

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»

**А.В. Бастрон, С.К. Шерьязов**

**ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ  
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

*Рекомендовано Научно-методическим советом по технологиям, средствам механизации и энергетическому оборудованию в сельском хозяйстве Федерального УМО по сельскому, лесному и рыбному хозяйству для использования в учебном процессе при подготовке бакалавров по направлению «Агроинженерия»*

Красноярск 2019

ББК 31.6

Б 27

*Рецензенты:*

*В.И. Велькин, д-р техн. наук, доцент кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина*

*И.В. Наумов, д-р техн. наук, профессор кафедры «Электроснабжение и электротехника» Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского*

**Бастрон, А.В.**

**Б 27 Энергообеспечение потребителей с использованием возобновляемых источников энергии: учеб. пособие / А.В. Бастрон, С.К. Шерьязов; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2019. – 118 с.**

Содержит общие указания, термины и определения, инструкцию по охране труда обучающихся при выполнении работ в лаборатории, лабораторно-практические работы, в которых приведены цель, задания по ее выполнению, общие сведения по рассматриваемому вопросу, порядок выполнения работы, содержание отчета, контрольные работы, литература.

Предназначено для обучающихся по направлению «Агроинженерия».

ББК 31.6

© Бастрон А.В., Шерьязов С.К., 2019

© ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», 2019

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В предлагаемом пособии, авторами которого являются А.В. Бас-трон, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электроснабжения сельского хозяйства Красноярского государственного аграрного университета, и С.К. Шерьязов, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Энергообеспечение и автоматизация технологических процессов» Южно-Уральского государственного аграрного университета, учтен многолетний опыт преподавания дисциплин, связанных с изучением вопросов рационального использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в системе энергоснабжения.

В каждой работе приведены цель, задания по ее выполнению, общие сведения по рассматриваемому вопросу, порядок выполнения работы, содержание отчета, контрольные работы, литература.

В первой работе изучают виды систем солнечного горячего водоснабжения (ССГВ) сельских жилых домов, конструкции и принцип действия солнечных коллекторов (СК) и солнечных водонагревателей (СВ), осваивают методику и выполняют расчет КПД СК с учетом поступления солнечного излучения (СИ) в заданной точке (по данным сайта NASA).

Во второй работе знакомятся с методикой расчета систем солнечного горячего водоснабжения сельских потребителей и осуществляют компьютерное моделирование параметров ССГВ.

В третьей работе изучают режимы работы фотоэлектрических солнечных элементов (ФСЭ) и снимают основные характеристики солнечного модуля (СМ).

Четвертая работа посвящена изучению особенностей конструкции фотоэлектрической солнечной электростанции (ФСЭС) и снятию характеристик СМ, входящего в ее состав.

В пятой работе осваивают методику расчета системы электроснабжения сельских жилых домов с использованием ФСЭС и уметь осуществлять выбор компонентов ФСЭС.

В шестой работе знакомятся с конструкциями тепловых насосов (ТН) для теплоснабжения сельских жилых домов и освоить методику расчета параметров ТН для теплоснабжения домов.

В седьмой работе знакомятся с конструкциями пеллетных котлов для теплоснабжения сельских жилых домов и по каталогам подобрать пеллетный котел для обогрева дома.

Восьмая работа посвящена изучению технологий производства биогаза и конструкций биогазовых установок.

В девятой работе осваивают методику и уметь производить расчет себестоимости тепловой энергии от системы солнечного теплообеспечения.

Учебное пособие будет также полезным для специалистов агроинженерных и энергетических специальностей при прохождении ими курсов повышения квалификации по энергосбережению и использованию возобновляемых источников энергии.

## ВВЕДЕНИЕ

Устойчивое развитие сельского хозяйства России невозможно без качественного, надежного и экономически эффективного энергообеспечения производства и быта. Традиционные источники энергии обеспечивают качество энергии и надежность энергоснабжения, но постоянный рост затрат на их использование снижает экономическую эффективность энергообеспечения сельскохозяйственных потребителей.

В настоящее время одним из актуальных направлений в развитии энергетики является распределенная генерация. Сельское хозяйство ввиду своей особенности позволяет развивать данное направление для энергоснабжения автономных потребителей.

Как показывает мировой опыт, одним из путей развития распределенной генерации является использование ВИЭ. Экономический потенциал ВИЭ велик и их доля в мировом энергопотреблении может составлять 10–12 %. Практически во многих странах формируются и реализуются долгосрочные государственные программы по использованию ВИЭ.

В настоящее время в мире и России быстрыми темпами развивается солнечная энергетика. Самая мощная солнечная электростанция (СЭС) в мире находится в США – это две станции установленной мощностью 550 МВт каждая. На них установлено более девяти миллионов солнечных модулей.

В России действуют более 40 СЭС. В 2018 г. было построено СЭС суммарной мощностью 320 МВт, и Сорочинская СЭС мощностью 60 МВт стала самым крупным объектом. Новосергиевская СЭС мощностью 45 МВт заняла вторую строчку в списке солнечных станций. На ней установлено свыше 150 000 СМ, произведенных ООО «Хевел» (г. Новочебоксарск) по разработанной гетероструктурной технологии (НГТ). Она занимает площадь 92 гектара. КПД таких СМ превышает 22 %, что является одним из самых высоких показателей в серийном производстве в мире.

Согласно обзору мирового рынка систем солнечного теплоснабжения (ССТ), общая установленная мощность превышает 400 ГВт, или 600 млн м<sup>2</sup>. Большая часть (более 80 %) всех ССТ эксплуатируется в Китае и странах Европы.

В России имеется положительный опыт использования СЭС для электроснабжения индивидуальных жилых домов. В сельской мест-

ности накоплен опыт солнечного теплоснабжения и горячего водоснабжения жилых домов.

В Челябинской области более пяти лет на базе вакуумированных солнечных коллекторов действует система солнечного теплоснабжения индивидуального жилого дома, которую инженер А.Л. Бойков создал совместно с учеными ЮУрГАУ. На базе этой системы продолжаются научные исследования по оптимизации ее основных параметров. Аналогичная система солнечного теплоснабжения индивидуального жилого дома с пристроенной теплицей на протяжении трех лет успешно эксплуатируется и исследуется в Емельяновском районе Красноярского края аспирантом кафедры электроснабжения сельского хозяйства Красноярского ГАУ Г.В. Гайдашом.

Использование низкопотенциальной тепловой энергии для теплоснабжения жилых домов – другое направление возобновляемой энергетики. По данным 2016 г., в Европе функционирует 8,4 млн тепловых насосов (ТН) совокупной мощностью 147 ТВт. Прогнозируется, что если европейские национальные рынки продаж достигнут уровня шведского рынка, самого большого рынка продаж тепловых насосов в Европе на сегодняшний день, и темпы роста не уменьшатся, то в сравнительно небольшой срок количество тепловых насосов в Европе может вырасти до 60 млн единиц.

В России, например, в Челябинской, Иркутской и Томской областях, Красноярском крае, имеется положительный опыт использования тепловых насосов в системах теплоснабжения индивидуальных жилых домов и административных зданий.

Другое направление, которое также интенсивно развивается в мире, – это биоэнергетика. Биогазовая станция – это, по сути, целый комплекс по переработке сельскохозяйственных отходов. Здесь происходит утилизация отходов с производством удобрений и биогаза, который используют для выработки электрической и тепловой энергии.

В Евросоюзе до трети всех птицеводческих предприятий обеспечиваются биогазовым электричеством. Сегодня лидером в Европе по количеству действующих биогазовых установок является Германия – в 2010 г. их насчитывалось более 9 000 шт. С точки зрения масштабов применения биогаза лидирует Дания: данный вид топлива обеспечивает почти 20 % энергопотребления страны. Среди других европейских стран с высокими темпами развития рынка биогаза сто-

ит выделить Великобританию, Швецию, Норвегию, Италию, Францию, Испанию и Польшу.

В Китае это направление развивается с начала 1960-х годов, и сейчас до 20 % среднегодового спроса на энергию в этой стране обеспечивает биогаз. Свыше половины биогазовых программ в КНР финансируется государством.

В России, по оценкам экспертного сообщества, этот сектор энергетики представляется наиболее рентабельным – ввиду значительного объема биосырья – в Южном, Приволжском, Северо-Западном, Центральном и Уральском федеральных округах. Поэтому большинство биогазовых станций будет построено в этих регионах.

В Белгородской области, где уже действует первая в России крупная биогазовая станция, только в сфере свиноводства ежегодно образуется свыше 2,5 млн м<sup>3</sup> отходов, которые направляются на переработку в биогазовых установках.

В Ростовской области построят три крупные биогазовые станции. Производимая ими электроэнергия будет потребляться крупными сельскохозяйственными комплексами, где и будут установлены эти станции. Схожие проекты готовы и, например, для Курской, Ульяновской, Тамбовской областей.

В Смоленской области действует экспериментальная биогазовая установка с объемом биореактора 100 м<sup>3</sup>. Эксплуатация ее совместно с учеными-специалистами УрФУ (г. Екатеринбург) и ЮУрГАУ (г. Челябинск) показала перспективные возможности данной установки по переработке отходов животноводства.

