеся в наземных условиях. Имеют относительно низкую эффективность - до 11%, но при этом дешевле на 20-30% чем кремниевые модули.

**На основе селенида меди-индия** – панели, в которых используются сразу три рабочих материала (индий, медь и селен). Характеризуются достаточно высоким КПД в 15 – 20%. Также у этих панелей есть одна интересная особенность: некоторые недобросовестные изготовители, для экономии индий заменяют галлием – это снижает себестоимость, но при этом снижается эффективность конечного продукта.

**На основе полимеров (органических полупроводников)** – панели новейшей разработки, которые отличаются чрезвычайно тонким рабочим слоем – до 100 нм. КПД таких моделей довольно низкий – всего 6%, но и себестоимость у них соответствующая – одна из самых низких.

Достоинства пленочных панелей:

- полупрозрачность, благодаря чему панели можно размещать даже на окнах;
- лёгкость, обеспечивающая простоту установки;
- гибкость, такие панели можно изгибать в любую плоскость;
- устойчивы к механическому воздействию;
- просты в обслуживании;
- имеют долгий срок службы;
- относительно быстрая окупаемость.

Недостатки:

- аналогично кремниевым зависит от климатических условий местности;
- требуют установки дополнительного оборудования (аккумулятор, контроллер, инвертор);
- прямая связь эффективности панели с её площадью;
- при нагреве падение КПД до 30 – 40%.

Перейдём к солнечным коллекторам. Солнечные коллекторы для нагрева воды - перспективный тип отопительного оборудования. Реализация этих систем сейчас является грамотным решением. В качественном и быстром получении такого современного, мощного и экономичного отопительного оборудования заинтересованы как владельцы частных домов, так и владельцы предприятий. Солнечная энергия - неисчерпаемый источник электричества и тепла. И приобретение солнечных коллекторов, успешно используемых для нагрева воды, является экономически выгодным капиталовложением, оцененным многими инвесторами, как частными, так и промышленными.

В принцип работы солнечного коллектора для нагрева воды заложены самые элементарные физические законы, которые хорошо известны нам из школьной программы. Жидкость, имеющая меньшую плотность, всегда будет смещаться более плотной жидкостью.

По тому же принципу работает традиционная система отопления, в которой плотная холодная вода способствует движению по трубам горячей воды. Разница между котлом и коллектором заключается только в источнике тепла - при традиционном нагревании используется топливо (твердое или жидкое топливо, газ), а в альтернативной системе отопления основную роль играет энергия солнца.

Солнечные коллекторы – это пассивные устройства, для работы не нужен даже насос, поэтому они имеют полную автономность. Такое устройство можно установить вдали от цивилизации, в любой местности.

Для функционирования таких систем необходимы следующие элементы: поглотитель тепла, бак для размещения теплоносителя, трубы (змеевик) , которые обеспечивают естественную циркуляцию в системе и теплообменник. По мере нагревания вода будет подниматься по трубам и поступать в резервуар, откуда забирается тёплая вода для жителей. Остывшая вода возвращается обратно в резервуар – циркуляция таким образом происходит непрерывно. Также для эффективности системы, бак тщательно утепляется, с помощью теплоизолирующих материалов.

Более подробно останавливаться на данном типе не будем, в связи с тем, что для выработки электроэнергии он не используется. Далее рассмотрим оборудование, которое необходимо для функционирования СЭС:

1. Аккумуляторы. Позволяют нивелировать основной недостаток солнечной электростанции, а именно – цикличность выработки электроэнергии. Заряжаясь днём от солнечной батареи, ночью, или в периоды малой солнечной активности они будут отдавать электроэнергию для питания важных объектов, таких как компьютеры, средства связи, освещение.
2. Контроллер заряда. Устройство, которое контролирует процесс заряда аккумулятора от солнечной установки. Предотвращает перезаряд аккумулятора, учитывает его параметры (температура плотность электролита) при зарядке. Благодаря этому срок службы аккумулятора



многократно увеличивается, а также повышается эффективность генерации электроэнергии.

3. Инвертор. Представляет собой электронное устройство, с помощью которого преобразуется низкое постоянное напряжение заряженных аккумуляторов в высокое переменное напряжение промышленной частоты. Состоит из двух частей, широтно – импульсного генератора высокой частоты и преобразователя напряжения.
4. Блок бесперебойного питания. Необходим для оборудования и устройств, для которых нежелательно неожиданное исчезновение питающего напряжения.
5. Опорная конструкция. Конструкция из алюминиевых профилей и крепежных элементов из нержавеющей стали. Обычно используются неподвижные конструкции с фиксированным углом установки солнечных панелей.
6. Система мониторинга. Система мониторинга контролирует параметры работы всей СЭС и её отдельных компонентов. Помогает выявлять неисправностей и предотвращать нештатные ситуации. Система мониторинга дополняет инверторную систему и осуществляет сбор данных о работе основных компонентов электростанции и их хранение для последующего доступа.

Теперь остановимся на отечественных компаниях по производству солнечных панелей. Несмотря на, пока всё ещё слабое развитие солнечной энергетики в нашей стране, компаний по производству представлено немало и они вполне конкурентоспособны, даже по сравнению с другими странами – лидерами рынка солнечной энергетики.

**Хевел.** Хорошо известный отечественному покупателю завод из Новочебоксарска, специализирующийся на выпуске плёночных и аморфных моделей. Выпускает изделия на базе аморфного кремния по швейцарской технологии. В компании особое внимание уделяется нанотехнологиям и изготовлению микрокремния. Также, на базе предприятия созданы экспериментальные мощности, предназначенные для испытания новых технологий.

**Сатурн.** Краснодарский производитель солнечных модулей, в которых используются металлические и сетчатые рамы для производства панелей. Данный завод обладает собственной запатентованной техникой изготовления кремниевых фотоэлементов, с помощью которой можно повысить их КПД. У плёночных моделей подложки выполнены из германия, что положительно влияет на производительность устройств. Что касается КПД моделей, то у этой компании он достигает 28%.

**РЗМКП.** Крупный производитель из Рязани, специализирующийся не только на сборке солнечных панелей, но и на производстве всех необходимых компонентов. В ассортименте предприятия имеется широкий спектр панелей (модулей) и соответствующих элементов электроники - инверторов,

контроллеров. Изготавливает модели из монокристаллов в широком диапазоне мощностей, что позволяет использовать их как в быту, так и в промышленности.

**Квант.** Московский производитель и разработчик солнечных панелей. Основной специализацией завода является производство батарей для космической промышленности. Также выпускаются бытовые модели с хорошими техническими характеристиками и длительным сроком службы. В ассортименте модели пленочного и классического типа на сетчатых рамах. Изготавливает также инновационные складные панели и модули с двухсторонней рабочей поверхностью. Модули можно заказать как поликристаллические, так и изготовленные из монокристаллов.

**Солнечный ветер.** Производитель хорошо известный как в России, так и за рубежом. В активе предприятия множество успешных проектов — специалисты завода выполняют сборку и настройку автономных станций. Используются комплектующие собственного производства и некоторые импортные узлы. Выпускаются модули мощностью от 1 до 10 ватт, которые легко собираются в панели нужного размера и мощности. В комплектацию входят аккумулятор, инвертор и контроллер.

Ещё раз вернёмся к перспективам. В ближайшем будущем современный мир ожидает настоящая энергетическая революция. Стоимость солнечных панелей на мировом рынке постепенно снижается, вследствие внедрения новых технологий. Например, в Германии сейчас стоимость одного гелиевого модуля снизилась до 1 евро за ватт. А к 2020 году планируется закрыть все атомные электростанции в этой стране.

И многие другие передовые государства постепенно отказываются от традиционных атомных электростанций в пользу безопасных солнечных электростанций. Китай, США, Италия, Франция и Япония активно ищут такие революционные изменения в энергетике. В инновациях вкладываются огромные суммы. Уже упомянутая выше Германия всего за год в своих «солнечных проектах» инвестирует до 1,848 трлн долларов.

Планируется также создание единой мировой энергетической системы, основанной на строительстве экваториальных станций, которые всегда могут быть на дневной стороне и обеспечивать стабильное производство электроэнергии.

Стоимость электроэнергии будет постепенно снижаться до 0,04 евро за киловатт в час. Это должно произойти в период 2020-2030 годов. Но в ближайшие годы цена солнечной энергии будет равна цене с традиционными источниками энергии и будет уменьшаться дальше.

Следует отметить, что такие оптимистичные прогнозы основаны на анализе уже существующих и активно используемых технологий. Но технический прогресс никогда не стоит на месте. Поэтому вполне возможно, что новые открытия в технической сфере приведут к реальному прорыву в солнечной энергии и появлению нестандартных, очень эффективных и инновационных решений.

## **2 Анализ возможности солнечной энергетики в разных регионах**

Россия обладает значительным потенциалом в плане солнечной инсоляции. Рассмотрим наиболее перспективные технологии. Наиболее перспективными регионами для развития солнечной энергетики являются Дальний Восток, Краснодарский и Ставропольский край, Астраханская, Ростовская и Волгоградская области. Экономически целесообразно развивать этот вид ВИЭ на Алтае, в Бурятии и Читинской области.

### **2.1 Солнечная энергетика на Дальнем Востоке**

По мнению экспертов, солнце является ключевым возобновляемым ресурсом в регионе. По расчетам исследователей Главной геофизической обсерватории А. И. Воейков, в северных районах Якутии в апреле и мае месячные показатели солнечной активности сопоставимы с Северным Кавказом, Астраханской областью и Крымом.

Солнечные электростанции.

По данным компании ПАО «РусГидро», в настоящее время в регионе насчитывается 13 солнечных станций, расположенных в Якутии, в процессе строительства их еще четыре. Все солнечные электростанции эксплуатируются в изолированных населенных пунктах, включая самую большую солнечную станцию за Полярным кругом в деревне Батагай мощностью 1 МВт.

Игорь Шкрадюк, координатор экологической программы промышленной деятельности Центра охраны дикой природы, говорит, что технический потенциал солнечной энергии составляет более половины от общего потенциала возобновляемых источников энергии в регионе.

Заместитель министра энергетики Текслер уверяет, что проекты солнечной энергетики в отдаленных районах Крайнего Севера и Дальнего Востока сегодня выплачиваются: «Сейчас использование гибридных установок является окупаемым в течение 10–15 лет при сохранении существующего в регионе тарифа. Кроме того, на оптовом рынке используется механизм продажи по договорам поставки мощности ВИЭ, который предусматривает гарантии возвратности доходности — это порядка 12–14% в случае, если инвестор выполняет все свои обязательства».

РусГидро планирует построить 139 солнечных станций, 35 ветровых электростанций и две ветряные электростанции. Компания заявляет, что программа развития возобновляемых источников энергии внедряется с целью снижения издержек в условиях дорогого малого поколения - например, запуск электростанций на основе альтернативных источников энергии уже привел к положительному экономическому эффекту от реализации около 2 миллиардов рублей в год.

Кроме того, ОАО «ФСК ЕЭС» и ООО «Хевел» подписали соглашение о сотрудничестве, в рамках которого стороны будут совместно развивать солнечную энергию на Дальнем Востоке России.

«Соглашение направлено на реализацию комплекса мероприятий по развитию солнечной энергетики в РФ, в том числе реализацию проекта строительства объектов солнечной генерации на острове Русский (Дальний Восток) для энергоснабжения объектов инфраструктуры под проведение саммита АТЭС в сентябре 2012 года», — отмечается в сообщении ФСК ЕЭС.

Также планируется установка фотоэлектрических (солнечных) систем для обеспечения нужд подстанций федеральной сетевой компании. В рамках совместных проектов будет обеспечено инженерно-методическое обеспечение объектов солнечной генерации.

«Хевел» обеспечит выполнение ряда работ, связанных с поставкой фотоэлектрических тонкопленочных модулей, проектированием, изготовлением, установкой и эксплуатацией фотоэлектрических генераторных установок на объектах единой национальной электрической сети, а также организует их техническое обслуживание, ремонт и диагностику.

ФСК ЕЭС рассмотрит возможность пилотного строительства объектов солнечной генерации на острове Русский и представит «Хевелу» проект технических требований к их строительству.

В производстве генерирующих систем будут использованы тонкопленочные фотоэлектрические модули, созданные на основе микроморфной технологии и разработанные швейцарской компанией Oerlikon Solar.

Максимальная мощность каждого модуля площадью 1,4 квадратных метра составляет 125 Вт. Одним из ключевых преимуществ используемой технологии является способность солнечных панелей воспринимать как прямой, так и рассеянный свет, что в сочетании с относительно низкой стоимостью производственных модулей делает их более эффективными.

## **2.2 Солнечная энергетика в Краснодарском крае**

Эксперты единодушны: география Краснодарского края позволяет использовать все виды ВИЭ, известные на сегодняшний день. И регион более или менее успешно овладевает ими. Прежде всего, имеются заметные успехи в гелио- и геотермальной энергии, при проектировании ветряных электростанций. Сельскохозяйственные предприятия все чаще обращают внимание на преимущества биогазовых станций и мини-ГЭС. А местные жители и предприниматели присматриваются к тепловым насосам. Начнем с наиболее очевидной «альтернативы», а именно от трехсот солнечных дней в году. Согласно целевой программе, развитие этого возобновляемого источника энергии всего на 0,01% полностью обеспечит энергетические потребности региона. Но сейчас экономически целесообразно, чтобы потребители строили сезонные солнечные водонагревательные станции с работой в течение межотопительного периода. В отсутствие эффективного отечественного оборудования в провинции проекты реализуются с использованием солнечных коллекторов немецкого, израильского, турецкого и китайского производства.

Учитывая благоприятное географическое положение и значительный потенциал солнечной энергии, открыты все возможности для использования собственных производственных мощностей.

Величина полной солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность в течение года, в среднем в регионе составляет 1200-1400 кВт / ч на квадратный метр. «При использовании солнечной энергии для теплоснабжения выработка тепловой энергии в среднем составляет 900 кВт/ч на кв.м, а потенциальные ресурсы территории края — свыше  $100 \cdot 10^{12}$  кВт/ч в год», — отмечается в постановлении Заксобрания Кубани «О мерах по внедрению солнечных коллекторов для нагрева воды».

Несмотря на легкую доступность этой экологически чистой энергии, ее использование в Краснодарском крае до сих пор ограничивалось несколькими местными проектами. Например, солнечные заводы в течение нескольких лет обеспечивали горячей водой центральную районную больницу в Усть-Лабинске и городскую больницу курорта Анапа.

По оценкам кубанских парламентариев, низкие темпы внедрения солнечных установок обусловлены высокой стоимостью оборудования и отсутствием государственной поддержки как производителей, так и потребителей такой энергии.

Не слишком готовы применять соответствующие решения и частные компании. Чаще всего энергия Солнца используется сотовыми операторами. Например, ОАО «ВымпелКом» еще в 2004 году основало базовую станцию в Краснодарском крае на солнечных батареях.

Последовало этому примеру и ПАО «МТС». Оператор запустил базовые станции в трех населенных пунктах Кубани, которые используют энергию Солнца как источник питания круглый год. Проект реализуется на оборудовании компании «Искра» (Словения), изготовленной по специальному заказу оператора.

Среди основных реализованных проектов также стоит отметить гибридную систему освещения реализованную в торговом центре «МЕГА Адыгея-Кубань» (освещающий зал перед гипермаркетом «Ашан»). Такие решения позволяют обеспечить смешанное освещение помещения из-за естественного света от систем Solatube и искусственного света от светодиодных модульных комплексов, что поддерживает заданный уровень освещенности помещения в течение дня. Специальные световые направляющие (светодоводы) позволяют получать естественный свет даже в помещениях без окон.

Власти Краснодарского края периодически заявляют о необходимости развития солнечной энергии в регионе. Например, решение ЗКК «О некоторых мерах по инновационному развитию топливно-энергетического комплекса» от 2015г. предусматривает увеличение использования солнечных электростанций в бюджетных учреждениях, организациях санаторного комплекса, молочно-товарном животноводстве и строительстве теплиц. Однако, как правило, такие документы не содержат количественных показателей.

В то же время Кубань считается лидером в научных исследованиях по солнечному теплоснабжению. В Кубанском государственном аграрном университете, на кафедре электротехники, теплотехники и возобновляемой энергетики, по этим вопросам работают три доктора технических наук, три кандидата наук и пять аспирантов. База данных солнечной радиации уже разработана, разработаны методы проектирования солнечных батарей, а также оригинальные конструкции солнечных коллекторов.

Кроме того, Дмитрий Лопатин, выпускник аспирантуры кафедры радиофизики и нанотехнологий, занимался созданием нового типа солнечных элементов с помощью уникальной технологии печати в Кубанском государственном университете. Гибкие батареи, созданные его командой, легко устанавливаются на различные поверхности (включая одежду), а также эффективно работают на рассвете и закате. К сожалению, после скандала по поводу абсурдного обвинения связанного с импортом психотропных веществ (растворитель гамма-бутиролактон был использовался учеными в экспериментах), Лопатин решил покинуть Россию.

В Краснодарском крае есть один из старейших производителей оборудования для солнечной энергетики в России - ПАО «Сатурн» (Краснодар). Завод занимается разработкой и производством солнечных батарей и батарей для космических применений с 1971 года. За эти годы Сатурн произвел более 1,2 тыс. Аккумуляторов общей площадью более 20 тыс. кв. метров, которыми оснастили более чем 1200 космических аппаратов. Правда, эти достижения не могут быть использованы всеми - компания не предоставляет оборудование для «гражданских» целей, а очень жаль.

Сочетание чрезвычайно благоприятных климатических условий и научной базы дает надежду, что солнечные коллекторы рано или поздно перестанут восприниматься в регионе как своего рода «зеленая» экзотика.

По сообщениям Агентства по управлению объектами ТЭК министерства ТЭК и ЖКХ Краснодарского края, в регионе целесообразно использовать два типа солнечных электростанций. Первый работает на основе фотоэлектрической реакции. Срок службы таких батарей с эффективностью 95% составляет не более 6 лет, а затем эффективность снижается, батарею нужно менять. При достаточно высокой стоимости такие проекты экономически нецелесообразны.

Второй тип включает солнечные коллекторные станции. Они намного выгоднее, однако технологически обоснованные места для их установки (количество солнечных дней составляет не менее 280 в год) чрезвычайно далеки от существующих распределительных сетей.

В настоящее время в Краснодарском крае нет проектов с использованием солнечных батарей для выработки электроэнергии с последующей интеграцией в энергосистему, но крупные инвесторы уже рассматривают подобные варианты инвестиций.

На данный момент «Агентство по управлению объектами топливно-энергетического комплекса» совместно с компанией «Avelar Solar Technology»

проводит поиск трех объектов для солнечных электростанций. В качестве альтернативы рассматриваются 12 муниципалитетов: Анапа, Геленджик, Новороссийск, Сочи, Абинский, Ейский, Каневский, Калининский, Крымский, Приморско-Ахтарский, Темрюкский и Туапсинский районы.

Также в июле 2015 года французские инвесторы были заинтересованы в возможности реализации проектов в области солнечной энергии и ветроэнергетики в Темрюкском и Ейском районах. В то же время вице-губернатор Краснодарского края Сергей Алтухов отметил, что регион должен поддерживать и стимулировать такое производство.

### **2.3 Солнечная энергетика в Астраханской области**

Сегодня более 28% электроэнергии Астраханской области вынуждено экспортировать через линии электропередачи из Волгоградской энергосистемы. Цена энергетической зависимости не была бы столь высокой, если бы не ограничения для потребителей, которые продолжаются от 2 до 6 часов в сутки пиковых нагрузок. Потребление электроэнергии в регионе растет, но дефицит электроэнергии не уменьшается и, по прогнозам региональных чиновников, увеличится почти в 3 раза, до 480 МВт к 2015 году. Амортизация основных средств в электроэнергетике достигает критических значений: полностью отработали нормативный срок службы 20% воздушных и 15% кабельных линий электропередач и более половины трансформаторов. Все это рано или поздно приведет к еще большему росту цен на электричество и тарифы на мощность, а цена присоединения увеличится до слишком больших значений.

Одним из самых дальновидных способов преодоления этой сложной ситуации (помимо реконструкции существующей энергетической инфраструктуры и повышения энергоэффективности) является внедрение возобновляемых источников энергии. Перспективы выглядят достаточно многообещающе, ведь в Астраханской области существует широкий круг потенциальных потребителей “зеленого” электричества - фермерских хозяйств и туристических баз.

И наиболее выгодно из всех возобновляемых источников энергии в области выглядит именно солнце. Средняя продолжительность солнечного излучения на территории региона составляет 2441 ч / год, а среднее общее количество солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность за год, достигает почти 5000 МДж. По значениям этих показателей регион сопоставим с Калмыкией и Краснодарским краем, лидерами в Российской Федерации за потенциал использования солнечной энергии.

Регион считается самым солнечным на юге России, более 300 солнечных дней в году.

Более того, уже есть опыт использования возобновляемых источников энергии, хотя и для получения горячей воды - в 2013 году в Нариманове был запущен проект солнечной тепловой станции Солнечный город.

Наримановская СЭС состоит из 1060 солнечных модулей и занимает площадь 5000 квадратных метров, обеспечивает энергией Солнечный город, мощности батарей хватает для обеспечения горячей водой 12 тысяч жителей города.

Генеральный подрядчик - Solar Management (Sun Energy Management Company), подрядчик - UK Bright Capital. Солнечная установка считается самой крупной в России.

К сожалению, проект по строительству других СЭС был замедлен.

В 2014 году было запланировано ввести в эксплуатацию 2 СЭС - недалеко от Астрахани и в селе Володарский, и все 6 СЭС должны были начать работу до конца 2015 года.

Теперь интерес к проекту вернулся, несмотря на то, что ограничения всё те же - высокая стоимость проектов и длительные периоды окупаемости.

Помимо этого не так давно, в октябре 2017 года правительство Астраханской области и компания «Хевел» подписали соглашение согласно которому будут построены три сетевые солнечные электростанции общей мощностью 135 МВт в Волжском и Ахтубинском районах Астраханской области в течение 2017-2019 года. На данный момент уже строится СЭС «Нива» мощностью 15 МВт, «Фунтовская» и «Ахтубинская» СЭС мощностью 60 МВт каждая. В 2019 году обсуждается возможность строительства СЭС «Лиманская» мощностью 30 МВт в Лиманском районе.

Это не первый проект в области альтернативных, возобновляемых источников энергии в Каспийском регионе - в сентябре этого года в Володарском муниципальном округе состоялся запуск заводской солнечной электростанции «Заводская» мощностью 15 МВт от компании Solar Systems.

Солнечные электростанции «Хевел» будут построены в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 28 мая 2013 года № 449 «О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности».

Общий объем инвестиций в проект составит около 20 миллиардов рублей. Инвестором проекта являются структуры группы компаний «Хевел». Правительство Астраханской области, в свою очередь, предоставит проекту всестороннюю информацию и организационную поддержку.

## **2.4 Солнечная энергетика в Волгоградской области**

Возобновляемые источники энергии могут решить проблему перекрестного субсидирования в электроэнергетике. Волгоградская область обладает высоким потенциалом для возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Однако, пока о широкомасштабном вводе в эксплуатацию и солнечной энергии в регионе рано даже говорить. Чтобы изменить ситуацию, необходимо поменять подходы к государственной поддержке инвестиций в ВИЭ и создать механизм, который позволит владельцам установок, основанных на возобновляемых источниках, поставлять электроэнергию на розничный рынок.



По потенциалу ветра и солнечной энергии Волгоградская область может дать шансы большинству стран ЕС. Там и солнечных дней в году намного больше, и ветры дуют почти непрерывно в течение года. Но пока ситуация явно не в пользу России. Например, в Германии ветровые и солнечные электростанции используются даже в небольших домашних хозяйствах, в то время как в Волгоградском регионе, главным образом, предприятия по производству тепла построены для подогрева воды и отопления зданий.

И все же, по словам заместителя директора ГБУ Волгоградской области «Волгоградский центр энергоэффективности» Юрия Котлярова, регион может сделать мощный прорыв в производстве электроэнергии на основе возобновляемых источников энергии.

- «Наше отставание дает уникальную возможность догнать и перегнать Германию по эффективности, срокам окупаемости и объемам производства электроэнергии на основе ВИЭ за счет внедрения самого современного оборудования», - говорит он.

Подобные выводы сделаны просто: в солнечной генерации немцы в основном используют оборудование с КПД 10%, тогда как в современных солнечных батареях эта цифра в 2 раза выше. Также стоит принять во внимание тот факт, что солнечная инсоляция в Волгоградской области практически вдвое выше немецкой. В итоге, мы получаем почти 4-кратное повышение эффективности по сравнению с тем, что сейчас находится в Германии. Однако на федеральном уровне идея увеличения доли ВИЭ на оптовом рынке электроэнергии вынашивается уже давно. В частности, государственная программа «Энергоэффективность и развитие энергетики» была принята до 2020 года. Согласно этой программе в стране должно быть введено 6.2 ГВт генерирующих мощностей на основе ВИЭ. Это увеличит их долю в энергетическом балансе с 0,8% до 2,5%. Также начал применяться механизм поддержки инвестиций в возобновляемые источники энергии, что предполагает конкурсный отбор проектов по строительству энергетических мощностей. Это делается в пределах, установленных Правительством России. Конкурсные отборы в Волгоградской области проводятся ещё с 2013 года, однако проекты стали появляться не так давно. Дело в том, что генерирующая мощность должна составлять не менее 5 МВт, и такие инвестиции, как правило, могут делать только крупные компании с государственным капиталом.

Между тем, волгоградская энергия, основанная на ВИЭ, в основном развивается там, где невыгодно тянуть линии электропередачи - в овечьих точках, животноводческих фермах и торговых предприятиях, удаленных от точек присоединения.

Директор ООО «Наши проекты по созданию энергетических мощностей на основе ВИЭ» осваиваются в местах, куда дорого дотянуть линии электропередач. В основном это объекты сельскохозяйственного производства. Развитие ВИЭ при участии государства могло бы стать хорошей поддержкой волгоградским селянам и позволило бы повысить конкурентоспособность сельхозпродукции в условиях ВТО». Дело в том, что такие субсидии работают

на развитие энергетической инфраструктуры и не ограничивается правилами международной торговли. Но если бы вопрос продажи электроэнергии в розницу был разрешен или выплачивалась компенсация за снижение нагрузки на сеть, то развитие ВИЭ в Волгоградской области шло бы не по дням, а по часам.

Игорь Верейтинов также считает, что для развития ВИЭ необходимо прежде всего поддержать их развитие в частном секторе.

- Солнечные электростанции должны строиться на коттеджах и частных домах, привлекать ТСЖ и управляющие компании. Эти меры приведут к сокращению потребления электроэнергии населением, что само по себе приведет к сокращению перекрестных субсидий, о чем так много говорят в последнее время, и к стабилизации цен на электроэнергию.

Между тем, все эти вопросы активно обсуждаются энергетическим сообществом. На недавнем заседании НП «Совет рынка» было внесено предложение о существенном увеличении максимального объема капиталовложений для проектов в малом поколении на основе возобновляемых источников энергии. От их размера зависит отдача инвестиций за счет повышения тарифов для потребителей. Аналитики считают, что такой подход позволит сделать привлекательными для инвестиций практически все небольшие проекты по производству электроэнергии на основе ВИЭ. Но пока этот вопрос находится на стадии первоначального обсуждения, он имеет влиятельных противников в лагере потребителей, и поэтому неизвестно, реализуется ли эта идея.

Как бы то ни было, но Волгоградская область уже сформировала рынок для подрядчиков, использующих возобновляемые источники энергии и получающие экономические выгоды. Поэтому, возникает вопрос об активном использовании возобновляемых энергетических ресурсов и дальнейшем развитии этого энергетического сектора. По его мнению, решение организационных вопросов присоединения электростанций на основе ВИЭ к электрическим сетям создаст мощные экономические стимулы для использования возобновляемых источников энергии и станет катализатором взрывного роста электроэнергетики на основе возобновляемых источников.

Тем временем определённые шаги уже сделаны. Так, в начале февраля этого года на Волгоградском нефтеперерабатывающем заводе была открыта первая солнечная электростанция в регионе. Устройство мощностью десять мегаватт может генерировать ежегодно 12 миллионов киловатт-часов электроэнергии.

Как сообщает информационное агентство «НовостиВолгограда.ру» со ссылкой на пресс-службу областной администрации, солнечная электростанция была торжественно введена в эксплуатацию губернатором Андреем Бочаровым и президентом «Лукойла» Вагитом Алекперовым. Важный инвестиционный проект на сумму 1,5 млрд. рублей не только увеличит производство энергии, но также окажет положительное влияние на экологию региона: благодаря его реализации выбросы углекислого газа будут сокращены на 10 000 тонн в год.

Электростанция, которая в настоящее время уникальна для Волгоградской области, включает более 39 000 фотоэлектрических элементов, распределительных шкафов, трансформаторов и других устройств. Доля российского оборудования, используемого для его создания, составляет 70%. Губернатор Андрей Бочаров подчеркнул, что компания «ЛУКОЙЛ» успешно реализовала поставленные задачи, продемонстрировав социальную ответственность и высокий уровень сотрудничества между крупным бизнесом и властями.

Состояние солнечной энергетики в других странах представлено в Приложении А.

### **3 Исследование поселка Чумикан**

Ранее рассматривались наиболее оптимальные варианты для строительства солнечных электростанций в России. Изучение потенциала солнца выявило, что наиболее богатым этим ресурсами является Дальний Восток, в частности Якутия, Амурская область и Хабаровский край. После тщательного изучения различных вариантов в этих регионах, выбор был остановлен на посёлке Чумикан Хабаровского края.

#### **3.1 Обоснование выбора поселка**

Село, административный центр Тугуро-Чумиканского района Хабаровского края, порт на Удской губе Охотского моря. Основано в 1880 году. Большинство первых поселенцев в середине 1880 г. по настоянию Филиппеуса, агента русского правительства по снабжению провиантом северных округов, прибыли сюда из Удска, утратившего окружной статус.

Село расположено у устья реки Уда, в 480 км к северо-западу от железнодорожной станции Комсомольск-на-Амуре, в 1547 км от краевого центра, в 526 км от железнодорожной станции Постышево, в 721 км морем от г. Николаевска-на-Амуре.

В селе имеются аэропорт, пристань, дом культуры, центральная районная и сельская библиотеки.

В Чумикане базируется старательская артель, где добывают золото, очень развит лов и переработка рыбы, а также охотничий промысел. Продукция села пользуется высоким спросом в регионе, а также экспортируется в другие, при этом возможности добычи золота и промысла рыбы, гораздо выше текущих показателей... но развитие данных промыслов сталкивается с рядом проблем. Одна из них – отсутствие централизованного энергоснабжения. Село получает электричество от дизель – генераторов, которые уже устарели и периодически случаются перебои с электроэнергией. Самое большое было в 2016 году и продлилось с октября по декабрь, составив практически три месяца. Это очень длительный срок. И это не говоря уже о том, что топливо в нашей стране дорожает практически ежемесячно, что делает такое решение крайне дорогостоящим.

Климат умеренно-холодный. Количество осадков в Чумикане достаточно значительное, с периодическим дождём даже в засушливый месяц. Самый жаркий месяц года – июль со средней температурой в 17,8 ° С, а самый холодный – январь со средней температурой -27,6 ° С. Село Чумикан имеет децентрализованное энергоснабжение от местной дизельной электростанции. При цене дизельного топлива примерно в 50 рублей за литр (с учётом доставки) и не самой энергоэффективной ДЭС цена одного кВт\*ч составляет порядка 22 рублей. Следует ли говорить о том, что постройка линии в посёлок протяжённостью в несколько сотен километров абсолютно нецелесообразна

экономически. Такая линия будет “золотой”. Однако решать вопрос с энергоснабжением нужно, иначе со временем там не останется никого и вся промышленность села умрёт.

Как уже говорилось выше, на сегодняшний день актуально электроснабжение именно от ВИЭ. Этому способствует и постоянное снижение цены на них экологичность данных источников, а также огромный выбор поставщиков оборудования, который постоянно расширяется.

Выбирая то, какой из возобновляемых источников энергии будем использовать остановимся на солнце. Солнечный потенциал данного региона, впрочем как и всего Дальнего Востока весьма высок. Однако каким бы высоким он ни был, он не отменит главного минуса, как солнечной, так и ветроэнергии, а именно непостоянство выработки электроэнергии. Для нивелирования данного минуса принято решение добавить к солнечной электростанции микро- ГЭС и с помощью гибрида этих двух станций обеспечить стабильную и надёжную выработку электроэнергии для посёлка. Все необходимые условия для этого созданы: солнечных дней в посёлке больше 300 в году и сам посёлок стоит на берегу реки, поэтому гидроэнергия в необходимом объёме тоже есть.

### **3.2 Исследование солнечной инсоляции в посёлке**

В первую очередь необходимо узнать какое количество солнечных панелей понадобится для того, чтобы обеспечить потребности посёлка в электроэнергии. Для этого нужны значения солнечной инсоляции в посёлке, а именно количество солнечного излучения на квадратный метр.

Для этого возьмём данные с сайта <https://rp5.ru>, который предоставляет наиболее полную выборку метеорологических данных за любой выбранный период. Возьмём двухгодичный период с 12.03.2016 по 12.03.2018. С помощью программного комплекса Microsoft Office Excel произведём статистическую обработку архивных данных.

В итоге количество солнечных дней в районе посёлка Чумикан составляет порядка 300 дней в году.

### **3.3 Исследования гидроэнергетического потенциала реки Уда**

Уда - река в Хабаровском крае России. Она впадает в Удский залив Охотского моря.

Длина водотока реки составляет 457 км, площадь бассейна - 61,3 тыс. км<sup>2</sup>, средний расход воды - 966 м<sup>3</sup>/с. Исток находится на северном склоне хребта Джагди . Ширина реки в низовьях достигает 500 метров, она впадает в море тремя рукавами. Во время прилива рукава образуют единую водную поверхность, достигающую ширины 2-3 километра . Средняя скорость водотока составляет 5 км в час . Режим реки неустойчив. Характерной особенностью является отсутствие весеннего паводка, объясняемое низкой толщиной

снежного покрова и его частичным испарением из-за сильной инсоляции. Летние наводнения после сильных дождей значительны, обычная продолжительность составляет 2-3 дня.

В устье реки расположен порт Чумикан.

Течение реки Уда быстрое. Вода чистая прозрачная. Дно каменистое, много кос и отмелей. На реке по берегам на поворотах встречаются завалы, они не перегораживают реку, но вот протоки могут быть перекрыты. Берега обрывистые, но не высокие, встречаются мощные выходы коренных пород в виде прибрежных скал. Река Уда более спокойная, течет по равнине в заболоченной низменности. В верховьях, до слияния с Удыхином с левой стороны к реке подходят огромные отвесные скалы, под которыми находятся большие ямы и омуты. Ниже река течет в широкой долине, изобилует множеством заломов, под которыми и любит стоять в ожидании добычи таймень. В среднем и нижнем течении река Уда носит равнинный характер.