В Сибири крупная биогазовая установка успешно функционирует в Кемеровской области на свинокомплексе в ОАО «Славино». Учеными Красноярского ГАУ проведен анализ твердой фазы переработанного в биогазовой установке ОАО «Славино» свиного навоза, который свидетельствует о высокой обеспеченности его органическим веществом, аммонийным азотом, средней обеспеченности подвижным фосфором и высокой – обменным калием. Удобрение является экологически чистым, готовым к применению концентрированным продуктом и может быть использовано под любые культуры и на любых почвах. Полученный биогаз используется для получения тепловой и электроэнергии в когенерационных установках свинокомплекса. На выработку 1 кВт·ч электроэнергии расходуется 0,4–0,5 м<sup>3</sup> биогаза. В связи с развитием свиноводства в Красноярском крае в по-

следние годы особо актуальным становится строительство биогазовых установок в крае.

Другим перспективным биоэнергетическим ресурсом являются древесные отходы лесопромышленных и деревообрабатывающих предприятий, объем которых составляет около 4,5 млн м<sup>3</sup>. До недавнего времени крупнейшим производителем пеллет в Красноярском крае являлось ООО «ДОК “Енисей”», которое производило более 80 000 тонн пеллет в год и являлось крупнейшим экспортером пеллет России.

В 2018 г. в г. Лесосибирске Красноярского края на промышленной площадке Лесосибирского ЛДК № 1 состоялся запуск новой технологической линии производства пеллет. Инвестиции в производство пеллетных гранул составили 816,6 млн руб. Мощность производства – 70 000 тонн готовой продукции, ориентированной на экспорт. Общие инвестиции Segezha Group в развитие производств на территории Красноярского края превысили 1,7 млрд руб.

Одним из перспективных направлений возобновляемой энергетики является использование энергии ветрового потока. В мире действует огромный парк ветроэнергетических установок (ВЭУ) установленной мощностью более 300 ГВт. Существующие ВЭУ служат для электроснабжения потребителей через централизованную сеть или автономно. Изучение данного направления ВИЭ, совместно с развитием малой гидроэнергетики потребителей, предусмотрено при изучении студентами дисциплины «Гидроветроэнергетические установки».

Эффективное использование ВИЭ в системах энергообеспечения, в том числе сельскохозяйственного производства и быта, требует подготовки соответствующих специалистов, которых в России недостаточно. В связи с этим в учебном плане подготовки магистров предусмотрена специальная дисциплина по изучению особенностей использования ВИЭ.

Для изучения обучающимися конструкций энергетических установок с использованием ВИЭ, систем энергообеспечения сельскохозяйственного производства и быта, расчета их параметров и режимов работы, а также проектирования энергоэффективных установок, предназначено предлагаемое учебное пособие.



## ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Цель учебного пособия заключается в закреплении обучающимися полученных теоретических знаний в области использования ВИЭ, ознакомлении с устройством и принципом работы систем солнечного энергоснабжения, тепловых насосов, пеллетных котлов и биогазовых установок; приобретении умения по расчету и выбору параметров энергетических установок и практических навыков по проектированию систем энергоснабжения.

**Перед началом работы** необходимо самостоятельно изучить соответствующий раздел настоящего учебного пособия, материалы лекции и литературу, четко представлять цель и объем работы, знать схему лабораторной установки, а также **подготовить таблицы** для записи и **расчетные формулы** для обработки эксперимента.

Оформление отчета по работе должно быть выполнено до начала следующей работы. **Отчет по работе составляется каждым студентом**, включая индивидуальное задание.

В отчете должны быть записаны все расчетные формулы в общем виде. Обязательно указываются единицы измерения каждой величины (в системе СИ). Электрические схемы, графики выполняются на миллиметровой или белой бумаге на форматах, соответствующих ГОСТам.

**ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ (по ГОСТ 51594-2000  
Нетрадиционная энергетика. Солнечная  
энергетика. Термины и определения)**

Солнечная энергетика	Область энергетики, связанная с преобразованием солнечной энергии в электрическую и тепловую энергию
Солнечная электростанция (СЭС)	Электростанция, предназначенная для преобразования энергии солнечного излучения в электрическую энергию
Солнечное теплоснабжение	Использование энергии солнечного излучения для отопления, горячего водоснабжения и обеспечения технологических нужд различных потребителей
Солнечное горячее водоснабжение (СГВ)	Использование энергии солнечного излучения для нагрева воды с целью обеспечения коммунально-бытовых и технологических нужд различных потребителей
Солнечный элемент (СЭ)	Преобразователь энергии солнечного излучения в электрическую энергию, выполненный на основе различных физических принципов прямого преобразования
Солнечный фотоэлектрический элемент (СФЭ)	Солнечный элемент на основе фотоэффекта
Двусторонний солнечный элемент	Солнечный элемент с двусторонней фоточувствительностью
Солнечный коллектор (СК)	Устройство для поглощения энергии солнечного излучения и преобразования ее в тепловую энергию
Концентратор солнечной энергии	Оптическое устройство для повышения плотности потока солнечного излучения, основанное на явлениях отражения и преломления лучей

Фотоэлектрическая солнечная электростанция (ФСЭС)	Солнечная электростанция, в которой используется способ прямого преобразования энергии солнечного излучения в электрическую энергию
Вакуумированный приемник	Приемник солнечного излучения, поглощающая поверхность которого находится в вакуумированном пространстве, ограниченном прозрачной оболочкой
КПД солнечной электростанции	Отношение выработанной электрической энергии к поступившей за тот же интервал времени энергии солнечного излучения к поверхности, составляющей проекцию площади солнечной электростанции на плоскость, нормальную к солнечным лучам
Фотоэлектрический модуль	Устройство, конструктивно объединяющее электрически соединенные между собой фотоэлектрические солнечные элементы и имеющие выходные клеммы для подключения внешнего потребителя
Солнечная фотоэлектрическая батарея	Соединенные между собой электрически и механически фотоэлектрические модули
Опорная конструкция	Устройство, поддерживающее пространственное расположение солнечной батареи
КПД солнечного элемента, модуля, батареи	Отношение электрической мощности солнечного элемента, модуля, батареи к произведению плотности потока солнечной энергии на площадь, соответственно, элемента, модуля, батареи

Вольт-амперная характеристика солнечного элемента, модуля, батареи	Зависимость между током нагрузки и напряжением на клеммах солнечного фотоэлектрического элемента, модуля, солнечной батареи при постоянных значениях температуры солнечных элементов и интенсивности поступающего солнечного излучения
Пиковая мощность солнечного элемента, модуля, батареи, станции	Максимальная мощность фотоэлектрического солнечного элемента, модуля, батареи, станции при стандартных условиях испытаний
Максимальная мощность фотоэлектрического солнечного элемента, модуля, батареи, станции	Мощность фотоэлектрического солнечного элемента, модуля, батареи, станции в точке на вольт-амперной характеристике, где значение произведения тока на напряжение максимально
Система солнечного горячего водоснабжения (ССГВ)	Система, использующая солнечную энергию для нагрева воды и обеспечивающая частичное или полное покрытие нагрузки горячего водоснабжения данного потребителя
Система солнечного теплоснабжения (ССТ)	Система, использующая солнечную энергию для частичного или полного покрытия нагрузки отопления и горячего водоснабжения данного потребителя
Одноконтурная система солнечного теплоснабжения	Система, в которой теплоноситель, нагретый в солнечном коллекторе, поступает к потребителю непосредственно или через аккумулятор тепла
Двухконтурная система солнечного теплоснабжения	Система, в которой тепло отводится из солнечного коллектора, передается в теплообменнике теплоносителю, поступающему к потребителю непосредственно или через аккумулятор тепла

Термосифонная система солнечного отопления	Система, в которой отвод тепла от солнечного коллектора осуществляется путем естественной циркуляции теплоносителя
Теплопроизводительность системы солнечного теплоснабжения	Количество тепла, отдаваемого потребителю за фиксированный период времени (час, сутки, месяц, год) системой солнечного теплоснабжения
Удельная теплопроизводительность системы солнечного теплоснабжения	Количество тепла, вырабатываемого системой солнечного теплоснабжения за фиксированный период времени (час, сутки, месяц, год), отнесенное к единице площади солнечных коллекторов
Коэффициент замещения тепловой нагрузки потребителя системой солнечного теплоснабжения	Доля тепловой нагрузки потребителя, обеспечиваемой за счет солнечной энергии
Плоский солнечный коллектор	Солнечный коллектор с поглощающей панелью плоской конфигурации и плоской прозрачной изоляцией
Вакуумированный трубчатый солнечный коллектор	Солнечный коллектор, поглощающая панель которого находится в вакуумированном пространстве, ограниченном трубчатой прозрачной изоляцией
Поглощающая панель солнечного коллектора	Конструктивный элемент солнечного коллектора, в котором происходит поглощение солнечной энергии и преобразование ее в тепловую энергию
Прозрачная изоляция солнечного коллектора	Покрытие или система покрытий, расположенных над поглощающей панелью, прозрачных относительно солнечной энергии, предназначенных для снижения тепловых потерь в окружающую среду