Также река является нерестилищем для лососевых.

Климат в различных частях обширного бассейна реки Уды неоднороден. В целом, он находится под влиянием Тихоокеанского муссона и охлаждающего эффекта Охотского моря. Прибрежная часть и речная долина, открытые к морским ветрам, испытывают наибольший эффект муссонных ветров. В горной части усиливаются континентальные климатические особенности.

Согласно климатическому районированию, предложенному П. И. Колосковым, бассейн реки Уды следует отнести к холодной зоне с суммой температур, составляющей менее 1500°C в течение вегетационного периода, и влажным поясом с годовым количеством осадков 500-700 мм. Согласно температурным индикаторам эта зона не подходит для использования в сельском хозяйстве, за исключением огородничества.

При климатическом районировании Г. Н. Витвицкого бассейн Уды расположен на границе двух зон. Прибрежная часть расположена в зоне субарктического климата. Внутренние области бассейна относятся к умеренной зоне.

Средняя годовая температура воздуха колеблется от -3,9 °C (около моря) до -6,2 °C (в горной части). Зима начинается в середине октября и длится до середины мая. Первый снег на побережье падает в октябре, а на горах лежит с середины сентября. Самый холодный месяц январь. Так, в поселке Чумикан средняя температура января составляет -23,7 °C, в селе Удск (65 км от моря) - 27,3 °C, в поселке Экимчан (240 км от моря) -34 °C.

Зимой небольшой снег. Наибольшая декадная глубина снега составляет 39-64 см. Снег на большей части бассейна лежит до мая. На гольцах и в понижениях ландшафта ледяные покровы остаются до июля-августа.

Средняя температура мая на морском побережье составляет 1,9 °C, в Удском -4 °C, в Экимчане - 5,9 °C. За исключением побережья, самым теплым месяцем является июль. Среднемесячная температура в июле составляет в Удском 14,5 °C, в Баладеке 16,2 °C, в Экимчане 16,2 °C.

Наибольшее количество осадков выпадает летом.

В северных районах максимальный сток приходится на период весеннего половодья, пик которого смещается в июне (25% стока). Летне-осенние наводнения на гидрографе не прослеживаются. Запасы на зимний период составляют 1-3% годовых.

Зимняя межень. Первые ледовые образования на реке появляются в среднем: в первые или вторые декады октября в регионах к северу от долины реки Уды. Осенний снегоходный дрейф длится 7-20 дней, часто сопровождается ледяными заторами. Ледостав на реке установлен во второй-третьей декадах октября - к северу от реки Уды. Продолжительность замораживания реки длится в течение 10-12 дней.

Сток воды достигает минимума в марте. На крупных и средних реках региона (за исключением реки Амур) минимальный зимний средний водный сток настолько мал, что он становится сопоставимым с канализационным стоком большого города и составляет  $50 \text{ м}^3/\text{сек}$ , в зависимости от водосборная площадь реки. Для реки Уда этот показатель для марта месяца составляет  $23,2 \text{ м}^3/\text{с}$ , что вполне удовлетворяет потребностям ставятся перед посёлка.

### **3.4 Выбор фотоэлектрической установки**

Непосредственно перед выбором было принято решение отдать предпочтение Российским компаниями, производящим солнечные элементы. Этому поспособствовала более привлекательная цена, наличие всех необходимых сертификатов качества, близкое производство, а также широкий выбор различных фотомодулей отечественного производства.

Одним из самых главных критериев выбора была, конечно же, цена, причём цена не розничная, а именно та, которую компания хотела за уже готовое решение, с учётом скидки за оптовый заказ. На сегодняшний день производственные мощности отечественных компаний небольшие, поэтому СЭС, даже для такого посёлка как Чумикан, является крайне привлекательным в финансовом плане проектом.

В качестве дополняющих критериев выступала надёжность, подтверждённая долгой гарантией завода - изготовителя, наибольшая пиковая мощность, высокий КПД, приемлемый диапазон температур, при которых возможна эксплуатация, а также минимальная потеря мощности в связи с старением фотоэлементов.

В итоге предпочтение решено было отдать компании АО "РЗМКП" (Рязанский завод металлокерамических приборов). Фотоэлементы этой компании в наибольшем объёме удовлетворяет критериям описанным выше.

В качестве солнечного элемента выбираем RZMP "Фотоэлемент-Р". Его характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики фотоэлемента RZMP “Фотоэлемент-Р”

Номинальная пиковая мощность	290
Минимальная пиковая мощность при поставке, Вт, не менее	290,0
Напряжение в точке MPP, В	31,6
Ток в точке MPP, А	9,18
Напряжение хх, В, не менее	39,2
Ток кз, А, не менее	9,85
КПД модуля, %	18,5
Температурные коэффициенты	$\alpha(I_{кз})=0,0042$ ; $\beta(U_{хх}) = -0,318$ ; $\gamma(P_{пм}) = -0,427$
НОСТ, ° С	45,8
Общая площадь, м <sup>2</sup>	1,56
Габаритные размеры, мм	1610(±2) x 970(±2) x 43(±1)
Масса, кг	21,5
Лицевая поверхность	Стекло закаленное текстурированное 3,2 мм
Фотоэлектрические преобразователи	60 шт., монокристаллические кремниевые 6,2” (157 x 157 мм)
Герметизация элементов	Пленка EVA SV15296/15297, Sveck PV New Material Co
Тыльная поверхность	НTPV 340S 0.34 мм цвет белый, Huitian New Material Co
Рама	Окрашенный алюминиевый профиль, цвет RAL 7035
Соединительная коробка	PV-AD 200 (с кабелем 700 мм, сечение 4 мм <sup>2</sup> ), совместимо с контактной системой MC-4
Допустимая нагрузка, Па	2400
Рабочая температура, ° С	от минус 40 до 85
Системное напряжение, В	1000

Преимущества данного модуля:

- закалка стекла обеспечивает высокую прочность модуля, предохраняя его от повреждений при воздействии града, снега, льда, ветра;
- низкое содержание оксидов железа в стекле обеспечивает его высокую прозрачность и гарантирует повышенный КПД модуля;
- текстурированная поверхность стекла обеспечивает повышенную выработку энергии вследствие более эффективного собирания диффузного и прямого излучения;
- применение высокоэффективных (КПД 20.4% и более) фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) обеспечивает повышенную выработку энергии;



- низкая паропроницаемость тыльного покрытия обеспечивает надежную защиту модуля от климатических воздействий. Высокая теплопроводность покрытия повышает выработку энергии вследствие лучшего охлаждения модуля;

- специальные сертифицированные разъемы и кабели позволяют легко монтировать модули, что сокращает затраты при установке, а также обеспечивает повышенную безопасность при эксплуатации;

- алюминиевый профиль повышенной прочности (высота 43 мм) обеспечивает необходимые механические свойства модулей;

- специальные сертифицированные разъемы и кабели позволяют легко монтировать модули, что сокращает затраты при установке, а также обеспечивает повышенную безопасность при эксплуатации;

- диоды в соединительной коробке снижают потери мощности при частичном затенении модуля и предохраняют его от повреждений. Применение особой конструкции соединительной коробки с вмонтированным в крышку диодом, позволяет легко заменять диоды в случае их выхода из строя без демонтажа модуля;

- применение трех соединительных коробок позволило упростить коммутацию элементов в модуле и уменьшить полную площадь модуля тем самым обеспечив КПД модуля более 18%;

- срок службы 25 лет.

Критерии качества модуля:

- пиковая мощность каждого модуля измеряется индивидуально;
- маркировка модели обеспечивается с допуском не более  $\pm 1,5\%$ ;
- каждый модуль имеет паспорт с отметками контроля качества;
- каждый модуль имеет серийный номер, обозначенный на этикетке;
- измерительное оборудование проходит ежегодную поверку и калибруется по тестовому модулю, измеренному в Fraunhofer Institut;
- менеджмент качества производства сертифицирован.

### **3.5 Выбор гидроэнергетической установки**

После тщательного анализа стало ясно, что для выбранной территории плотинная компоновка микро- ГЭС является слишком дорогой и бессмысленной. Это связано как с особенностями реки (широкая речная долина, для перекрытия, которой потребуется длинная плотина), так и с другими особенностями (нагрузка на ГЭС будет небольшая, что позволяет отказаться от плотины).

Однако с выбором подходящей компоновки возникли проблемы... все большинство представленных ранее бесплотинных компоновок имели ряд серьёзных проблем и недостатков, что не позволяло использовать их в данном проекте. После долгих поисков была найдена Бельгийская компания Turbulent. В недалёком прошлом эта компания была просто стартапом, не имеющим ни

своих производственных мощностей, ни готовых проектов, однако теперь это компания, которая создаёт готовые проекты под конкретные условия, которые ставит заказчик. Станции, построенные ими, успешно функционируют и производят электроэнергию. Основателями молодой компании, офис которой находится в Антверпене, являются Джаспер Веррейд (Jasper Verreydt) и Гирт Слачмюлдерс (Geert Slachmuylders). Их целью является создание простых и дешевых технологий поставки энергии из возобновляемых источников тем, кто больше всего в ней нуждается.

Такие мини-гидроэлектростанции могут быть установлены на реках глубиной 1 метр, не блокируя их естественный поток, в отличие от всевозможных дамб и плотин. Они смогут производить до 100 кВт не нуждаются в серьезном обслуживании и не влияют на окружающую среду, их энергия абсолютно «зеленая», не вредит речной флоре и фауне и идеально подходит для удаленных населенных пунктов.

Большой мусор улавливается самоочищающимся экраном, а рыбы, которые могут попасть в турбину, свободно проходят бассейн и возвращаются к реке. Процесс протекает непрерывно, пока вода течет через систему. В турбине есть только одна движущаяся часть, что обеспечивает долговечность работы. Срок службы такого бетонного бассейна – не менее 100 лет.

Простота и низкая стоимость установки должны привлечь потенциальных инвесторов по всему миру. В конце концов, все строительные работы занимают всего одну неделю и генератор готов выдавать электроэнергию. Основные затраты на рабочую силу связаны с оборудованием рядом с проточной водой небольшого бетонного бассейна, в которое затем устанавливаются рабочее колесо и генератор. Часть речной воды льется в бассейн и раскручивает турбину.

Гидроэлектростанции такого типа были протестированы на реках Бельгии. Также в начале 2018 года компания запустила первую установку в Чили.

Перспективы такого изобретения впечатляют. Turbulent уже сотрудничает с техническими специалистами Autodesk и VITO и получает финансирование для развития от компаний KIC Innoenergy, Iminds и бельгийского правительства.

Ещё одним преимуществом является тот факт, что у компании есть технология печати турбин на 3D принтере. Турбины исправно работают в заданном диапазоне, ударопрочны и, что самое главное, очень дешёвы в производстве. Подобный подход значительно уменьшает итоговую стоимость проекта.

Внешний вид такой гидроэлектростанции изображён на рисунке 8.

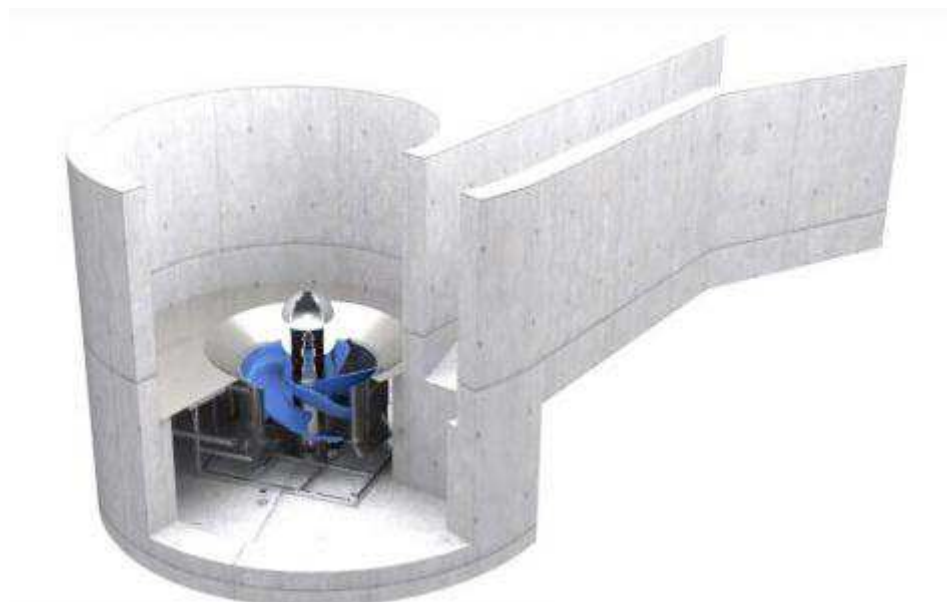


Рисунок 8 – Внешний вид гидроэнергетической установки компании Turbulent

Характеристики установки сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Технические характеристики гидроэнергетической установки компании Turbulent

Механические характеристики	Электрические характеристики
Масса: 700 кг (за исключением бассейна)	Обеспечивает 220-480 В и 50/60 Гц
Рабочий напор: от 1,5 до 3 метров	Есть как однофазные системы (5кВт), так и трёхфазные системы (> 5 кВт)
Бассейн, точно подобранный под мощность с диаметром от 3,8 до 6 метров для мощности 100 кВт	IP68 Водонепроницаемый генератор с двойной защитной механической системой уплотнений
Бетонный бассейн, рассчитанный минимум на 100 лет	Активный выпрямитель Danfoss® и инвертор с балластной нагрузкой для повышения стабильности
Композитное рабочее колесо с ударопрочным покрытием, которое дёшево в производстве	Автономные системы, проектируемые по запросу
Самоочищающаяся корзина для мусора (более 25 см)	
Управление потоком и автоматическое открытие ворот шлюза	

От лица потенциальных инвесторов, с компанией Turbulent велась переписка. В целом, им интересен Российский рынок гидроэнергетики, поэтому за достаточно конкурентную цену они готовы сделать проект автономной водоворотной ГЭС, с учётом заданных условий, а также сопровождать его на начальных стадиях.

На рисунке 9 представлен возможный вариант интеграции станции в реку Уда.

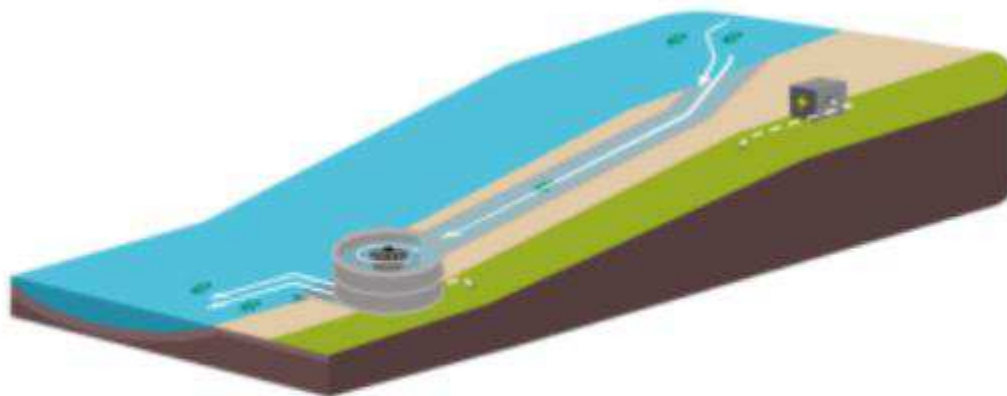


Рисунок 9 – Возможный вариант установки гидроэлектростанции

### 3.6 Выбор аккумуляторной батареи

Основным параметром аккумулятора является его ёмкость, которую следует определять исходя из того, для чего он будет предназначен. Будет ли он применяться в системе резервного или автономного питания. Так, для системы автономного питания следует применять аккумулятор большей ёмкости. Это связано в первую очередь с тем, что в такой системе аккумулятор будет гораздо чаще разряжаться до минимальных значений, что сильно уменьшит его ресурс. Поэтому целесообразно выбирать аккумулятор с запасом ёмкости для того, чтобы не допускать его частого полного разряда.

Также, к числу наиболее важных факторов, определяющих продолжительность эксплуатации батарей, относятся:

- температура окружающей среды;
- количество прошедших циклов заряда-разряда;
- степень заряженности батареи;
- особенности конструкции батареи.

К основным характеристикам аккумуляторных батарей относятся:

- ёмкость, ампер/час;
- напряжение, вольт;
- допустимая глубина разряда, %;
- срок службы, лет;
- диапазон рабочих температур, °С;

- саморазряд, %;
- габариты, мм;
- вес, кг;
- ток заряда, А.

Кроме того, следует уточнить, что, как правило, все приведённые производителем характеристики батарей указываются для температуры 20-25 °С. При снижении или повышении температуры показатели характеристик могут изменяться.

Далее дадим краткое пояснение, касательно различных типов аккумуляторов.

**Стартерные аккумуляторы** - самые слабые и короткоживущие батареи. Требования к ним небольшие, поэтому они изготавливаются по самой простой технологии (штампованные тонкие свинцовые решетчатые пластины). Бывают как обслуживаемые (требуется проверка уровня электролита и доливка дистиллированной воды, обычно один раз в год), так и не обслуживаемые герметизированные (в случае перезаряда большими токами или напряжениями, вода испаряется через предохранительный клапан, долить ее нельзя и батарея выбрасывается).

Обслуживаемые автомобильные АКБ выдерживают около 100 циклов разрядов на 80%, герметизированные же - около 200.