Теплопроизводительность солнечного коллектора	Количество тепла, отводимого от коллектора за фиксированный период времени (час, сутки, месяц, год)
КПД солнечного коллектора	Отношение теплопроизводительности коллектора к поступившей за тот же период времени на его габаритную площадь суммарной солнечной энергии
Полный коэффициент тепловых потерь солнечного коллектора	Поток тепла, отдаваемый коллектором в окружающую среду, отнесенный к единице габаритной площади, при разности между средней температурой поглощающей панели и температурой наружного воздуха в 1 °С
Коэффициент тепловых потерь через прозрачную изоляцию солнечного коллектора	Поток тепла, отдаваемый коллектором в окружающую среду через прозрачную изоляцию солнечного коллектора, отнесенный к единице габаритной площади, при разности между средней температурой поглощающей панели и температурой наружного воздуха в 1 °С
Коэффициент эффективности поглощающей панели	Значение, характеризующее эффективность переноса тепла от поверхности поглощающей панели к теплоносителю и равное отношению фактической теплопроизводительности солнечного коллектора к теплопроизводительности, которая реализуется при условии, что все термические сопротивления передаче тепла от поверхности поглощающей панели к теплоносителю равны нулю
Коэффициент отвода тепла от солнечного коллектора	Отношение фактической теплопроизводительности солнечного коллектора к теплопроизводительности, которая реализуется при условии, что температура всей поверхности поглощающей панели равна температуре теплоносителя на входе в солнечный коллектор

Селективное поглощающее покрытие	Покрытие поглощающей панели, характеризующееся высокой поглощательной способностью относительно солнечного излучения и низкой степенью черноты при рабочих температурах
Теплоотражающее покрытие	Покрытие, прозрачное в области солнечного спектра и отражающее в области инфракрасного излучения

# ИНСТРУКЦИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА ОБУЧАЮЩИХСЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ В ЛАБОРАТОРИИ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

В настоящей инструкции излагаются основные правила по охране труда для студентов, выполняющих лабораторно-практические работы и задания, которые устанавливают основные требования безопасности при работе на экспериментальных и лабораторных установках, оборудовании и приборах в учебной лаборатории кафедры электроснабжения сельского хозяйства напряжением до 1 000 В.

## 1. Общие требования безопасности

Студенты допускаются к выполнению лабораторных работ только после прохождения инструктажа по охране труда на рабочих местах лаборатории. Проводит инструктаж лицо (преподаватель, заведующий лабораторией), ответственное за проведение лабораторных занятий. О результатах инструктажа на рабочем месте производится запись в специальном журнале с обязательной подписью студентов, прослушавших инструктаж, и лица, проводившего инструктаж. Форма регистрации инструктажей должна соответствовать ГОСТ 12.0.004-90 системы безопасности труда.

К выполнению очередной лабораторной работы студенты могут приступить только после:

- изучения соответствующих методических указаний;
- ознакомления с устройством и правилами использования оборудования, приборов;
- прохождения у преподавателя контроля знаний, дающих право выполнять ту или иную работу.

При выполнении лабораторных работ и работе на экспериментальных установках возможно воздействие следующих опасных факторов:

- **физические** (движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного и лабораторного оборудования, загазованность воздуха рабочей зоны, повышенное значение напряжения в электрической цепи (выше малого напряжения 50 В), повышенный уровень электромагнитных излучений и др.);



- **химические** (токсические, раздражающие, канцерогенные, мутагенные и др.);
- **биологические** (патогенные микроорганизмы, бактерии, вирусы, спирохеты, грибы, простейшие микроорганизмы и др.);
- **психофизиологические** (физические перегрузки, нервно-психические перегрузки и др.).

Для устранения и доведения опасных и вредных производственных факторов до безопасных и безвредных величин (ПДК и ПДУ) на экспериментальных установках и в лаборатории предусматриваются следующие средства защиты:

- ограждение опасных зон на стендах и установках кожухами, защитными сетками и др.;
- зануление и автоматическое отключение электроустановок;
- использование резиновых диэлектрических ковров, а в случае необходимости изолированного инструмента и резиновых диэлектрических перчаток.

Лаборатория оснащена аптечкой для оказания первой медицинской помощи огнетушителями типа ОХВП-10 или ОУ-8.

При несчастном случае (травме) или признаках отравления необходимо сообщить о случившемся преподавателю, ведущему занятия, или заведующему лабораторией (зав. кафедрой) и оказать пострадавшему первую медицинскую помощь.

Студенты несут ответственность за нарушение правил охраны труда и пожарной безопасности.

## **2. Требования безопасности перед началом работ**

Проверить исправность всего лабораторного оборудования, наличие и исправность всех предусмотренных средств защиты и пожаротушения, надежность крепления всех приборов и защитных кожухов, экранов, сеток и т. п. Проверить, свободен ли доступ к вводным автоматическим выключателям лаборатории, выключателям и станциям управления электроустановок на рабочих местах. Убрать с рабочего места посторонние предметы.

## **3. Требования безопасности во время работы**

На занятиях следует выполнять только ту работу, которая предусмотрена программой эксперимента или заданием преподавателя.

Разрешается работать только на исправных экспериментальных и лабораторных установках, с исправными измерительными приборами и инструментами.

Монтаж (сборку) электрических схем надо производить только при обесточенной аппаратуре. Следует убедиться в том, что вводные автоматические выключатели лаборатории и автоматический выключатель на лабораторном стенде отключены. Монтажные провода должны иметь надежную изоляцию, хорошо припаянные наконечники.

Подавать напряжение можно только на зануленное или заземленное электрооборудование. Во избежание поражения электрическим током касаться руками клемм, других токоведущих деталей категорически запрещается.

При возникновении каких-либо неисправностей в работе приборов, оборудования немедленно их выключать.

Во избежание создания пожароопасной ситуации курить и пользоваться открытым огнем в зоне всех рабочих мест лаборатории запрещается.

#### **4. Требования в аварийных ситуациях**

Пересоединение в схемах производить с разрешения преподавателя только при обесточенном лабораторном стенде.

При обнаружении напряжения прикосновения на корпусе электроустановки ее необходимо отключить.

При несчастном случае (электрическая травма, ушиб, порез, ожог и т. п.) оказать пострадавшему первую медицинскую помощь и сообщить о случившемся преподавателю и заведующему кафедрой.

#### **5. Требования безопасности по окончании работы**

Выключить электропитание приборов, оборудования. Навести порядок на рабочих местах.

Сдать преподавателю или лаборанту справочную, методическую и другую литературу, а также приборы и инструменты.

## Работа № 1

### Изучение систем солнечного горячего водоснабжения с расчетом КПД солнечного коллектора

#### Цель работы

Ознакомиться с видами систем солнечного горячего водоснабжения (ССГВ) сельских жилых домов, конструкциями солнечных коллекторов (СК) и солнечных водонагревателей (СВ), изучить их устройство, принцип действия и освоить методику расчета КПД СК с учетом поступления солнечной радиации в заданной точке по данным сайта NASA.

#### Задания к работе

1. Ознакомиться с видами ССГВ сельских жилых домов.
2. Ознакомиться с конструкциями СВ.
3. Изучить устройство и принцип действия СВ.
4. Изучить конструкцию и принцип действия разных типов СК.
5. Рассчитать зависимость КПД солнечного коллектора от наружной температуры и температуры теплоносителя в СК для заданного преподавателем типа СК с использованием результатов расчета солнечного излучения на сайте NASA.

#### Общие сведения

В основе систем солнечного теплоснабжения лежит применение разных типов СК. Солнечный коллектор поглощает солнечное излучение (СИ) и преобразует ее в тепловую энергию, которая передается теплоносителю (жидкости или воздуху) и затем используется:

- для обогрева зданий;
- нагрева воды для производственных и бытовых нужд;
- сушки сельскохозяйственной продукции и т. д.

Система солнечного горячего водоснабжения – это система, использующая солнечную энергию для нагрева воды и обеспечивающая частичное или полное покрытие нагрузки горячего водоснабжения данного потребителя.

**Солнечный водонагреватель** предназначен для производства горячей воды путем поглощения СК солнечного излучения, преобразования ее в тепловую энергию, аккумуляции и передачи потребителю для теплоснабжения (горячего водоснабжения и (или) обогрева) объектов сельскохозяйственного производства (коровники, свинарники и т. д.) и быта (сельские жилые дома, детские сады и т. д.).

Существуют различные виды солнечных коллекторов:

- плоские пластиковые;
- плоские с металлической поглощающей панелью и нанесенным на ее поверхность селективным поглощающим покрытием, закрытые сверху одинарным или двойным стеклом;
- стеклянные вакуумированные, с отдельными, цилиндрической формы, вакуумированными трубками (чаще всего с расположенными внутри трубок теплопроводящими стержнями с эффектом тепловой трубы) и т. д.

Наиболее эффективными являются солнечные водонагреватели с вакуумированными СК (рис. 1.1), состоящими из отдельных вакуумированных цилиндрических трубок (см. рис. 1.2).



*Рисунок 1.1 – Вакуумированный солнечный коллектор Seido 1-16*

Например, СК Seido 1-16 общей площадью  $2,949 \text{ м}^2$  имеет 16 вакуумированных трубок при площади абсорбера  $2,750 \text{ м}^2$ .

Каждая трубка, выполненная из боросиликатного стекла, имеет длину  $2\ 114 \text{ мм}$  при внешнем диаметре  $100 \text{ мм}$  и толщине стенки  $2,5 \text{ мм}$ . Расстояние между отдельными трубками СК –  $20 \text{ мм}$ . Материал селективного покрытия – нитрид алюминия.



Рисунок 1.2 – Конструкция вакуумированной трубки

Конструкция стеклянных вакуумированных трубок похожа на конструкцию термоса: одна трубка вставлена в другую с бóльшим диаметром. Между ними вакуум, который представляет совершенную теплоизоляцию, за счет этого тепловые потери, особенно ощутимые зимой и при более высоких температурах нагреваемой воды, очень низкие.

Коэффициент полезного действия данного типа СК (рис. 1.1) равен 0,75, при этом коэффициент поглощения СИ  $\geq 0,92$ , а коэффициент пропускания СИ  $\leq 0,08$ .

За счет чего достигается высокий КПД СК? Верхняя кривая 2 (рис. 1.3) демонстрирует возможность пассивного отслеживания Солнца с помощью цилиндрических вакуумированных трубок.

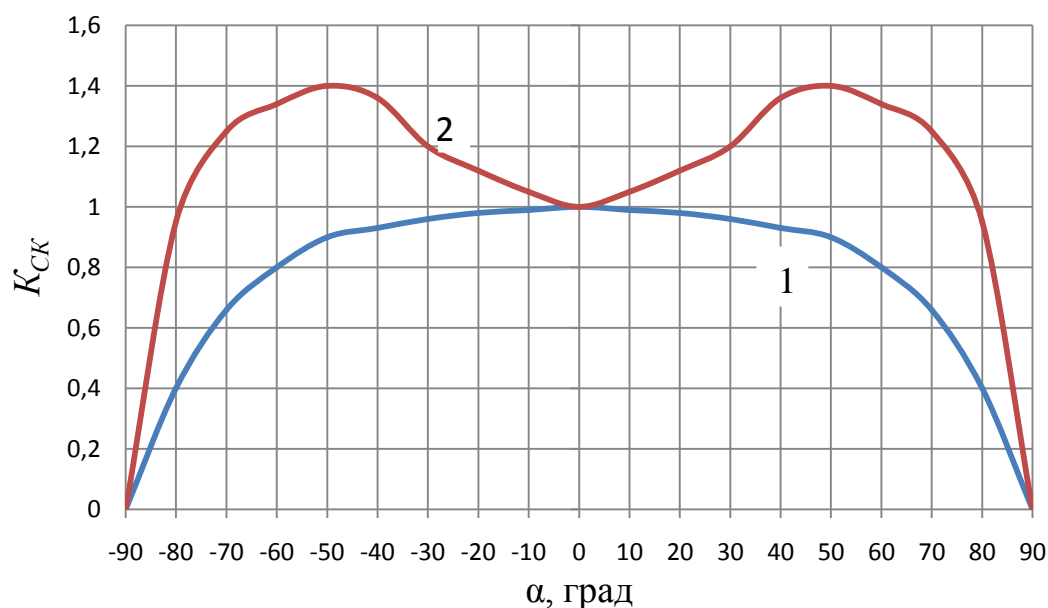


Рисунок 1.3 – Сравнение коэффициента положения солнечного коллектора  $K_{СК}$  для плоских (1) и вакуумированных трубчатых (2) СК

При угле падения 0 град (полдень) Солнце перпендикулярно плоскости СК, и он поглощает максимальное количество солнечного излучения. За счет пробелов между трубками некоторое количество СИ проходит сквозь СК. При угле около 50 град – нет пробелов между трубками и Солнце еще перпендикулярно СК, при этом на поверхности СК сосредоточено максимальное количество СИ. Это происходит за счет того, что непоглощенное вакуумированной трубкой СИ отражается на соседних трубках СК. При этом теплопроизводительность СК имеет максимальное (пиковое) значение.

При угле падения СИ больше 50 град вакуумированные трубки начинают перекрывать и подвергаются меньшему СИ. Площадь поверхности СК по-прежнему поглощает СИ, но производительность снижается из-за перекрытия трубок. Это оказывает минимальное влияние на общую ежедневную теплопроизводительность СК, потому что только небольшой процент от солнечного излучения выходит за оптимальный угол 50 град (очень рано утром или поздно вечером).

Таким образом, за счет описанного эффекта происходит увеличение теплопроизводительности СК с вакуумированными трубками до 25 % по сравнению с плоскими коллекторами (верхняя кривая, рис. 1.3) с той же площадью поглотителя и при одинаковых условиях эксплуатации.

Вакуумированными трубками используется и диффузионное СИ, когда солнце закрыто облаками. Тогда СК с цилиндрической абсорбционной поверхностью имеют ряд неоспоримых преимуществ перед плоскими солнечными коллекторами:

- в любое время дня под прямым солнечным излучением постоянно находится часть абсорбирующего покрытия вакуумированной трубки (это как плоский коллектор, поворачивающийся на одной оси за солнцем);

- эффективная воспринимающая площадь СК больше аналогичной площади плоского солнечного коллектора;

- системы на основе вакуумированных трубок отличаются высокой поглощательной способностью – до 92 % падающего СИ и высоким КПД, практически не зависящим от разности температур между СК и воздухом (рис. 1.4).

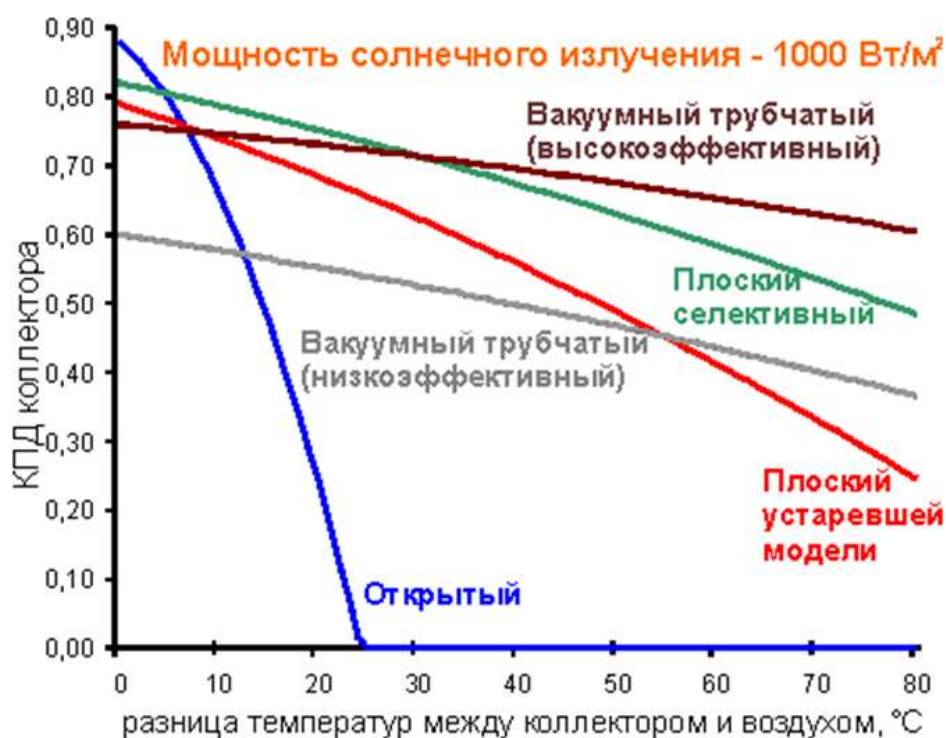


Рисунок 1.4 – КПД разных типов солнечных коллекторов от разницы температур между коллектором и воздухом

### Принцип работы солнечного коллектора

В основу функционирования СК с использованием стеклянных вакуумированных трубок положено четыре базовых процесса:

- улавливание СИ;
- теплообмен;
- аккумуляция полученной тепловой энергии;
- автоматическое управление процессом нагрева и аккумуляции горячей воды.

Солнечное излучение, как отмечалось выше, попадая на СК, проходит через его вакуумную зону и достигает специального покрытия, которое улавливает те волны солнечного излучения, которые несут наибольшую энергию – в первую очередь инфракрасный спектр.

Для повышения эффективности вакуумированных СК используются селективные покрытия и отражатели. На внутреннюю поверхность трубок наносят покрытие из диоксида индия, обладающее хорошей отражательной способностью для теплового (инфракрасного) излучения. На поглощающую поверхность абсорбера наносят селективное покрытие из черного хрома, оксида меди или оксидов других металлов, либо покрытие из полупроводников, благодаря чему сни-

жаются оптические потери СК и потери тепловой энергии путем излучения. Это способствует повышению КПД СК.

Максимально допустимая температура нагрева абсорбирующего слоя равна 300 °С. В зависимости от типа вакуумированных трубок СК полученная тепловая энергия передается непосредственно теплоносителю (вода или антифриз, например, водный раствор гликоля).

В каждую трубку могут также вставляться так называемые теплопроводящие стержни с эффектом тепловой трубы, что позволяет обеспечивать достаточно высокий КПД в условиях низкого СИ и низких температур.

Тепловая труба (англ. heatpipe) – элемент системы охлаждения, принцип работы которого основан на том, что в закрытых трубках из теплопроводящего металла (например, меди) находится легкоиспаряющаяся жидкость (рис. 1.5). Перенос тепловой энергии происходит за счет того, что жидкость испаряется на нижнем конце трубки, нагретом за счет СИ, и конденсируется на верхнем конце трубки, помещенном в баке с водой. Конденсат стекает в нижний конец трубки. Процесс испарения легкоиспаряющейся жидкости, например, фреона, с последующей его конденсацией, повторяется.