**AGM** - кислотные герметизированные аккумуляторы, в которых электролит адсорбирован стекломатами. Выдерживают примерно 250-400 циклов разряда на 80%. Технология производства пластин обычная, в связи с чем количество циклов невелико. Чувствительны к перезарядам.

**Гелевые** - кислотные герметизированные аккумуляторы, в которых электролит загущен с помощью силикагеля. Способны выдержать примерно 350 - 450 циклов разрядов до 80%. Технология производства пластин обычная, поэтому число циклов относительно невелико. Более чувствителен к перезарядам, чем остальные (возможность выпаривания воды). Необходимо обеспечить точное соответствие токов зарядки и напряжений паспортным показателям (для них напряжение окончания заряда обычно ниже, чем у других батарей).

**Панцирные** – это широкий класс высококачественных кислотных аккумуляторов, построенных на решетчатой структуре пластин с трубчатыми электродами. Так называемые трубчатые положительные плиты, в которых каждый компонент заключен в полимерный кислотопроницаемый стержень, изготавливаются из сплава химически чистого свинца (чистота металла не менее 99,9%) и 2% сурьмы. Подобная технология применяется во всех промышленных типах АКБ (тяговых, стационарных, солнечных, как малообслуживаемых, так и герметизированных) с большим сроком службы. Герметизированные гелевые АКБ, сделанные на основе панцирных пластин, выдерживают порядка 900 - 1000 циклов разрядов на 80%. Кислотные малообслуживаемые - около 1500 циклов. Так же, часто АКБ делят по сфере

применения - стартерные (о них говорилось в начале раздела), тяговые, стационарные, солнечные.

**Тяговые** – предназначены для использования в электроподъемниках и другой электротехнике. Обычно, общая аккумуляторная батарея на нужное напряжение, составляется из батарей на 2 В большой ёмкости каждая (200 – 1200 Ач). Настоящие тяговые АКБ, сделаны по панцирной технологии. Стандартная маркировка – малообслуживаемые PzS (H), герметизированные гелевые – PzV.

**Стационарные** – применяются на промышленных объектах (там, где необходима повышенная долговечность и надёжность). Обычно, общая аккумуляторная батарея на нужное напряжение, составляется из батарей на 2 В. Они большой ёмкости – одиночные аккумуляторы бывают от 200 до 1200 Ач. Все используют панцирную технологию. Выпускаются как малообслуживаемые (в прозрачном корпусе OPzS), так и герметизированные гелевые (OPzV). У них самая большая надёжность и самый большой срок службы из всех типов аккумуляторов.

**Солнечные** – обычно являются модификацией тяговых или стационарных аккумуляторов. Эти батареи выпускаются как на 2 В, так и на 6 или 12 В. Обычно имеют панцирную технологию. Во многих случаях это стационарные или тяговые АКБ с другой маркировкой/названием (применяется как маркетинговый ход).

В условиях автономного электроснабжения будет большой ошибкой покупать стартерные, обычные гелевые, или аккумуляторы изготовленные по технологии AGM. Если финансы ограничены, лучше приобрести тяговые батареи Trojan T105 или Elhim-Iskra PzSH. Если средств достаточно, лучшим решением является прозрачный OPzS. Если требуются строгие требования к отсутствию вентиляции – герметизированный BAЕ 6V 4PVV 280, или OPzV, или PzV. К подобному требованию подходят и гелевые батареи, однако, сделанные по панцирной технологии. Ускоренный заряд повышенным током, в случае герметизированных батарей, применять не рекомендуется.

Остановим свой выбор на стационарных малообслуживаемых панцирных АКБ типа OPzS, которые являются оптимальным выбором для полной электронезависимости. Это настоящие рекордсмены по длительности использования и надёжности.

Отличительными особенностями этих батарей являются:

1. Высокая емкость;
2. Самый длительный срок службы как в резервном режиме (22 года и более), так и в автономном (порядка 13 лет);
3. Малообслуживаемость (долив воды обычно раз в 3 года);
4. Чрезвычайно низкий уровень саморазряда (позволяет использовать в солнечной энергетике и др.);
5. Простой и быстрый способ определения уровня заливки электролита, благодаря прозрачному корпусу;

6. Большой срок службы при высоких температурах (АКБ не боится установки в жарких помещениях);

7. Высокая надёжность и устойчивость к глубокому разряду, отличное восстановление.

Отдельные элементы (2В) сделаны в виде прозрачных пластиковых корпусах из стирол- акрилонитрила (SAN), материала, который сверхустойчив к химическому воздействию и механическим повреждениям, и, кроме того, не горит. Благодаря тому, что корпуса прозрачные, уровень электролита четко виден, максимальный и минимальный уровни промаркированы. Установленные в пробках керамические фильтры предотвращают любое испарение серной кислоты, но свободно позволяют проходить через себя парам воды и кислорода. Клапан позволяет производить доливку дистиллированной воды и измерение плотности электролита без их снятия. Он включает в себя каталитическую вставку для регенерации воды. При промышленном применении, исключительно важны надёжность и долговечность.

Обычно батареи OPzS поставляются сухозаряженными: батареи должны быть залиты электролитом и дополнительно подзаряжены перед использованием. Пластины уже сформированы и по специальной методике защищены против окисления. Они могут храниться без снижения свойств до 2-х лет.

На рисунке 10 представлены характеристики такого типа АКБ.

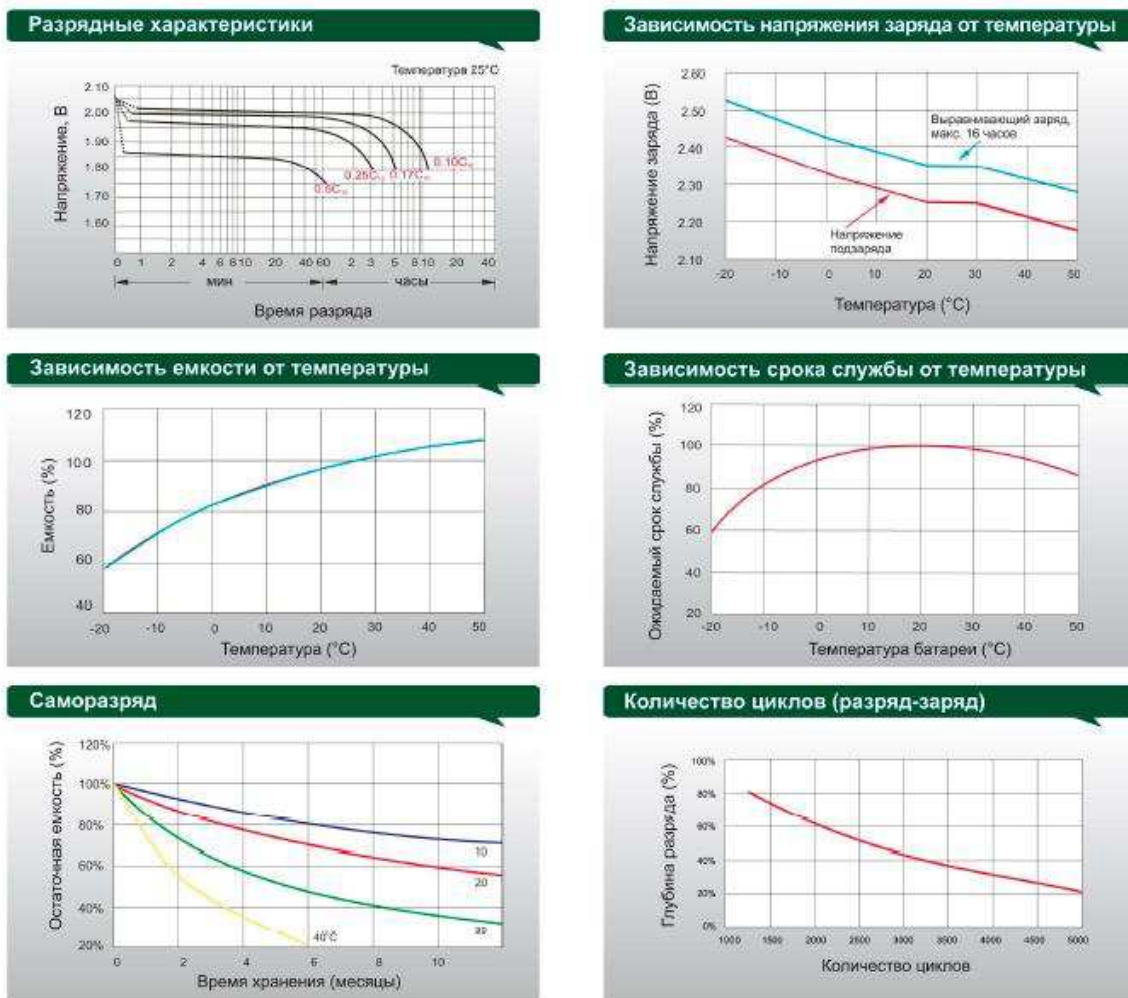


Рисунок 10 - Характеристики АКБ типа OPzS

Техническое обслуживание батареи сокращено до минимума и требуется только время от времени, так как для нормальной работы нужна только доливка небольшого количества дистиллированной воды один раз в течение примерно 3 лет и, при необходимости, протирка и очистка поверхности банки.

Также достаточно неплохими являются гелевые аккумуляторы, однако их главный недостаток в их “нежности”. При заряде большими токами или перезаряде, что вероятно при полной автономии, вода из аккумулятора может выпариться через предохранительный клапан, что приведёт к его выходу из строя.

В целом, для полностью автономной системы идеальный вариант – это обслуживаемые АКБ. Они надёжней и долговечней. Что касается обслуживания, то это не так страшно, как может казаться. Ведь при полной автономии, всё равно надо за всем следить - и за дизель генератором (менять масло, заливать дизель), и за зарядом АКБ (не рекомендуется допускать их полного разряда), и за чистотой солнечных панелей. И обслуживать ветряки надо не менее раза в год (если они есть). На этом фоне проверка уровня электролита раз в год, или, тем более, раз в 3 года, с возможной доливкой дистиллированной воды – совершенно не критична.



### 3.7 Выбор инвертора и контроллера

Сразу обозначим, что рассматривать будем только гибридные инверторы, так как сетевые не предполагают использование аккумулятора в системе энергоснабжения.

Стоит обратить внимание на продукты компании “Связь инжиниринг”. Это инновационное российское производство, выпускающее огромный ассортимент многофункциональных устройств. У них достаточно широкий ассортимент, начиная с бытовых инверторов и заканчивая промышленными. При этом у них есть и специальные решения для альтернативной энергетики, что собственно нам и нужно. Технические характеристики их инверторов представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Технические характеристики инверторов для альтернативной энергетики компании “Связь инжиниринг”

Наименование параметра	Значение параметра
<b>Вход</b>	
Вид тока	Постоянный
Номинальное значение напряжения, В	500
Диапазон изменения напряжения на выходе ИВЭ, В	360-600
Диапазон изменения напряжения на клеммах АКБ, В	300-320
<b>Выход</b>	
Вид тока	Трёхфазный переменный с нейтралью
Номинальное значение напряжения, В	380/220
Отклонение напряжения от номинального значения	±10%
Номинальная частота тока, Гц	50
Отклонение частоты тока от номинального значения, Гц	±1
Коэффициент мощности нагрузки	не менее 0,83
<b>Условия окружающей среды и физические характеристики</b>	
Температура эксплуатации	от минус 50 до плюс 85 °С
Относительная влажность при эксплуатации	95 % при температуре + 35 °С
Атмосферное давление	от 84 до 107 кПа
Соответствие стандарту качества электроэнергии	ГОСТ Р 54149-10
Соответствие стандарту ЭМС	ГОСТ Р 51317.6.4-2009

**Выбор контроллера.** ШИМ контроллеры соединяют солнечную батарею с аккумулятором напрямую. Напряжение на солнечной батарее снижается до напряжения аккумуляторной батареи. При выборе солнечных контроллеров с ШИМ все довольно просто - вы выбираете контроллер с таким же номинальным напряжением, как солнечная батарея. К сожалению, в большинстве режимов ШИМ контроллер не обеспечивает максимальную мощность от солнечных элементов, что приводит к потере генерации электроэнергии фотоэлектрическими панелями. На рисунке 11 ниже показано, насколько уменьшается выработка солнечных панелей при работе с контроллерами ШИМ (площадь зеленого прямоугольника) по сравнению с контроллерами МРРТ (площадь синего прямоугольника). Разница может достигать 30%.

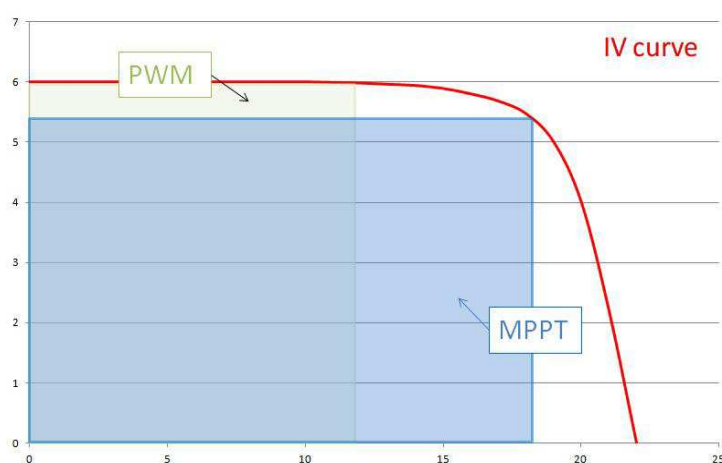


Рисунок 11 - Разница в выработке электроэнергии при использовании ШИМ и МРРТ контроллеров.

Главной отличительной особенностью МРРТ контроллеров является постоянное слежение за точкой мощности, то есть такой контроллер постоянно отслеживает ток и напряжение на батарее, перемножает их значения и определяет пару вольт-ампер, при которой мощность будет максимальной. Встроенный процессор также контролирует, на какой стадии заряда находится аккумулятор (наполнение, насыщение, выравнивание, поддержка), и на этой основе определяет, какой ток следует подавать в батарею. В то же время процессор может давать инструкции для указания параметров на табло (если есть), хранения данных и другое. Такие контроллеры целесообразно применять при мощности от 200 Вт, что в полной мере подходит к нашему случаю. Поэтому остановимся на них. В качестве фирмы выберем фирму MAP. О продукции этой компании масса положительных отзывов, что позволяет сделать вывод о высоком качестве её контроллеров.

## 4 Расчет в программном комплексе Homer

Для расчета необходимого количества солнечных установок, мощности ГЭС, количества аккумуляторных батарей и основных экономических показателей воспользуемся демонстрационной версией программы Homer, которая позволяет производить расчет для солнечных станций, ВЭС, малых ГЭС, биогазовых установок, ДГУ.

Для начала опишем основные возможности данного программного комплекса.

### 4.1 Общее описание окон программного комплекса

Программа «HOMER» моделирует физическое поведение энергосистемы и ее стоимость за период эксплуатации, включая стоимость установки и затраты на дальнейшую эксплуатацию. «HOMER» позволяет проектировщику сравнить множество различных вариантов конструкции энергосистемы и определить ее технические и экономические достоинства, помогает определить риски, связанные с изменчивостью погодных условий. При помощи программы можно рассчитать как автономную, так и соединенную с сетью энергосистему, производящую тепловую и электрическую энергию, которая содержит различные комбинации источников энергии (солнечные установки, ветрогенераторы, микро ГЭС, биогазовые установки, дизельные генераторы, аккумуляторные батареи и т.д.).

Структура программы содержит три основных модуля: моделирование, оптимизация и анализ чувствительности. Основные результаты программа предоставляет в виде таблиц и графиков, что позволяет легко анализировать полученные данные. Общий вид главного окна программы представлен на рисунке 12.

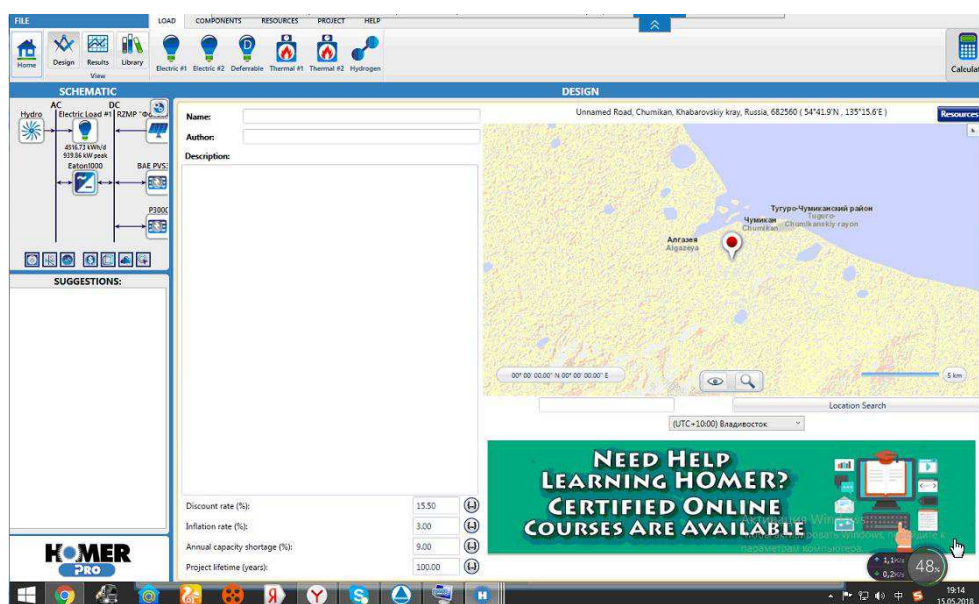


Рисунок 12 – Общий интерфейс программы Homer

Одно из основных меню File (Файл) включает в себя вкладки:

- Новый файл (New) - позволяет создать файл для дальнейшей работы с программой;
- Открыть (Open) – позволяет открыть готовую модель для работы в программе;
- Закрыть (Close) – закрывает текущую открытую рабочую модель;
- Сохранить, сохранить как (Save As) – дает возможность, сохранить модель;
- Импортировать в XML-файл (Import XML) – позволяет импортировать XML-файл в рабочую модель;
- Экспортировать в XML-файл (Export XML) – позволяет экспортировать данные модели в XML-файл;
- Описание входа HTML (HTML Input Summary) – позволяет пользователю просмотреть данные модели с использованием HTML кода;
- Сравнение файла (Compare File) – дает возможность сравнивать модели;
- Недавний файл (Recent File) – позволяет открыть недавно загруженную модель;
- Предпочтения (Preferences) – возможность настройки параметров в процессе запуска и обработки данных;
- Выход (Exit) – позволяет завершить работу пользователя и выйти из программы.