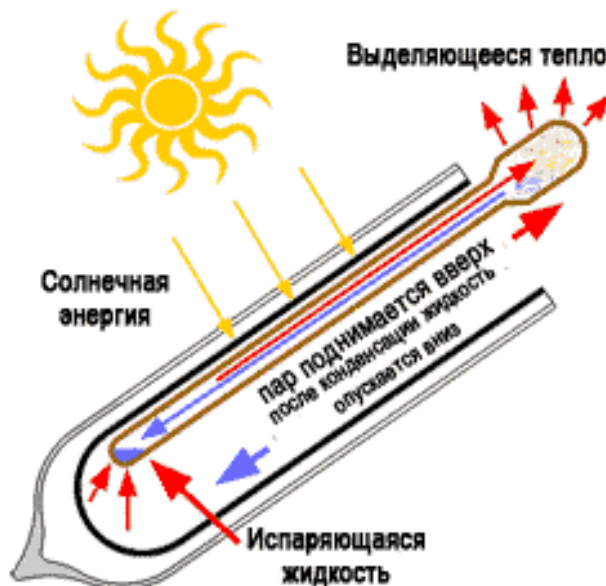


Рисунок 1.5 – Вакуумированная стеклянная трубка с тепловой трубой

### Типы солнечных водонагревателей

Солнечные водонагреватели могут работать за счет естественной или принудительной циркуляции воды.

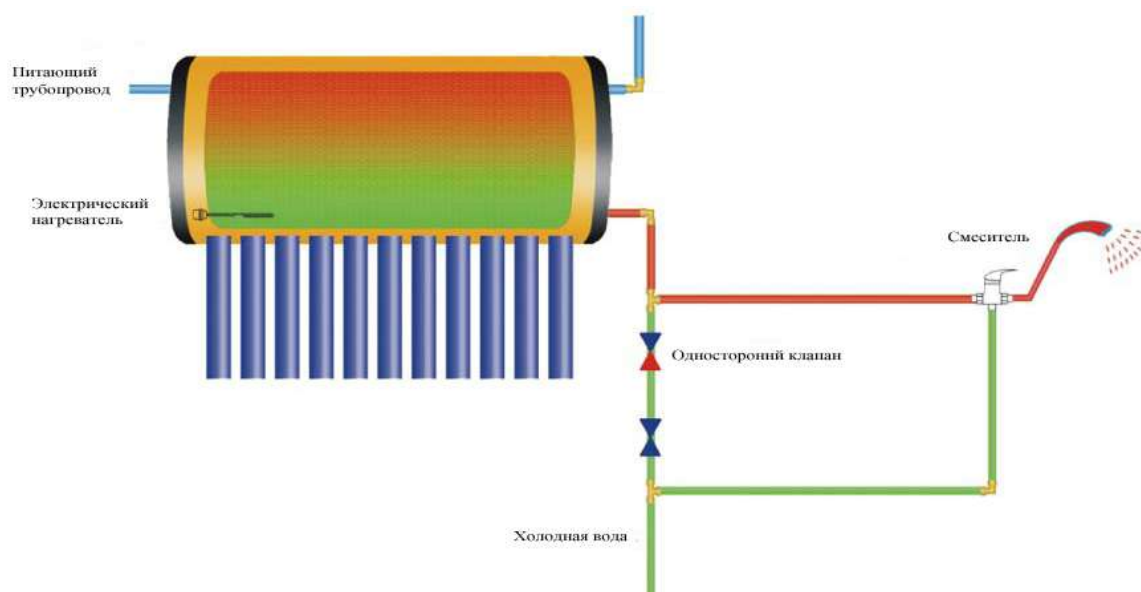


**Солнечные водонагреватели с естественной циркуляцией** воды имеют аккумулирующий (накопительный) бак и вставленные в него через технологические отверстия вакуумированные стеклянные трубки (рис. 1.6). Накопительный бак утеплен для снижения потерь тепловой энергии. Объем накопительного бака берется обычно из расчета двухдневного потребления горячей воды.



*Рисунок 1.6 – Солнечный водонагреватель с вакуумированными трубками и естественной циркуляцией воды*

Нагретая вода или теплоноситель циркулируют в системе за счет естественной конвекции (рис. 1.7).



*Рисунок 1.7 – Схема работы солнечного водонагревателя с естественной циркуляцией воды*

Главными преимуществами данной системы являются низкая цена, простота установки и обслуживания. Для ее работы достаточно только, чтобы в баке была вода. Подача воды может поступать самотеком из открытого бака, находящегося выше самого водонагревателя.

Устанавливать солнечные водонагреватели можно на крыше, используя уже ее наклон, на балконе и на земле.

Такие солнечные водонагреватели в основном используются:

- для принятия душа;
- бытовых нужд (мытьё посуды, поение животных, запаривание кормов);
- обогрева парников и теплиц;
- подогрева воды в бассейнах и т. д.

**Солнечные водонагреватели с принудительной циркуляцией воды.** Основное отличие таких солнечных водонагревателей от водонагревателей с естественной циркуляцией – это работа всей системы при магистральном давлении воды до 1 МПа (10 атм). Это преимущество дает возможность применения их во всех областях, где необходима горячая вода.

Система солнечного горячего водоснабжения с принудительной циркуляцией воды, как правило, включает в себя СК, насос, систему контроля, жидкий теплоноситель (антифриз) и расширительный бак (рис. 1.8). Такие ССГВ используются в разделенном виде, т. е. СК находится на крыше дома, а накопительная емкость и система управления – внутри помещения.



*Рисунок 1.8 – ССГВ с принудительной циркуляцией воды*

Термоизолированный бак имеет различную емкость. Наибольшим спросом пользуются модели с баком на 210 и 260 литров (см. приложение на с. 35). Бак способен удерживать температуру до 4 суток с потерей примерно 2–3 °С в сутки, в случае если нет солнца. В качестве резервного источника он оснащается электрическим ТЭНом. Такая ССГВ может функционировать как по отдельности (от энергии солнца или от электрической энергии), так и одновременно от двух источников и способна безотказно работать при наружной температуре до минус 60 °С (рис. 1.9).



*Рисунок 1.9 – Принципиальная схема ССГВ с принудительной циркуляцией теплоносителя:*

*1 – солнечный коллектор; 2 – расширительный бак; 3 – бойлер; 4 – источник дополнительного подогрева; 5–7 – радиаторы; 8 – насос; 9 – вход холодной воды; 10 – выход горячей воды; 11 – контроллер*

ССГВ такого типа делятся:

– на оборудованные принудительной циркуляцией теплоносителя в открытом контуре (одноконтурные сплит-системы): в их конструкции применяются насосы с целью обеспечения циркуляции воды в емкости СК. Подобные системы представляют собой сезонные установки и наиболее часто используются в странах с жарким климатом;

– оборудованные принудительной циркуляцией теплоносителя в закрытом контуре (двухконтурные сплит-системы) – в его конструкции в качестве теплоносителя используется водно-гликолиевый антифриз, и это позволяет использовать такие водонагреватели даже в холодное время года. Подобные системы являются более дорогостоящими, однако отличаются повышенной эффективностью. Для

обеспечения циркуляции в них применяется специальный электронасос (рис. 1.9).

**Коэффициент полезного действия вакуумированного СК** определяют по формуле

$$\eta_{СК} = \eta_0 - U_{L1} \frac{T_{cp} - T_{окр}}{R_{\beta}} - U_{L2} \frac{(T_{cp} - T_{окр})^2}{R_{\beta}}, \quad (1.1)$$

где  $\eta_0$  – коэффициент полезного действия солнечного коллектора без учета потерь тепловой энергии в СК, т. е. при равенстве температур воздуха окружающей среды  $T_{окр}$  и средней температуры теплоносителя в СК,  $T_{cp}$ ;

$U_{L1}, U_{L2}$  – коэффициенты тепловых потерь СК, Вт/(м<sup>2</sup> · °С);

$R_{\beta}$  – мощность СИ, приходящаяся на поверхность СК, наклоненную под углом  $\beta$  к горизонту, Вт/м<sup>2</sup>.

При этом для СК Seido 1-16 следует принять КПД  $\eta_0 = 0,76$ , а коэффициенты тепловых потерь следующими:

–  $U_{L1} = 2,118$  Вт/(м<sup>2</sup> · °С);

–  $U_{L2} = 0,004$  Вт/(м<sup>2</sup> · °С).

Среднюю температуру теплоносителя в СК рассчитывают по выражению

$$T_{cp} = \frac{T_{вых} - T_{вх}}{2}, \quad (1.2)$$

где  $T_{вых}$  – температура теплоносителя на выходе из СК, °С;

$T_{вх}$  – температура теплоносителя на входе в СК, °С.

Среднюю температуру теплоносителя в СК для разных месяцев года для климатических условий пригорода Красноярска следует принимать по следующей таблице.

Средняя температура СК в течение года

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$T_{cp}$	30	50	80	85	90	95	95	90	85	80	50	25

При проектировании ССГВ для конкретного места их установки в качестве исходной информации могут приниматься данные по поступлению прямого, рассеянного и суммарного СИ на горизонтально установленную приемную площадку (ПП), полученные на конкрет-

ных актинометрических станциях СССР и России. Объединенным Институтом высоких температур РАН и другими исследованиями установлено, что в практических расчетах, при отсутствии актинометрических станций в радиусе 100–130 км от места установки солнечных водонагревателей и солнечных электростанций, как более достоверные источники информации по солнечному излучению целесообразно использовать базы данных NASA, содержащие для всей поверхности земного шара непрерывный ряд осредненных по многолетним спутниковым наблюдениям актинометрических и метеорологических данных.