На рисунке 12 также показано содержимое вкладки Load (Нагрузка). Эта вкладка позволяет задать различного рода нагрузку на станцию, как тепловую, так и электрическую. Возможности программы также позволяют смоделировать примерную нагрузку в зависимости от населения и географического расположения населённого пункта.

На рисунке 13 показана вкладка Components (Компоненты). Здесь можно выбрать различные типы генерирующих станций (дизельная, ветровая солнечная, гидроэлектростанция и другие), а также другие необходимые для станций компоненты (контроллеры, аккумуляторные батареи, инверторы). В программе представлена весьма широкая база каждого из этих компонентов, вдобавок её можно дополнить своими элементами.

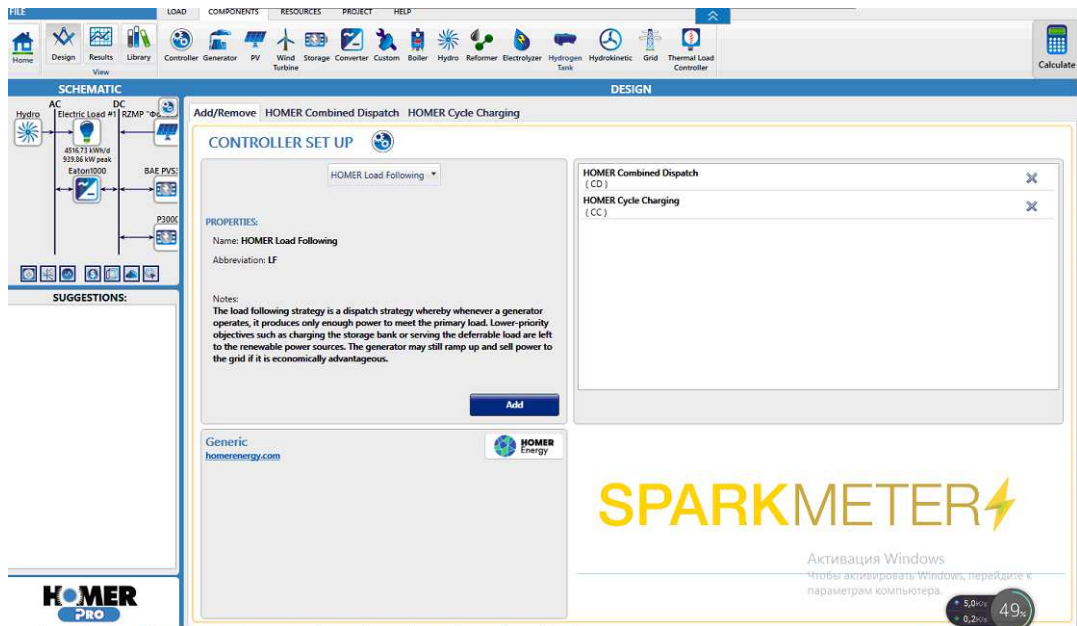


Рисунок 13 – Вкладка Components

Вкладка Resources (Ресурсы) на рисунке 14. Включает в себя различные типы ресурсов, необходимые для работы генерирующих станций (солнце, ветер, топливо, вода, биомасса) Также там можно задать температуру в районе, где будет установлена станция.

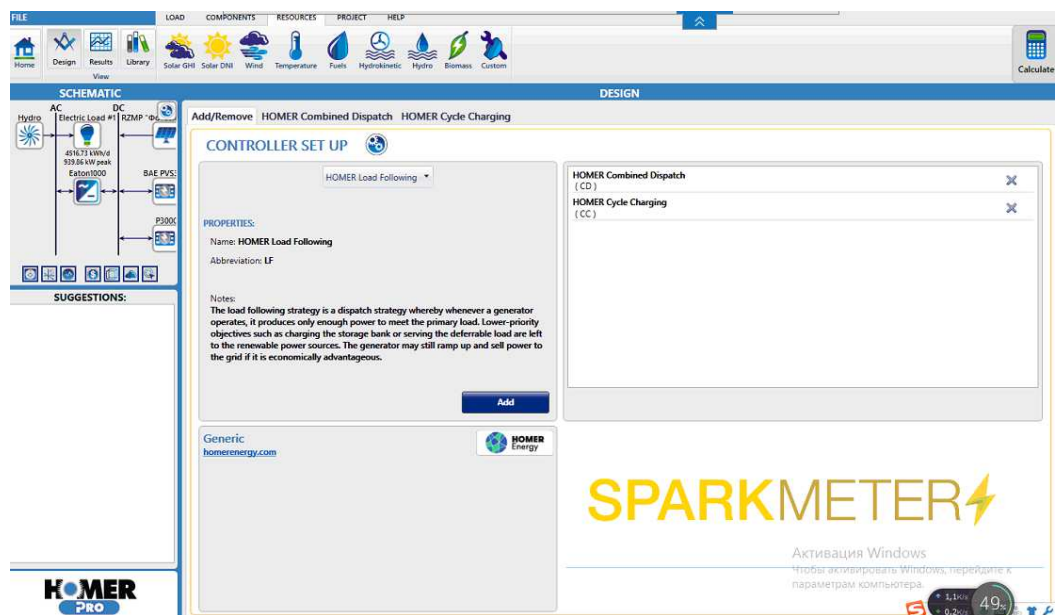


Рисунок 14 – Вкладка Resources

## 4.2 Задание исходных данных для расчёта

Сначала необходимо задать нагрузку для каждого часа в течение всего календарного года. Для этого воспользуемся типовыми примерами графиков из интернета, а также встроенными системами моделирования программы. Зададим число и местоположение населённого пункта, далее программа сама

составит почасовой годовой график нагрузки. В результате редактирования в соответствии с примерами типовых графиков нагрузки для России получим график на рисунке 15.

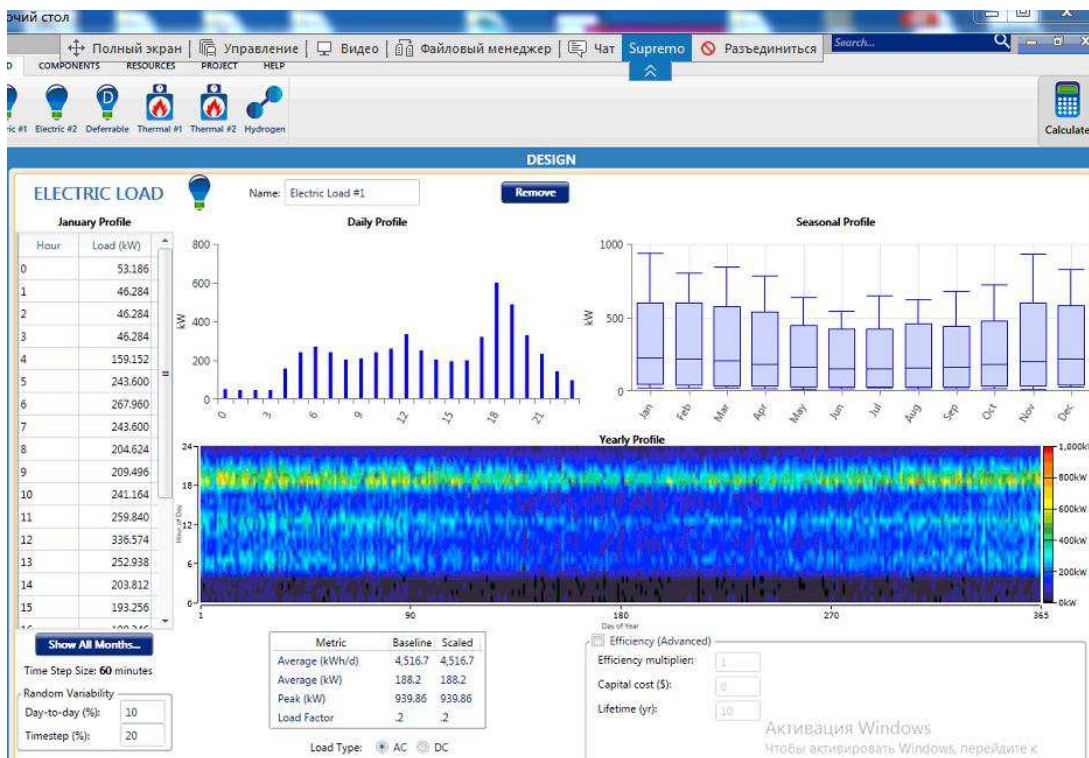


Рисунок 15 – График нагрузки посёлка Чумикан

Далее необходимо задать солнечную инсоляцию в течение года в районе постройки станции, а также указать температурный режим, для более точного расчёта работы фотоэлектрических установок. Программа позволяет как вручную ввести необходимые данные, так и загрузить их с одной из многочисленных баз данных, представленных в программе. Воспользуемся вторым способом, для более точного подбора данных, были загружены варианты со всех доступных баз и произведено их сравнение с результатами представленными на сайте gr5. Вариант, который больше всех совпадал с сайтом был принят за исходный. Результаты представлены на рисунках 16 и 17.

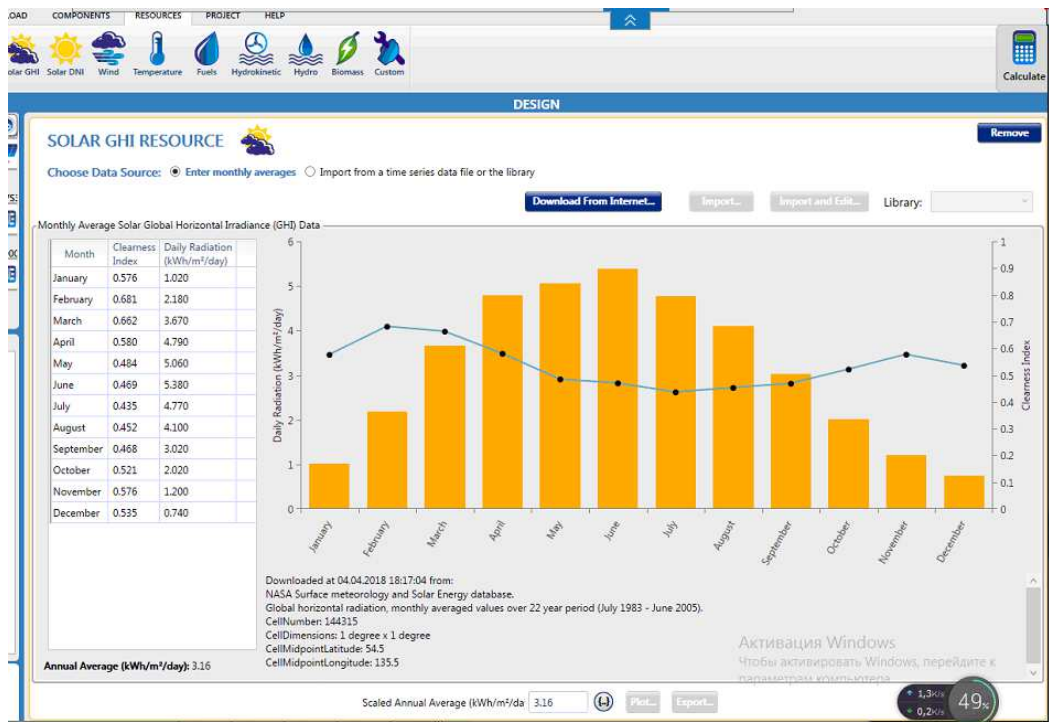


Рисунок 16 – Солнечная инсоляция в районе посёлка Чумикан



Рисунок 17 – Температурный режим в посёлке Чумикан в течение года

После этого необходимо заполнить вкладку “Hydro Resource”, которая будет отражать количество гидроресурсов в реке Уда. Данные по среднемесячным расходам взяты из документа “Особенности природно-ресурсного потенциала хребта Джугджур”. Там есть подробное исследование гидроэнергетического потенциала реки Уда. Данные представлены на рисунке 18.

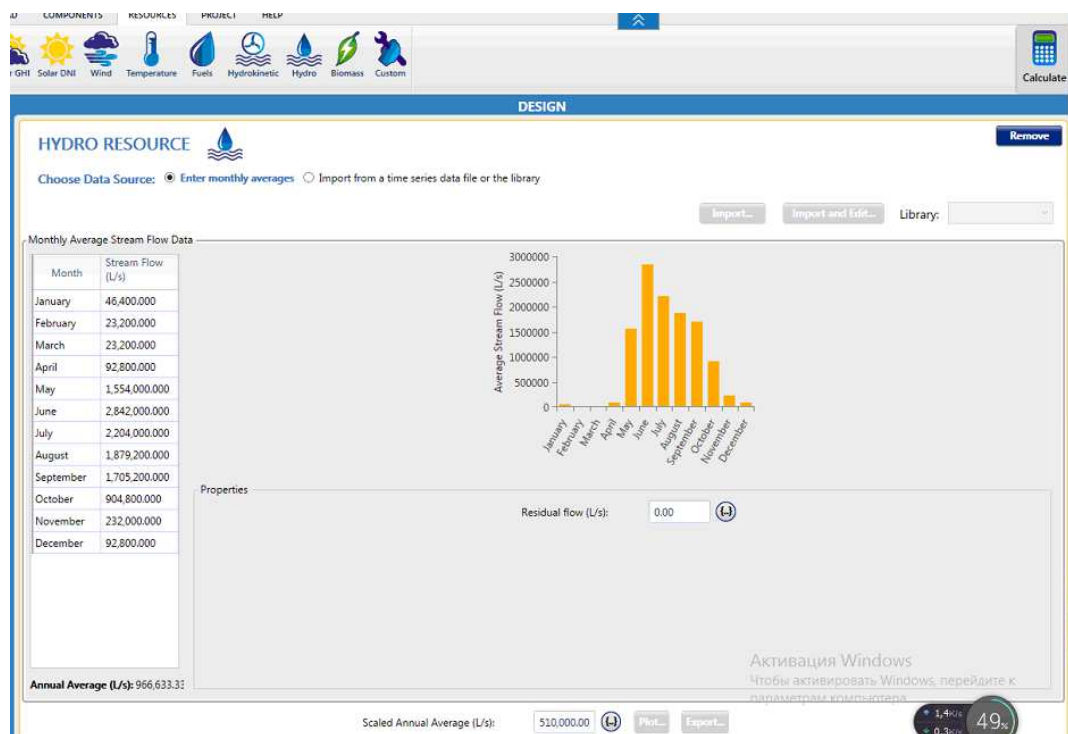


Рисунок 18 – Гидроресурсы реки Уда

### 4.3 Выбор основного оборудования и задание их параметров

После заполнения вкладок всех необходимых для работы станции ресурсов приступим к заполнению вкладок Components (Компоненты). На рисунке 19 представлены параметры выбранного инвертора фирмы “Связь инжиниринг”.

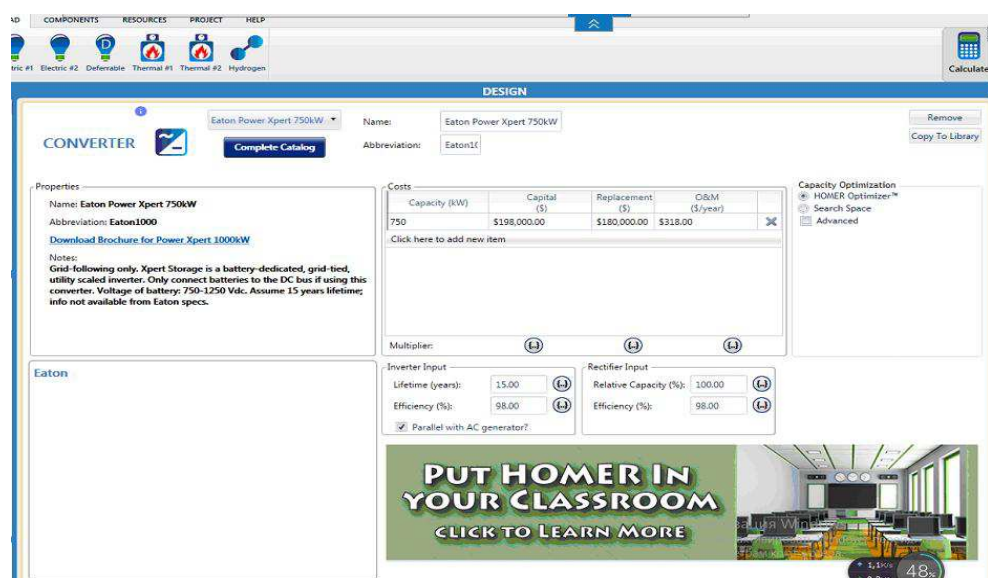


Рисунок 19 – Основные характеристики выбранного инвертора

Следующей добавим фотоэлектрическую установку RZMP “Фотоэлемент-Р”. Её характеристики представлены на рисунке 20.