Результаты расчетов, произведенных на сайте NASA, могут быть представлены в форматах ASCII, CSV, GeoJSON и NetCDF в виде графиков и таблиц.

Для расчетов различных параметров солнечного излучения и других метеорологических данных следует зайти на сайт NASA <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer>, ввести координаты интересующей местности, например, г. Красноярска (см. рис. 1.10), выделить требуемые позиции и для ввода исходных данных нажать на кнопку Submit (см. рис. 1.11), после чего получить результаты расчетов в заданном ранее формате (см. рис. 1.12, 1.13).

Для расчета КПД СК следует принимать значения параметров солнечного излучения и температуры, полученные на сайте NASA для г. Красноярска (см. рис. 1.10–1.13).

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомьтесь с видами систем солнечного горячего водоснабжения сельских жилых домов, конструкциями солнечных коллекторов и солнечных водонагревателей.

2. Изучите устройство и принцип действия разных видов солнечных водонагревателей, конструкцию и принцип действия разных типов солнечных коллекторов.

3. Рассчитайте зависимость КПД солнечного коллектора от наружной температуры и температуры теплоносителя СК для заданного преподавателем типа солнечного коллектора (приложение на с. 35). Полные технические характеристики солнечных коллекторов и солнечных водонагревателей приведены на сайте <http://www.solnechnye.ru/vodonagrevately>.

## **Содержание отчета**

1. Название и цель работы.
2. Принципиальная схема системы солнечного горячего водоснабжения с принудительной циркуляцией.
3. Результаты расчета изменения КПД солнечного коллектора от наружной температуры и температуры теплоносителя в баке.

## **Контрольные вопросы**

1. Какие бывают виды солнечных коллекторов?
2. Из каких компонентов состоит солнечный водонагреватель?
3. Как устроена вакуумированная трубка?
4. Каков состав селективного покрытия вакуумированных трубок?
5. В чем состоит эффект тепловой трубы?
6. Какие бывают типы солнечных водонагревателей?
7. В чем состоит принцип работы солнечного водонагревателя?
8. Как устроен солнечный водонагреватель с естественной циркуляцией воды?
9. Как устроен солнечный водонагреватель с принудительной циркуляцией теплоносителя?
10. В чем схожесть и отличие разных типов солнечных водонагревателей?
11. Почему коэффициент положения у вакуумированных трубчатых солнечных коллекторов выше, чем у плоских СК?
12. В чем состоят преимущества и недостатки вакуумированных СК?
13. Для чего в вакуумированном СК предназначена тепловая труба (heatpipe)?
14. От чего зависит КПД солнечного коллектора?
15. Как пользоваться сайтом NASA для расчета солнечной радиации в заданной местности?

## **Литература**

1. Цугленок, Н.В. Рациональное сочетание традиционных и возобновляемых источников энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей / Н.В. Цугленок, С.К. Шерьязов, А.В. Бастрон; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2012. – 322 с.

2. Бастрон, А.В. Горячее водоснабжение сельских бытовых потребителей Красноярского края с использованием солнечной энергии / А.В. Бастрон, Н.Б. Михеева, Е.М. Судаев; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2016. – 132 с.
3. Шерьязов, С.К. Использование возобновляемых источников энергии в сельском хозяйстве: учеб. пособие / С.К. Шерьязов, О.С. Пташкина-Гирина. – Челябинск: Изд-во ЧГАА, 2013. – 280 с.
4. ГОСТ Р 51594-2000. Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Термины и определения. Дата введения 01.01.2001. – М.: Госстандарт России, 2000. – 13 с.
5. Солнечные водонагреватели [Электронный ресурс] // ВЕЛЕБИТ. Тепло и энергия для вас. – URL: [http://teplovelebit.ru/energiya-solntsa/solnechnie-vodonagrevateli\\_hr](http://teplovelebit.ru/energiya-solntsa/solnechnie-vodonagrevateli_hr) (дата обращения: 10.01.2019).
6. Солнечные водонагреватели [Электронный ресурс] // SOLNECHNYE.RU. Солнечные водонагреватели в каждый дом. – URL: <http://www.solnechnye.ru/vodonagrevately> (дата обращения: 10.01.2019).
7. Бастрон, А.В. Исследование и производственные испытания в условиях Красноярска солнечных водонагревательных установок с вакуумированными коллекторами / А.В. Бастрон, Е.М. Судаев // Ползуновский вестник. – 2011. – № 2–2. – С. 221–224.
8. Бастрон, А.В. Эффективное использование солнечной энергии в системах тепло- и электроснабжения сельских усадебных домов и ЛПХ / А.В. Бастрон, Г.В. Гайдаш // Вестник ИрГСХА. – 2015. – № 67. – С. 92–100.
9. Бастрон, А.В. Оптимизация угла наклона приемной площадки и теплопроизводительности солнечного коллектора при эксплуатации в условиях г. Красноярска / А.В. Бастрон, М.Р. Муратов // Ползуновский вестник. – 2014. – Т. 1. – № 4. – С. 111–115.
10. Атлас ветрового и солнечного климатов России / Под ред. М.М. Борисенко, В.В. Стадник. – СПб.: Изд-во ГГО, 1997. – 173 с.
11. Power data access viewer / NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources [Электронный ресурс]. – URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer> (дата обращения: 10.01.2019 г.)