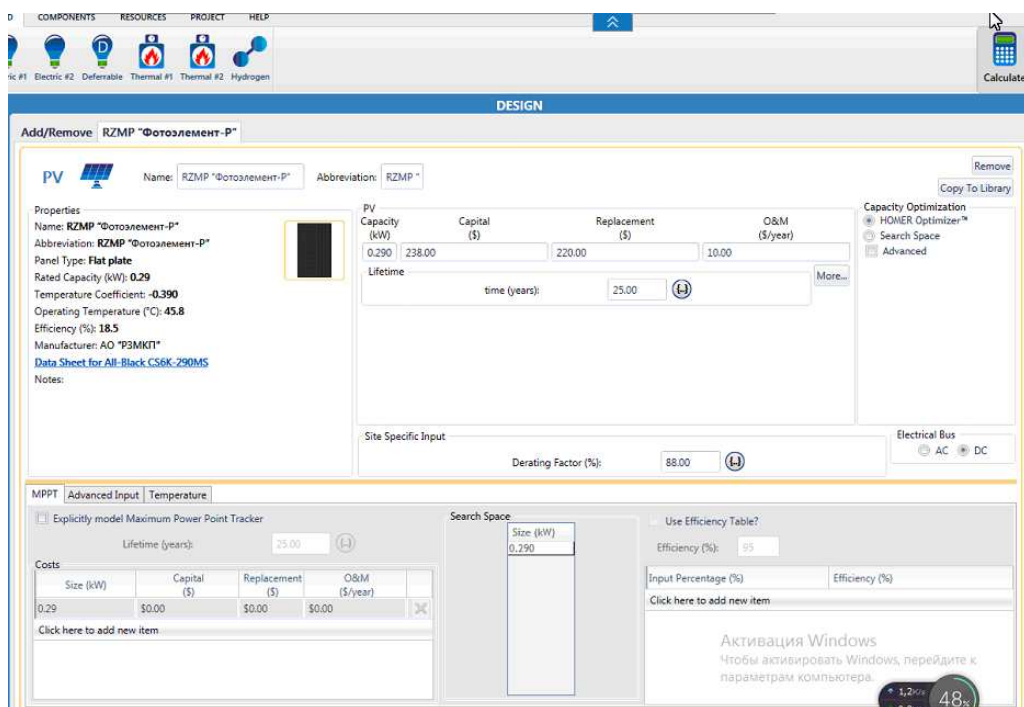


Рисунок 20 – Характеристики RZMP “Фотозлемент-Р”

Далее подходим к выбору аккумуляторной батареи. В пункте 3.6 было принято решение поставить OPzS батарею. Так как программа Homer обладает обширной библиотекой аккумуляторов, в том числе и отечественного производства, то выберем ещё и батареи типа PVS. Они не обладают теми же эталонными характеристиками, что OPzS, но при этом у них более демократичная цена. С помощью моделирования в программе сравним эти два типа и выберем наиболее приемлемый вариант. Характеристики представлены на рисунках 21 и 22.

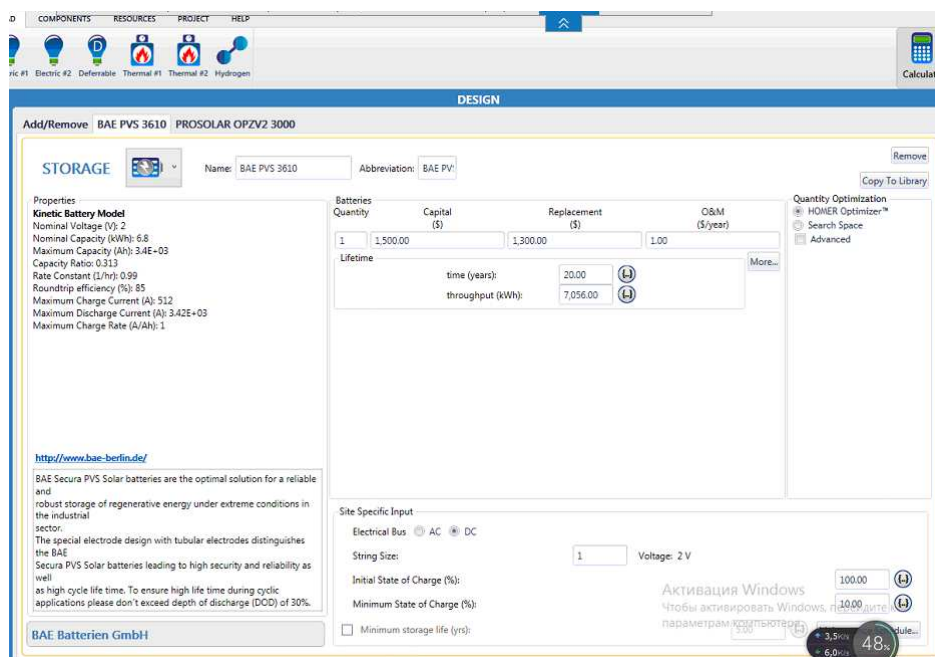


Рисунок 21 – Характеристики батареи типа PVS

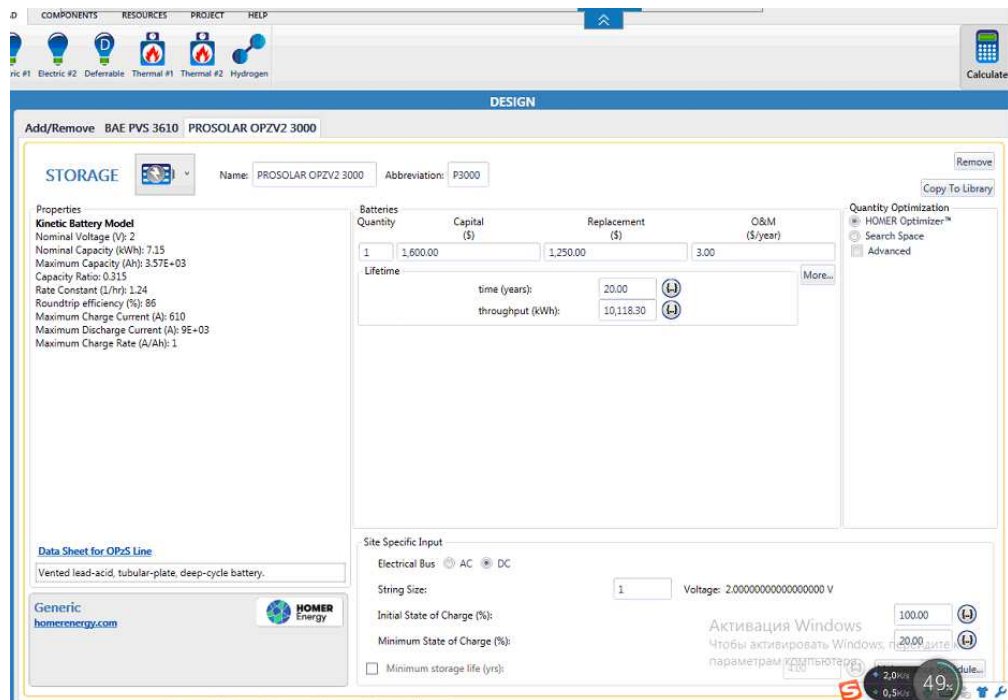


Рисунок 22 – Характеристики батареи типа OPzS

#### 4.4 Расчёт гибридной гелио-гидроэлектростанции в программе Homer

Теперь, когда заполнены исходные данные, можно приступить к расчёту. Перед расчётом, также необходимо задать различные экономические показатели и параметры расчёта. Было принято решение не расписывать их в работе, так как это заняло бы слишком большую часть диссертации, а центральная тема работы совсем не об этом. После того, как все необходимые стартовые показатели заполнены, можно приступить к расчёту. Для этого в правой верхней части программы необходимо нажать кнопку Calculate (рассчитать). Окно расчёта представлено на рисунках 23 и 24.

The screenshot shows the 'RESULTS' window in HOMER. It displays 'Sensitivity Cases' and 'Optimization Results' tables. The 'Optimization Results' table shows the best configuration for the hybrid system.

Architecture		Cost				System		RZMP "Фотоэлемент-П"		Autonor				
RZMP "Фотоэлемент-П" (kW)	BAE PVS3610	Hydro (kW)	Eaton1000 (kW)	Dispatch	COE (US\$/yr)	NPC (US\$)	Operating cost (US\$/yr)	Initial capital (US\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Capital Cost (US\$)	Production (kWh/yr)	Autonor (hr)	
418		261	200	397	CC	\$0.128	\$1.67M	\$58,509	\$1.18M	100	0	342,767	614,150	
418	270		200	430	CC	\$0.140	\$1.81M	\$76,912	\$1.18M	100	0	343,253	615,021	8.79
1,926		1,141		880	CD	\$0.380	\$4.76M	\$136,467	\$3.64M	100	0	1,580,649	2,832,115	
1,928	1,098			885	CD	\$0.398	\$4.99M	\$184,799	\$3.46M	100	0	1,582,194	2,834,883	35.7

Рисунок 23 – Результаты расчёта гибридной гелио-гидроэлектростанции (первая часть)

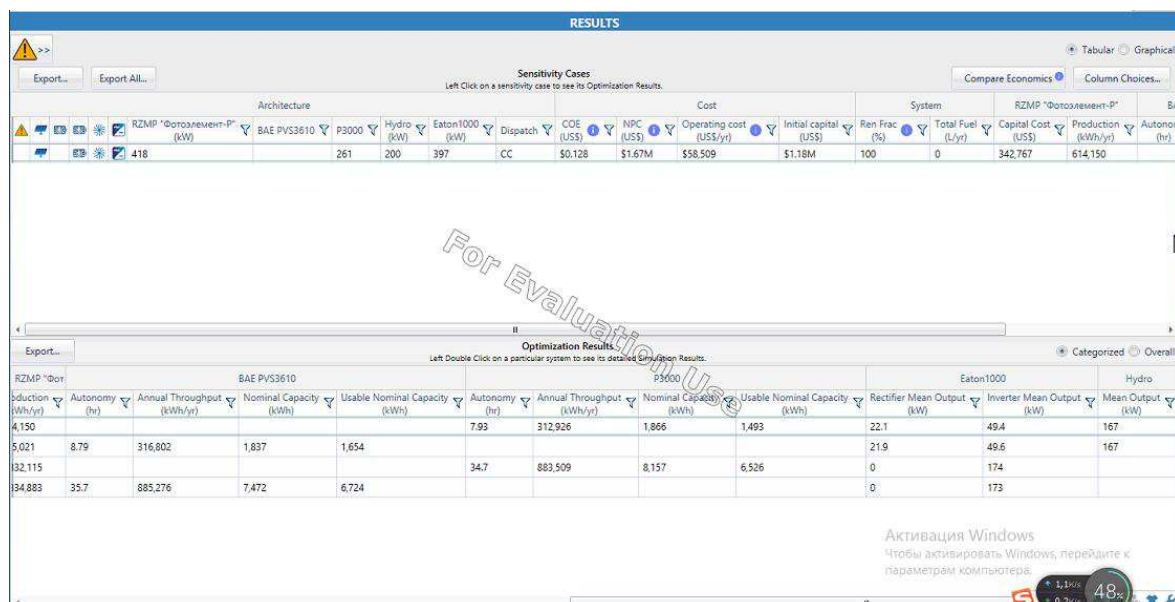






Рисунок 24 – Результаты расчёта гибридной гелио-гидроэлектростанции (вторая часть)

Расшифруем оба рисунка:

-  - символ означает, что в схеме есть фотоэлектрический элемент;
-  - означает, что в схеме есть аккумуляторная батарея;
-  - означает, что в схеме есть ГЭС;
-  - означает, что в схеме есть инвертор.

Architecture – данная вкладка показывает сколько в каждой из предложенных схем электростанций, выбранных ранее компонентов.

Cost – данная вкладка показывает все затраты на строительство выбранного типа электростанции.

System – данная вкладка показывает расход топлива в выбранной системе, а также процент возобновляемых источников энергии, используемых для выработки электроэнергии.

Далее показаны основные характеристики, для каждого выбранного элемента, такие как мощность, выработка за год, а для батареи это ещё и показатель автономности.

Из расчётов видно, что если не добавлять в проект гидроэлектростанцию, то количество фотоэлектрических элементов составляет практически 2 тысячи, что делает проект абсолютно бессмысленным и нерентабельным. Однако, если добавить в проект гидроэлектростанцию, как и планировалось в проекте, то стоимость проекта уменьшается до вполне приемлемых цифр. Теперь, осталось выбрать какая батарея будет использоваться в проекте. Как и говорилось выше, для расчёта были взяты два разных типа АКБ – PVS и OPzS. Из расчёта видно, что PVS батарея при той же цене обеспечивает чуть большую автономность, но при этом её срок службы, смоделированный программным комплексом, меньше чем у OPzS на несколько лет. Поэтому, при одинаковой цене предпочтение, как и планировалось, отдаём OPzS батареям.

Представим основные технико-экономические показатели проекта, смоделированные программой HOMER. На рисунке 25 представлен график структуры мощностей для каждого месяца в течение календарного года.

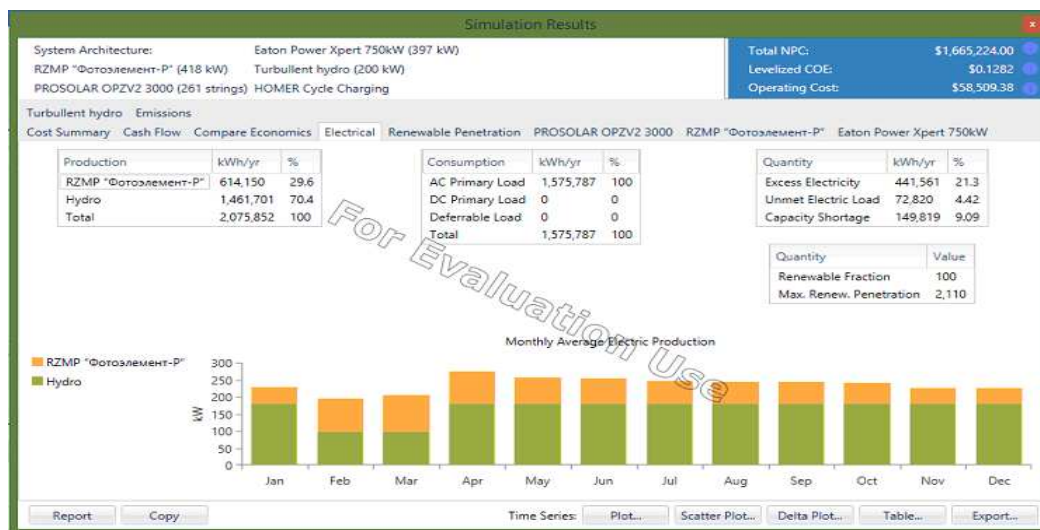


Рисунок 25 – Электрические показатели проекта

Помимо графика, на рисунке 25 представлены также показатели годовой выработки электроэнергии в киловаттах, для солнечной и для гидроэлектростанции, процент годового дефицита мощности, в проекте он составил не более 5%.

На рисунке 26 представлена симуляция работы аккумуляторных батарей в течение года.



Рисунок 26 – Симуляция работы АКБ в течение года

Ещё на рисунке представлены основные параметры батареи, а также расчётное число часов автономной работы, в случае полного отсутствия

источников электроэнергии, получившаяся общая ёмкость, общая отдача электроэнергии за всё время работы и расчётное время жизни батарей, в годах.

Далее, отображены параметры симуляции генерации с помощью солнечных панелей (рис. 27).

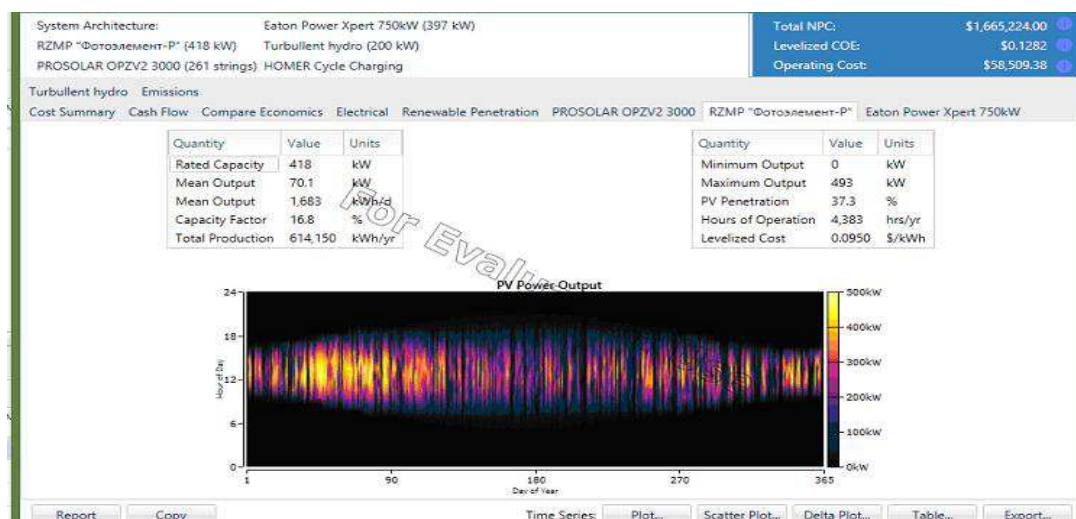


Рисунок 27 – Симуляция работы солнечных панелей

На графике показана мощность панелей в зависимости от времени в течении суток и указана номинальная мощность, средняя выработка в день, средняя выработка по году, доля участия в общей выработке электроэнергии и среднегодовое число часов работы.