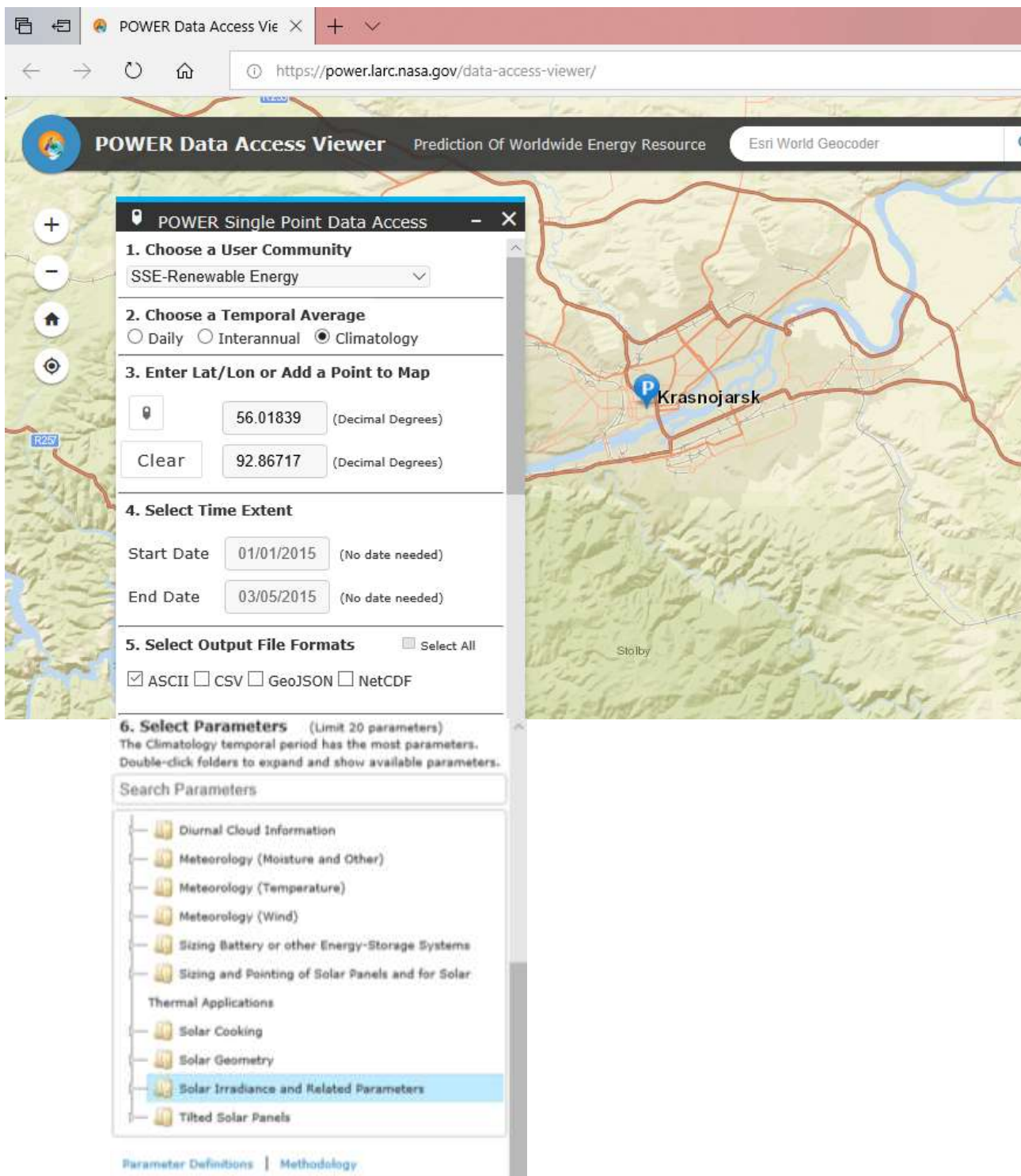
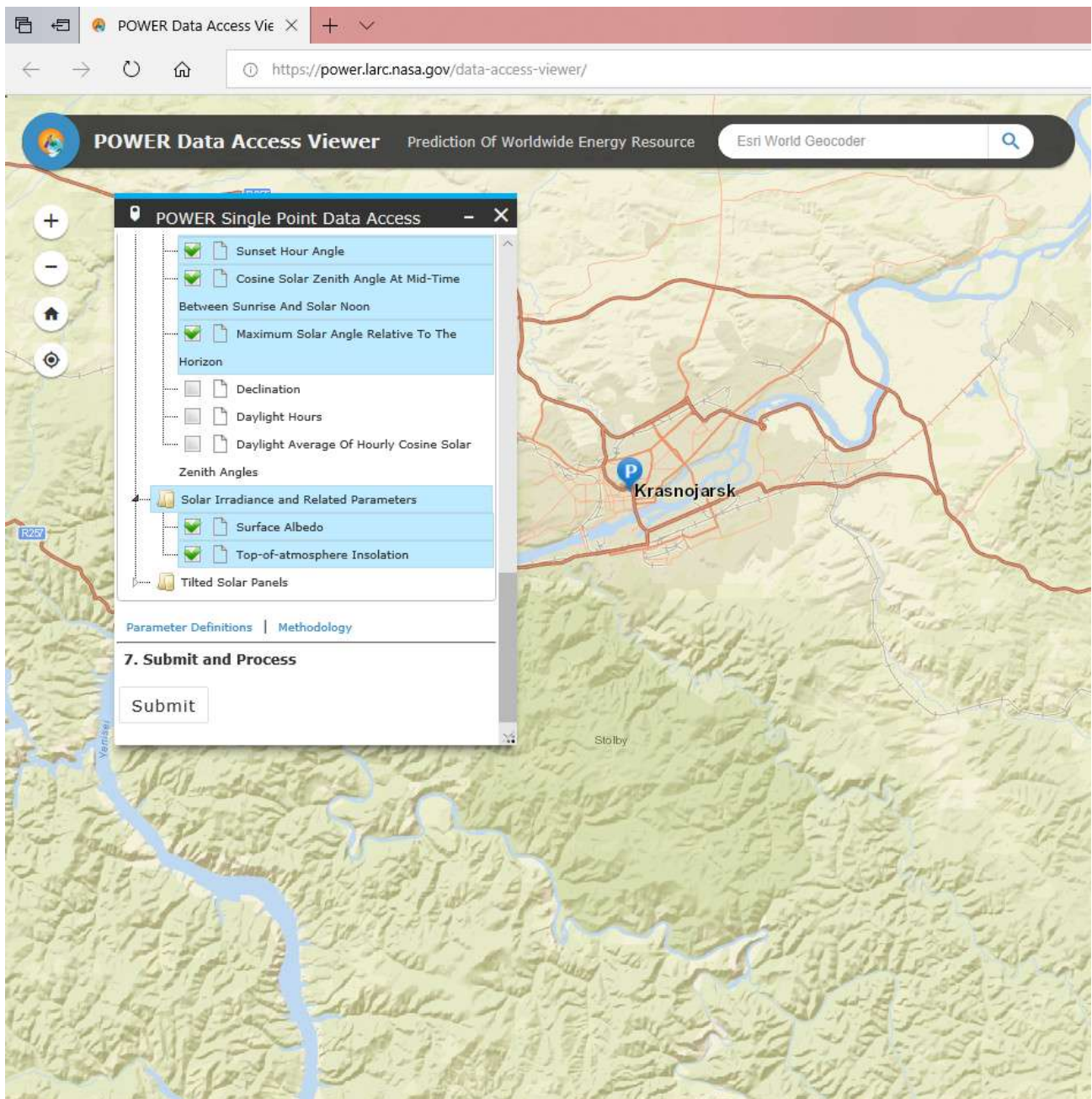


Рисунок 1.10 – Сайт NASA <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer> (для примера внесены координаты г. Красноярска)





*Рисунок 1.11 – Ввод исходных данных на сайте NASA (выделить требуемые позиции и для ввода исходных данных нажать на кнопку Submit)*

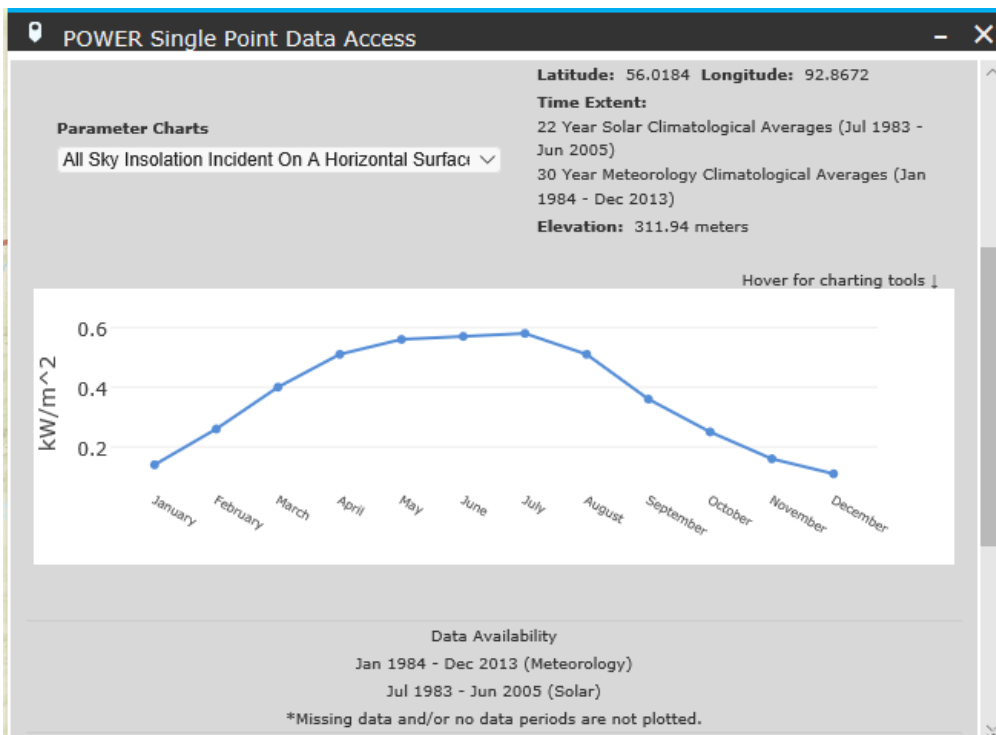


Рисунок 1.12 – Результаты расчета на сайте NASA ежемесячной интенсивности солнечного излучения на горизонтальной поверхности

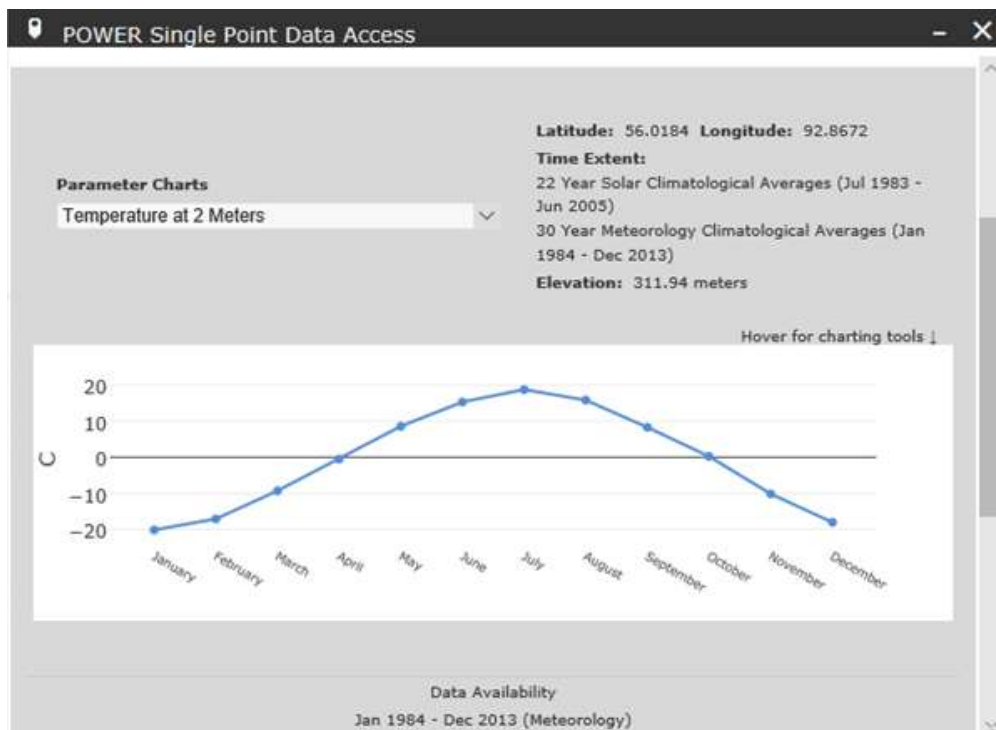


Рисунок 1.13 – Результаты расчета на сайте NASA среднемесячной температуры на высоте 2 м от поверхности земли