Далее, рассмотрим работу выбранного для моделируемой станции инвертора (рис.28).

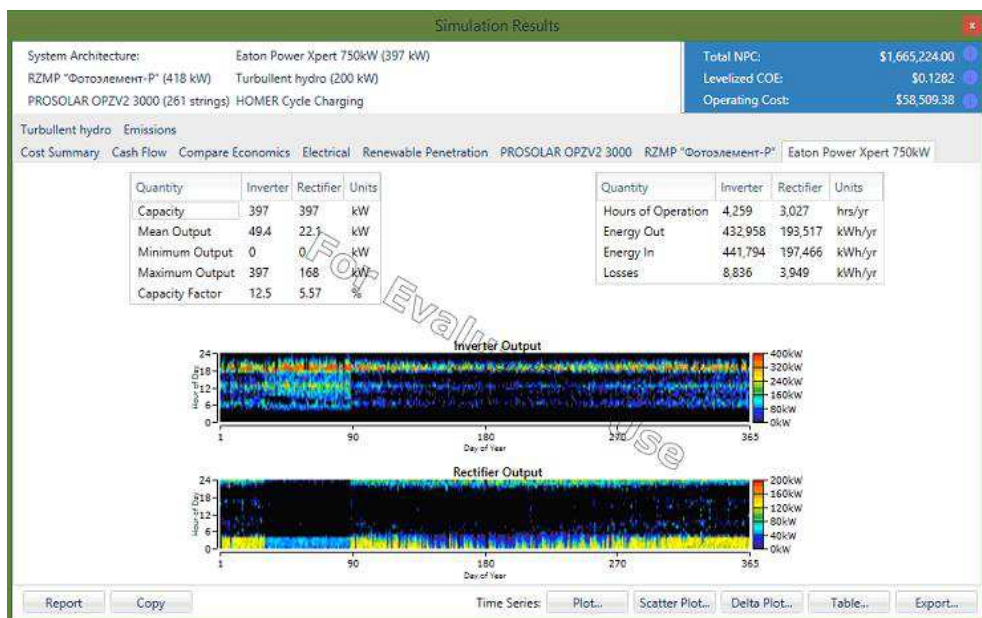


Рисунок 28 – Результаты моделирования работы инвертора

На приведённом выше рисунке прежде всего интересен график мощности на выходе инвертора (тот что выше), а также показатели среднегодовых потерь инвертора.

Перейдём к показателям работы мини-ГЭС (рис. 29).

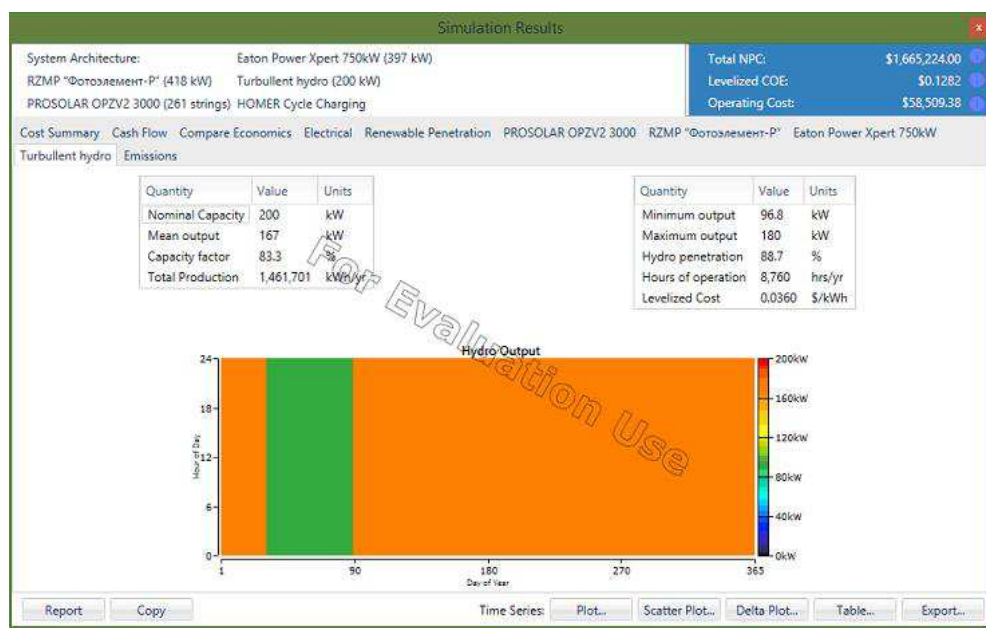


Рисунок 29 – Моделирование работы мини-ГЭС

Рисунок демонстрирует график работы станции в каждый час каждого дня в течение года. Также, здесь отображена номинальная мощность, средняя мощность ГЭС, среднегодовая выработка, минимальная мощность, максимальная мощность, среднее число часов работы за год и КПД.

Приведённые выше показатели моделирования наглядно свидетельствуют об эффективности предложенного проекта гибридной гидро-гелиоэлектростанции. Данная разработка позволит обеспечить бесперебойное снабжение посёлка Чумикан, что поспособствует развитию местной промышленности и создаст комфортные условия для жителей. Помимо этого электроснабжение будет осуществляться только за счёт возобновляемых и чистых источников энергии, что сохранит экосистему района и закроет вопрос о модернизации систем электроснабжения на долгие годы.

## 5 Экономические показатели проекта

Чтобы понять привлекательность проекта для инвесторов необходим экономический расчёт. Для его осуществления сначала необходима информация о текущих денежных затратах на содержание дизельной электростанции. Основные затраты здесь это, конечно, покупка топлива. Для оценки этой величины снова воспользуемся программным комплексом HOMER.

### 5.1 Расчёт затрат на содержание дизель-генераторной станции

Для расчёта ДГУ также необходимо было задать исходные данные, как и для проектируемой станции. При данном расчёте было принято не расписывать каждую вкладку программы отдельно, как в предыдущем случае, а показать сразу конечный расчёт, ведь нас прежде всего интересует сумма затрат на содержание. График нагрузки для расчёта взят тот же, что и для проектируемой станции. Расчёт представлен на рисунке 30.

RESULTS												
Sensitivity Cases												
Left Click on a sensitivity case to see its Optimization Results.												
Architecture		Cost				System			1MwGen			
1MwGen (kW)	Dispatch	COE (US\$/yr)	NPC (US\$/yr)	Operating cost (US\$/yr)	Initial capital (US\$)	Ren. Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Hours	Production (kWh)	Fuel (L)	O&M Cost (US\$/yr)	Fuel Cost (US\$/yr)
1,000	CC	\$21.58	\$726M	\$35.6M	\$0.00	0	709,648	8,760	2,405,770	709,648	87,600	35,482,400

Optimization Results												
Left Double Click on a particular system to see its detailed Optimization Results.												
Architecture		Cost				System			1MwGen			
1MwGen (kW)	Dispatch	COE (US\$/yr)	NPC (US\$/yr)	Operating cost (US\$/yr)	Initial capital (US\$)	Ren. Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Hours	Production (kWh)	Fuel (L)	O&M Cost (US\$/yr)	Fuel Cost (US\$/yr)
1,000	CC	\$21.58	\$726M	\$35.6M	\$0.00	0	709,648	8,760	2,405,770	709,648	87,600	35,482,400

Рисунок 30 – Расчёт дизель-генераторной электростанции

Итоговая сумма за топливо в год составила 35 миллионов 482 тысячи 400 рублей. Однако при расчёте в программе закладывалась цена топлива в 50 рублей. В силу резкого удорожания топлива в нашей стране за последний месяц, базовую цену можно принять за 55 рублей литр. При такой цене ежегодные затраты только на топливо составят 39 миллионов 30 тысяч 640 рублей. К этим затратам также добавим затраты на ежегодное обслуживание, а именно:

1. Регулярный осмотр станции;
2. Замена моторного масла и фильтров через каждые 500-600ч. работы;
3. Замена топливных фильтров каждые 800ч. работы;

4. Очистка топливной системы каждый месяц и т.п. в соответствии с документацией.

Общая сумма затрат на обслуживание составит 250 тысяч рублей в год.

Итого общая сумма затрат на содержание дизельной электростанции ежегодно составляет 39 миллионов 280 тысяч 640 рублей.

## 5.2 Расчёт инвестиционной привлекательности проекта

Теперь рассчитаем рентабельность проекта. Так как затраты на содержание каждого конкретного оборудования, используемого в гибридной гелио-гидроэлектростанции, уже включены в программу, то сумма, полученная в расчёте, не требует дополнительных приращений.

Расчёт в программе показывает, что начальная стоимость вложений составляет 71 миллион 980 тысяч рублей. При этом, ежегодные затраты на обслуживание составляют 3 миллиона 569 тысяч 49 рублей.

Теперь рассчитаем окупаемость проекта. Если не потребуются привлечение кредитных денег, то начальные вложения с учётом того, что затраты на содержание ДГУ сведутся к нулю, окупятся за срок:

$$T_{\text{ок}} = \frac{C_0}{\Pi} \quad (1)$$

где  $T_{\text{ок}}$  - срок окупаемости;  $C_0$  – сумма начальных инвестиций;  $\Pi$  – чистая прибыль.

$$\Pi = 39280,640 - 3569,49 = \frac{35\,711,15 \text{ тыс. руб.}}{\text{год}}$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{71\,980}{\sim 35711} = 2,02 \text{ года}$$

## 5.3 Расчёт срока окупаемости в случае привлечения денежных средств в кредит

Средняя процентная ставка для кредита на сегодняшний день составляет 12 процентов годовых. Для уменьшения суммы, переплачиваемой по кредиту, платежи будут дифференцированы. График платежей представлен в таблице 4.

Таблица 4 - График платежей по кредиту взятому на для вложения в станцию

Год	Сумма, тыс. рублей
1	18 354 900
2	17 120 957
3	15 887 014
4	14 653 071
5	13 419 129



Продолжение таблицы 4

6	12 185 186
7	10 951 243

Итого общая сумма выплат составит 102 миллиона 571 тысячу 500 рублей. По формуле 1 посчитаем срок окупаемости.

$$T_{\text{ок}} = \frac{102\,572}{\sim 35\,711} = 2,87 \text{ года}$$

При этом, в обоих случаях чистая экономия за счёт отсутствия нужды в закупке топлива составит 35 миллионов 711 тысяч в год.

Стоимость электроэнергии в случае разовых инвестиций без привлечения кредитных средств составит 1 рубль 70 копеек.

В случае же привлечения кредитных средств стоимость электроэнергии в первый год составит 10 рублей 56 копеек и потом каждый год будет снижаться и так вплоть до той суммы, которая рассчитана в первом случае. При этом текущая стоимость электроэнергии составляет 18 рублей 92 копейки. Поэтому, даже во втором случае выигрыш значительный.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных в диссертационной работе исследований направленных на исследование возможностей солнечной энергетики в России , решение проблем энергоснабжения децентрализованных регионов и повышение эффективности солнечных панелей заключаются в следующем:

1. Проанализировано текущее состояние солнечной энергетики, как в мире, Так и в России, выявлены основные направления развития и перспективы;

2. Проведен всесторонний анализ объектов солнечной энергетики, централизованных и децентрализованных энергорайонов. Выбран один из наиболее подходящих районов для внедрения солнечных панелей (поселок Чумикан Хабаровского края), так как этот район находится в северной части страны, является децентрализованным и электроэнергия вырабатывается на дизельных электростанциях, что является одним из самых дорогих источников электроэнергии на сегодняшний день, особенно в свете резкого повышения цен на топливо за апрель-май текущего года;

3. Выявлены основные проблемы энергоснабжения поселка Чумикан (высокая себестоимость электроэнергии, в связи с дороговизной дизельного топлива, также не всегда надёжная работа ДЭС, в связи с чем перебои в электроснабжении могут достигать нескольких дней, а иногда и недель). Проведен анализ солнечных ресурсов выбранного района, подсчитано количество солнечных дней в месяц;

4. Проведен выбор компоновки автономной системы электроснабжения (солнечная установка + мини-гидроэлектростанция + инвертор + контроллер + аккумуляторная батарея). Оптимизировано количество солнечных панелей , аккумуляторных батарей и мощность ГЭС в практически неиспользуемом в России программном комплексе HOMER;

5. Рассчитаны основные экономические показатели такие, как:

-первоначальный капитал проектируемой гибридной гелио-гидроэлектростанции, который составил 71 миллион 980 тысяч рублей ;

-стоимость электроэнергии, полученной от гибридной электростанции, составляет 1 рубль 70 копеек, в случае, если кредитные средства не привлекаются, либо, если привлекаются кредитные средства, стоимость электроэнергии в первый год будет 10 рублей 56 копеек и к восьмому году достигнет 1 рубля 70 копеек;

-экономия денежных средств от уменьшения использования дизельного топлива ежегодно будет составлять 35 миллионов 711 тысяч 15 рублей, а с учётом растущей цены на топливо, этот показатель ежегодно будет только расти;

- Также показана инвестиционная привлекательность проекта. Срок окупаемости проекта составит от 2-х лет в случае разовых инвестиций без привлечения кредита, до 2,87 лет в случае кредитования. Оба данных

показателя являются достаточно привлекательными для инвесторов, ведь сегодня достаточно небольшое количество проектов окупаются так быстро;

6. Данный проект также демонстрирует возможности использования ВИЭ, в частности солнечной энергии на Дальнем Востоке. Это особенно актуально вкуче с государственной программой “Дальневосточный Гектар”. Большинство людей переезжают в рамках этой программы целыми коллективами. В случае, если в одном месте количество людей превышает 20 человек, то государство обязуется провести им электричество и воду. В случае отдалённости от сетей электроснабжения, а по статистике чаще выбираются именно такие места, тянуть ЛЭП к участникам данной программы разорительно для бюджета нашей страны. Поэтому точечная установка подобных станций в рамках данной государственной программы, абсолютно целесообразна, экономит огромное количество ресурсов и бережёт экологию.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Осадчий Г.Б. Совместное использование солнечной и ветровой энергии/ Осадчий Г.Б. // Академия энергетики.-2013.- №4 (54) .- С. 36-43.
2. Безруких П.П.Состояние, перспективы и проблемы развития возобновляемых источников энергии/ Безруких П.П., Стребков Д.С.//Малая энергетика.-2013.- №1-2.- С. 6-9.
3. Николаев В.Г. Об эффективности использования возобновляемых источников энергии для производства электроэнергии в базовом и полупиковом режиме/ Николаев В.Г., Ганага С.В. // Малая энергетика.-2005.- №1-2.- С. 20-25.
4. Ганага С.В. Сравнительный анализ экономических показателей возобновляемых и традиционных источников энергии/ Ганага С.В., Кудряшов Ю.И., Николаев В.Г. // Малая энергетика.-2005.- №1-2.- С. 13-19.
5. А. да Роза. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы/ А. да Роза. -2010.- С.622-640.
6. Н.Н. Баранов. Нетрадиционные источники и методы преобразования энергии/ Н.Н. Баранов. -2012.- С. 76-89.
7. Энергетика за рубежом.-2009.- Выпуск 2.- С. 51-53.
8. Быстрицкий Г.Ф. Общая энергетика/ Быстрицкий Г.Ф.- 2005.- С.127-133.
9. Бобров А.В. Ветро дизельные комплексы в децентрализованном электроснабжении/ Бобров А.В., Тремясов В.А.//Монография. Красноярск СФУ.- 2012.
10. Дубровский В.А. Общая энергетика./ Дубровский В.А.// КГТУ. Красноярск. – 2005. – С. 200-227.
11. Родионов В.Г. Энергетика проблемы настоящего и возможности будущего/ Родионов В.Г.//Энас. Москва. – 2010. – С. 103-117.
12. Алексеенко С.В. Нетрадиционная энергетика и энергоресурсосбережение/ Алексеенко С.В. // Иновации. Технологии. Решения.- 2006.- №3.- С. 36-39.
13. Бобров А.В. Энергосбережение изолированных потребителей северных районов Красноярского края на базе возобновляемых источников энергии/ Бобров А.В., Тремясов В.А., Чернышев Д.А. // Иновации.- 2012.- №3.
14. Безруких П.П. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России/ Безруких П.П. Арбузов Ю.Д. Виссарионов В.И.- М.: «Наука», 2002.
15. Удалов С. Н., Возобновляемые источники энергии/ Удалов С. Н.- 2007. -432с.
16. Ачитаев А. А. Шаги внедрения возобновляемых источников энергии в Республике Хакасия. Современная техника и технологии. Сборник трудов XVI международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых/ Ачитаев А. А., Бузин С. С.-2010.

17. Ачитаев А.А. Ветро–солнечные ресурсы и возможность их использования на территории юго-восточного региона Сибири. Сборник трудов международной научно-практической конференции студентов/Ачитаев А.А., Бузин С.С.-2010.
18. Аристов Г.Г. Солнце. Государственное издательство технико-теоретической литературы, Москва-Ленинград, 1950
19. Сабади П.Р. Солнечный дом. Изд. Стройиздат, Москва, 2005 г.
20. Сарнацкий Э.В., Чистович С.А. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения. Изд. Стройиздат, Москва, 2001 г
21. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. Изд. Энергоатомиздат, Москва, 2012 г.
22. Volker Quaschnig. Understanding Renewable Energy Systems. Изд. Carl Hanser Verlag GmbH & Co KG, 2005 г
23. Gevorkian P.A. Альтернативные источники энергии в проектировании зданий. The McGraw-Hill Companies, 2009
24. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. Солнечная энергетика. Методы расчетов. «Солнечная энергетика» МЭИ, 2008 год
25. Литий-ионные (литий-железо-фосфатные) аккумуляторы (Россия) // « НПО Промэлектроавтоматика» // ПромЭлектроАвтоматика [Электронный ресурс]. – Москва, 2013. – Режим доступа: [www.pea.ru/docs/equipment/batteries/lioteh](http://www.pea.ru/docs/equipment/batteries/lioteh)
26. Данные о солнечной активности. Официальный сайт сервера NASA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://eosweb.larc.nasa.gov>
27. Доступ к программе Homer. Официальный сайт программы HOMER [Электронный ресурс]. – Режим Доступа: <http://analysis.nrel.gov/homer>
28. Данные о солнечной активности Дальнего Востока. Сайт программы “Дальневосточный Гектар”. [Электронный ресурс]. – Режим Доступа: <https://надальнийвосток.рф>
29. Каталог солнечных батарей. Сайт компании Turbulent. [Электронный ресурс]. – Режим Доступа: <https://www.turbulent.be>
30. Сайт Forbes – Режим Доступа: <http://www.forbes.ru>
31. Выбор и эксплуатация аккумуляторов для автономного и резервного электроснабжения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.invertor.ru/akb.html>

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Солнечная энергетика за рубежом

#### *Солнечная энергетика в Китае*

Китайская Народная Республика (КНР) является крупным и экономически сильным государством в Восточной Азии со столицей в Пекине. Китай осуществляет административный контроль над 22 провинциями, 5 автономными районами и 4 городами центрального подчинения, которые называются «материковый Китай», а также 2 специальных административных района - Гонконг и Макао. Кроме того, правительство КНР считает Тайвань своей 23-й провинцией.

Согласно статистическому отчету, опубликованному IRENA в 2017 году, общая установленная мощность объектов возобновляемой энергии в Китае составила 148 543 МВт в 2007 году, 236 473 МВт в 2010 году и 545 916 МВт в 2016 году.

В настоящее время в Китае вырабатывается очень большое количество энергии, с помощью угольных электростанций, что оказывает ужасное влияние на экологию и состояние атмосферы в стране. В конце 2015 года страна отказалась от разработки новых месторождений, с 2016 года поставила перед собой цель сократить долю угольных объектов в энергетическом портфеле до 62,6% с 64,4% в течение года, а в начале 2017 года правительство страны отменило запланированное строительство более 100 объектов угольной генерации.

В 2016 году новые инвестиции в развитие возобновляемых источников энергии в Китае сократились на 32% по сравнению с предыдущим годом и составили 78,3 млрд. долларов США, прервав тенденцию роста, которая продолжалась в течение 11 лет, согласно докладу «Глобальные тенденции инвестирования в развитие ВИЭ в 2017 году».

Согласно долгосрочным прогнозам (New Energy Outlook 2016) от Bloomberg New Energy Finance (BNEF), из-за замедления темпов роста экономики Китая и его быстрой переориентации на возобновляемые источники энергии, объем энергии, генерируемой в результате выработки электроэнергии на угольном топливе, будет сокращаться в этой стране в ближайшие десять лет примерно на 20%.

В июне 2014 года на шестой Центральной конференции финансовых лидеров президент Си Цзиньпин выдвинул пять стратегий развития энергетики и революции потребления в Китае:

- дальнейшая реформа потребления энергии и контроль над необоснованным потреблением энергии;
- диверсификация системы энергоснабжения;
- совершенствование технологий производства электроэнергии и увеличение промышленного производства;

- развитие энергетической структуры, реформа законодательства для ускоренного развития энергетики;
- более плотное и плодотворное международное сотрудничество и реализация концепции энергетической безопасности.

Кроме того, на 13-й Национальной конференции по энергетическому планированию было особо отмечено, что государство должно сосредоточить свое внимание на развитии возобновляемых источников энергии, в первую очередь на энергии ветра и солнца.

В начале 2017 года представитель Национальной энергетической администрации Китая (NEA) сказал, что страна намерена до 2020 года инвестировать в ВИЭ 2,5 трлн юаней (360,7 млрд. Долларов США).

К 2040 году Китай по-прежнему будет лидером в инвестициях в развитие ВИЭ с долей в 28% от глобального объема, согласно оценке, опубликованной BNEF в отчете (New Energy Outlook 2017).

В 2016 году внедрение солнечных мощностей в Китае удвоилось по сравнению с предыдущим годом, увеличив количество установленных объектов на 34,5 ГВт, согласно докладу МЭА МЭА по оценке успехов в области внедрения технологий возобновляемой энергетики в мире Tracking Clean Energy Progress 2017.

В 2015 году, по словам Чжу Мин, заместителя директора Департамента возобновляемых источников энергии Национальной энергетической администрации Китая (NEA), Китай намерен увеличить к 2020 году количество солнечных энергетических активов до 150 ГВт. Однако в ноябре 2016 года NEA сократила прогноз на 27% до 110 ГВт из-за того, что энергетические сети страны не могут справиться со скоростью роста ВИЭ и требуют немедленной модернизации.

В Китае солнечная энергия должна стать более дешевой, чем угольная, к 2021 году, согласно оценке, опубликованной BNEF в отчете New Energy Outlook 2017.

Развитие солнечной энергии в Китае не может не радовать, потому что это большой шаг к улучшению экологии не только одной страны, но и всего мира.

### ***Солнечная энергетика в США***

Альтернативная энергия постепенно приобретает признание в Соединенных Штатах как один из основных источников электроснабжения в электрической сети, но в основном только в тех частях страны, где для этого существуют подходящие климатические условия. На 2008-2013 годы. совокупный потенциал возобновляемых источников энергии увеличился в 2,2 раза и достиг 83 МВт, а выпуск электроэнергии из возобновляемых источников энергии удвоился - до 254 млрд кВтч - без учета энергии ГЭС. Выработка электроэнергии на ветровых, солнечных и геотермальных электростанциях

была равна показателям ГЭС. Солнечные и ветряные электростанции в последние годы доминируют в объемах ввода в эксплуатацию, даже по сравнению с ТЭС.

На 2008-2013 годы, возобновляемая энергия обеспечила основной рост производства электроэнергии на 142 млрд кВтч, хотя даже этого было недостаточно, чтобы компенсировать снижение производства на угольных электростанциях и атомных электростанциях. Принимая во внимание энергию ГЭС, доля возобновляемых источников энергии в производстве электроэнергии увеличилась с 9% до 13% и, согласно прогнозу Министерства энергетики, к 2040 году может возрасти до 16%. Общая картина электроэнергетики США по-прежнему существенно не нарушена. Его база по-прежнему состоит из угольных, газовых электростанций, а также атомных электростанций. В то же время мощность угольных электростанций с 2008г. увеличилась на 7,5%, а производство электроэнергии - на 26%.

Кроме того, среди американских инвесторов существует определенная «усталость» в результате низкой отдачи от ВИЭ. Появление дешевых и избыточных паровых турбин для ТЭС на рынке снижает инвестиционную привлекательность альтернативной энергетики не только в США, но и в Европе. Подобная тенденция уже вызывает сомнения в достижении новой амбициозной цели, объявленной Бараком Обамой, - удвоение к 2020 году показателей выработки электроэнергии из возобновляемых источников энергии. Источники альтернативной энергии по сравнению с углем оказались дешевыми только в случае сохранения государственных субсидий.

Одним из наиболее быстрорастущих сегментов в сегменте солнечной генерации является рынок коммунальных услуг. В прошлом году предложение для устройств для преобразования солнечной энергии составляло 13% от общего предложения рынка, по сравнению с 6% в предыдущем году. В настоящее время проекты на солнечной энергии общей мощностью 17 ГВт находятся на разных этапах реализации. Ожидается, что они будут способствовать созданию более 100 тысяч рабочих мест в промышленности, строительстве и торговле.

Закон об экономическом восстановлении и реинвестировании президента Обамы (Американский закон о восстановлении и реинвестировании) помог этому сектору расти даже в условиях кризиса. Например, Аризона получила 6 миллионов долларов на установку солнечного оборудования на крышах государственных школ. Нью-Йорк получил 31 млн. долларов США на реализацию 4 солнечных программ общей мощностью 56 МВт и обучения монтажников фотоэлектрического оборудования.

Помимо этого Министерство энергетики США предоставило кредит в размере 1,4 миллиарда долларов на проект BrightSource Energy's Ivanpah в Калифорнии, который построит крупнейшую в мире солнечную тепловую электростанцию.

Солнечная энергия постепенно становится важной составляющей национального энергетического портфеля. Прогресс в этом секторе происходит



ежедневно, что приводит к повышению эффективности и снижению затрат. Это позволит солнечной энергии выйти на новые рынки, что полностью отвечает политике государства и потребностям граждан.

### *Солнечная энергетика в Германии*

Стимулирование развития ВИЭ в стране привело к парадоксальной ситуации на немецком энергетическом рынке. Германия заявляет о переходе на чистые источники энергии, но при этом массово строит «грязные» угольные электростанции и закрывает атомные и газовые электростанции. Эксперты сомневаются, что стране удастся достичь запланированного 40-процентного сокращения выбросов углекислого газа к 2025 году.

Германия к 2025 году увеличит производство электроэнергии из возобновляемых источников (солнечной, ветровой, водной) до 147,4 гигаватт, что в 1,7 раза больше, чем за предыдущий год. Консалтинговая компания GlobalData прогнозирует, что к этой дате ВИЭ обгонит другие способы генерации и будет доминировать в энергетическом балансе страны: их доля вырастет с 45 процентов до почти 60-ти процентов.

Благодаря чистой энергии власти Германии намерены значительно сократить выбросы углекислого газа - на 40 процентов. Старший аналитик GlobalData по энергетике Чирадип Чаттерджи добавляет, что для достижения этой цифры должны быть стимулы, которые создают привлекательные условия для инвесторов в быстрорастущем секторе возобновляемых источников энергии.

Такой быстрый рост можно объяснить очень просто: в Германии ВИЭ предоставляются различные льготы (налоговые льготы и субсидии) в соответствии с Законом о возобновляемых источниках энергии 2009 года. Но, как отмечает Чаттерджи, неустойчивый характер показателей таких источников электроэнергии, как солнце и ветер, уже заставил германские власти вернуться к практике, которая была прекращена полвека назад из-за нерентабельности и практика эта - строительство угольных тепловых электростанций. Получается достаточно интересная картина: строятся всё новые и новые источники «зелёной» энергии и при этом ТЭС не закрываются, а наоборот открываются новые.

Несмотря на эти, казалось бы парадоксальные проблемы Германии есть чем похвалиться в развитии солнечной энергетике. Так, в марте прошлого года было произведено 19,5 ТВт-ч возобновляемой энергии, что составило более 41% всей электроэнергии, производимой в стране. Это больше, чем когда-либо.

Помимо этого, производство ядерной энергии снизилось до самого низкого уровня с 1970-х годов - даже несмотря на то, что с 2015 года ни одна атомная электростанция не была отключена.

К 2050 году в целях реализации Парижского климатического соглашения Германия планирует полностью перейти на возобновляемые источники энергии

и сократить выбросы углекислого газа не менее чем на 95%. В конце 2016 года около 32% всей потребляемой электроэнергии приходилось на ВИЭ.

Около 90% всех солнечных панелей в Германии расположены на крышах домов. Они устанавливаются даже в небольших деревнях, на фермах, фабриках, административных зданиях и, особенно, в частном секторе. Современные архитекторы даже дома проектируют таким образом, что крыша смотрит на юг.

Пример Германии ярко показывает, что возобновляемые источники энергии могут покрывать значительную часть потребностей даже такой большой страны. Генерация солнечной энергии носит сезонный характер, но она хорошо сочетается с ветровыми установками, что дает в целом стабильный поток. Например, статистика за январь-май 2014 года показывает вполне стабильный месячный выпуск за счёт комбинации солнечных батарей и ветровых электростанций.

К сожалению, бум солнечной энергии в Германии имеет неприятный побочный эффект: самая высокая стоимость электроэнергии в Европе для населения. Почти 7 миллионов домашних хозяйств в стране тратят 10% или более своих общих доходов на оплату счётов за электричество, что эксперты называют «энергетической нищетой», когда люди вынуждены экономить даже на мелочах и отказывать себе в чем-то.

Так или иначе, но проблема энергоснабжения из возобновляемых источников должна решаться в масштабах не только Германии, но и всего мира. Один из вариантов - установить большое количество солнечных элементов в пустыне Сахара (проект DESERTEC).

Карта (рис. А.1) показывает красным цветом область, которая должна быть закрыта батареями для удовлетворения энергетических потребностей всего мира (левый квадрат), Европы (средний квадрат) или только Германии (правый квадрат).

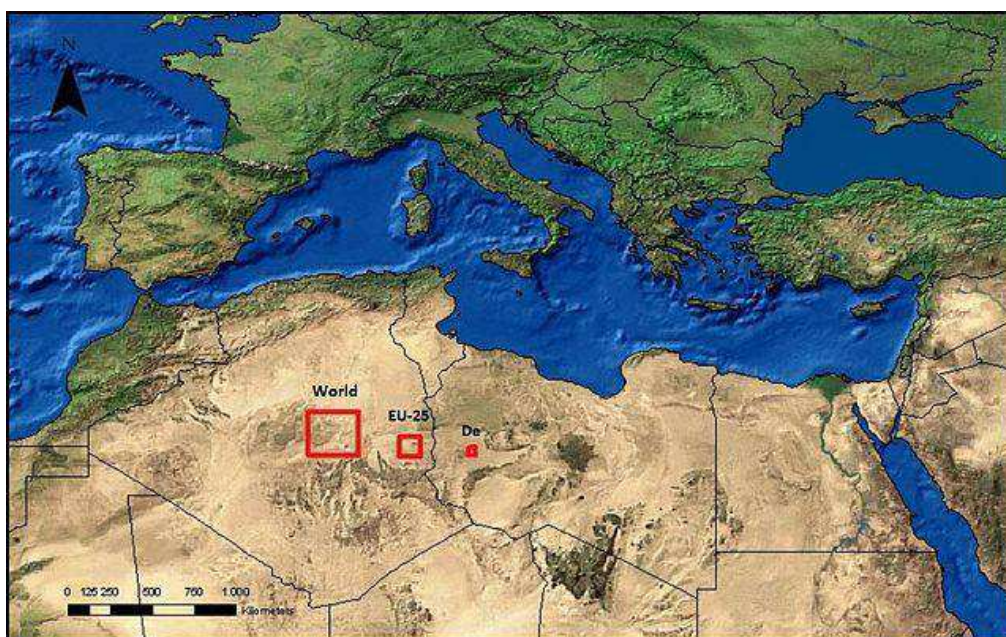


Рисунок А.1 - Карта пустыни Сахара с площадями размещения солнечных батарей для покрытия потребностей Германии, Европы и мира.

Помимо этого, в процессе написания диссертации в Германии произошло важное для индустрии ВИЭ событие. Был проведён очередной тендер на отбор новых генерирующих мощностей. В тендере было подано 79 заявок общей мощностью 546 МВт. То есть, как и раньше, аукцион был очень конкурентоспособным.

В результате торгов было выбрано 24 заявки с ценами от 3,86% до 4,59% за киловатт-час. Самая низкая цена (0.0386 евро) эквивалентна 2,7 рубля (по обменному курсу на сегодня). Средневзвешенная цена выигранных заявок составила 4,33 евроцента за кВт-ч (3,03 рубля).

По результатам последнего тендера в октябре 2017 года средневзвешенная цена составила 0.0491 долл. / кВтч, а минимальная цена - 0.0299 долл. / кВтч.

Еще раньше, в июне 2017 года, средняя цена была зафиксирована в 0,0566 евро за киловатт-час (и это было также рекордным снижением по сравнению с предыдущим конкурсом).

Давайте еще раз взглянем на динамику (средневзвешенную) цены:

Июнь 2017 года: 0,0566 евро;

Октябрь 2017 года: 0,0491 евро;

Февраль 2018 года: 0,0433 евро.

Таким образом, результаты конкурсного отбора подтверждают быстрое снижение цен на солнечную энергию, которое даже в посредственных природных условиях Германии достигло более чем конкурентного уровня.

Еще одно снижение цен снова подтвердило эффективность тендеров, сказал глава Федерального сетевого агентства (Bundesnetzagentur) Йохен Хоманн.

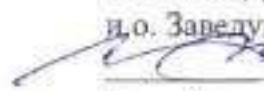
Одновременно с результатами конкурсного отбора солнечных проектов были опубликованы результаты аукциона по энергии ветра. Стоит отметить, что средняя цена на солнечную энергию была ниже, чем на ветру.

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
САЯНО-ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра «Гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических систем и электрических сетей»

УТВЕРЖДАЮ

и.о. Заведующего кафедрой

 И.Ю. Погоняйченко

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

**РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ГИБРИДНОЙ ГЕЛИО-  
ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ  
С МАЛОЙ НАСЕЛЕННОСТЬЮ**

13.04.02.06 Гидроэлектростанции

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Научный руководитель	 профессор кафедры ГТЭС доктор технических наук	<u>М.Ф. Носков</u> инициалы, фамилия
Выпускник	 подпись, дата	<u>А.В. Навесов</u> инициалы, фамилия
Рецензент	 начальник ПТС Воткинской ГЭС	<u>Р.А. Шамсуаров</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролер	 подпись, дата	<u>А.А. Чабанова</u> инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2018