## Характеристика солнечных водонагревателей

Модель	Кол-во трубок	Бак, л	Вес, кг	Мощность ТЭН, кВт	Цена, руб.
<b>Солнечный коллектор</b>					
SCH-12	12	–	37	–	25 380
SCH-15	15	–	45	–	31 700
SCH-18	18	–	52	–	38 000
SCH-20	20	–	55	–	42 700
SCH-30	30	–	85	–	61 650
<b>Солнечный водонагреватель (система без давления, бак окрашенный)</b>					
XF-II-10-80	10	80	47	1,5	18 090
XF-II-12-100	12	100	56	1,5	20 580
XF-II-15-125	15	125	67	1,5	23 080
XF-II-18-150	18	150	78	1,5	26 680
XF-II-20-170	20	170	85	1,5	28 980
XF-II-24-200	24	200	100	1,5	36 000
<b>Солнечный водонагреватель (система под давлением, бак окрашенный)</b>					
CP-II-15-135	15	135	64	1,5	47 700
CP-II-20-175	20	175	86	1,5	57 050
CP-II-24-210	24	210	102	1,5	72 450
CP-II-30-260	30	260	127	1,5	89 650
<b>Солнечный водонагреватель (система без давления, бак из нержавеющей стали)</b>					
XFS-II-15-125	15	125	53	1,5	24 480
XFS-II-18-150	18	150	64	1,5	28 380
XFS-II-20-170	20	170	71	1,5	31 900
XFS-II-24-200	24	170	74	1,5	37 600
<b>Одноконтурная сплит-система</b>					
SH-100-12-1	12	100	81	–	90 950
SH-150-18-1	18	150	105	–	110 900
<b>Двухконтурная сплит-система</b>					
SH-200-24-2	24	200	122	–	140 000
SH-300-36-2	36	300	169	–	180 900
SH-400-48-2	48	400	233	–	227 800
SH-500-60-2	60	500	280	–	268 800

Примечание: длина трубок – 1 800 л, диаметр – 58 мм.

## **Работа № 2**

### **Расчет системы солнечного горячего водоснабжения сельских потребителей**

#### **Цель работы**

Ознакомиться с методикой расчета систем солнечного горячего водоснабжения сельских потребителей и осуществить компьютерное моделирование параметров ССГВ.

#### **Задания к работе**

1. Ознакомиться с особенностями энергопотребления систем солнечного горячего водоснабжения сельских бытовых потребителей и сельских жилых домов.
2. Ознакомиться с методикой расчета ССГВ.
3. Провести компьютерное моделирование параметров ССГВ (исходные данные по каждому варианту задания выдает преподаватель).

#### **Общие сведения**

Согласно приведенным в НТП-АПК нормам:

- НТП-АПК 1.10.01.001-00. Нормы технологического проектирования ферм крупного скота крестьянских хозяйств;
- НТП-АПК 1.10.02.001-00. Нормы технологического проектирования свиноводческих ферм крестьянских хозяйств;
- для обеспечения различных технологических нужд ЛПХ и фермерских хозяйств разных направлений требуется горячая вода с разными температурными уровнями (для поения животных – 10–12 °С, подмывания вымени коров – 40–45 °С, приготовления кормов телятам – 40–65 °С, бытовых нужд, мытья молочной посуды – 55–60 °С, запаривания кормов – 100 °С и т. д.).

Среднесуточные нормы потребления горячей воды на фермах крупного скота крестьянских хозяйств, согласно НТП-АПК 1.10.01.001-00, составляют:

- для молочных коров – 13 л (с температурой 55–65 °С);
- для телят до 4 месяцев – 7 л (40–65 °С);
- для телят от 4 до 6 месяцев, молодняка до 18 мес., нетелей – 2 л (40–65 °С).

Среднесуточные нормы потребления горячей воды на свиноводческих фермах крестьянских хозяйств, согласно НТП-АПК 1.10.02.001-00, составляют:

- для свиноматок супоросных и холостых: 6 л – на приготовление кормов, 12 л – на поение;
- для свиноматок подсосных с приплодом: 20 л – на приготовление кормов, 20 л – на поение;
- для поросят-отъемышей: 6 л – на приготовление кормов, 1,5 л – на поение;
- для ремонтного молодняка и свиней на откорме: 6 л – на приготовление кормов, 4,5 л – на поение.

Горячая вода (100 °С) или пар низкого давления используются для приготовления кормов (запаривания комбикорма), для поения всех видов свиней используется вода с температурой 10–16 °С, для поросят-отъемышей с температурой 16–20 °С.

Количество энергии, в частности электроэнергии, потребляемое за сутки ЛПХ или фермерским хозяйством на приготовление горячей воды для каждого вида животных, в соответствии с НТП-АПК будет складываться из отдельного электропотребления на каждый вид технологической воды

$$W_{ГВС} = m \cdot c_m \cdot (T_k - T_n) \cdot n \cdot k_n, \quad (2.1)$$

где  $W_{ГВС}$  – расход электроэнергии на ГВС, кВт·ч;

$m$  – масса воды, кг;

$c_m$  – удельная теплоемкость воды (равна 4,19 Дж/(кг·К));

$T_k$  – конечная температура воды в соответствии с НТП-АПК, °С;

$T_n$  – начальная температура воды, °С (температура холодной воды принимается для зимних условий 5 °С, а для летних условий 10 °С);

$n$  – количество животных данного вида, гол.;

$k_n$  – коэффициент перевода из кДж в кВт·ч ( $k_n = 2,77 \cdot 10^{-4}$ ).

Поскольку при содержании овец и кур практически не требуется горячая вода, при наличии в ЛПХ или фермерском хозяйстве овец или кур ею можно пренебречь.

Таким образом, исходя из характера ЛПХ или фермерского хозяйства можно рассчитать требуемое количество горячей воды с соответствующим требуемым уровнем температуры и количество тепловой или электрической энергии, необходимое для приготовления требуемого количества горячей воды.

## **Особенности горячего водоснабжения сельских жилых домов**

### **Водопотребление сельских жилых домов**

Уровень водопотребления индивидуальных жилых домов (сельских жилых домов, коттеджей) зависит от внутреннего санитарно-технического оборудования жилого дома. В зависимости от этого нормы расхода воды жителями принимаются по таблице 2.1, согласно СНиП 2.04.01-85.

При расчете суточной потребности в воде для горячего водоснабжения необходимо учитывать количество человек, проживающих в доме, и нормы расхода на одного жителя.

Таблица 2.1 – Нормы расхода воды жителями жилых домов

Водопотребитель	Удельное среднесуточное (за год) хозяйственно-питьевое водопотребление в населенных пунктах на одного жителя, л/сут.
Индивидуальные или блокированные жилые дома:	90–120
с водопроводом и канализацией без ванн газоснабжением	115–150
водопроводом, канализацией и ваннами с водонагревателями, работающими на твердом топливе	140–180
водопроводом, канализацией и ваннами с газовыми водонагревателями	170–190
быстродействующими газовыми нагревателями и многоточечным водоразбором	190–250

Примечание. Меньшие показатели принимаются для индивидуальных жилых домов (коттеджей), большие – для блокированного жилого дома с общей системой водоснабжения.

### **Расчет и выбор ССГВ**

Для горячего водоснабжения семьи из четырех человек, проживающей в сельском жилом доме в пригороде Красноярска (Емельяновский район, Березовский район, Сухобузимский район) и имеющей ЛПХ третьего типа (5 дойных коров, 5 телят, 8 свиней на откорме и

50 птиц), могут быть использованы солнечные водонагреватели, приведенные в приложении к работе № 1, которые отличаются между собой количеством вакуумированных трубок (эффективной площадью СК) и объемом бака-аккумулятора.

Наиболее объективным энергетическим критерием эффективного использования СИ в ССГВ в течение года является коэффициент замещения  $f$ , который определяется выражением

$$f = \frac{W_{\text{ССГВ}}}{W_{\text{ГВС}}} = \frac{W_{\text{ССГВ}}}{W_{\text{ССГВ}} + W_{\text{ЭЭ}}}, \quad (2.2)$$

где  $W_{\text{ССГВ}}$  – количество тепловой энергии, выработанной за месяц ССГВ, МДж (кВт·ч);

$W_{\text{ГВС}}$  – суммарная тепловая энергия, потраченная на приготовление горячей воды в течение месяца ССГВ, полученная за счет СИ и источника электрической энергии, МДж (кВт·ч);

$W_{\text{ЭЭ}}$  – недостающее количество тепловой энергии, потребленное из электрической сети для нагрева воды ТЭНом, МДж (кВт·ч).

#### Исходные данные по ССГВ для проведения моделирования

Характеристика потребителя:	
– количество жителей, чел.	4
– норма расхода, л/(сут.·чел.)	140
ЛПХ, л/сут.	138
Месячная потребность в энергии для нагрева горячей воды, кВт·ч	495,7

Поступление солнечного излучения в пригороде Красноярска следует принимать по данным сайта NASA (рис. 2.1–2.3).

Теплопроизводительность  $Q_{\text{СК}}$  и коэффициент полезного действия  $\eta_{\text{СК}}$  являются основными показателями, через которые характеризуются основные технические характеристики СК и ССГВ в целом. Теплопроизводительность СК зависит от его конструктивных особенностей, уровня СИ и температуры окружающей среды.

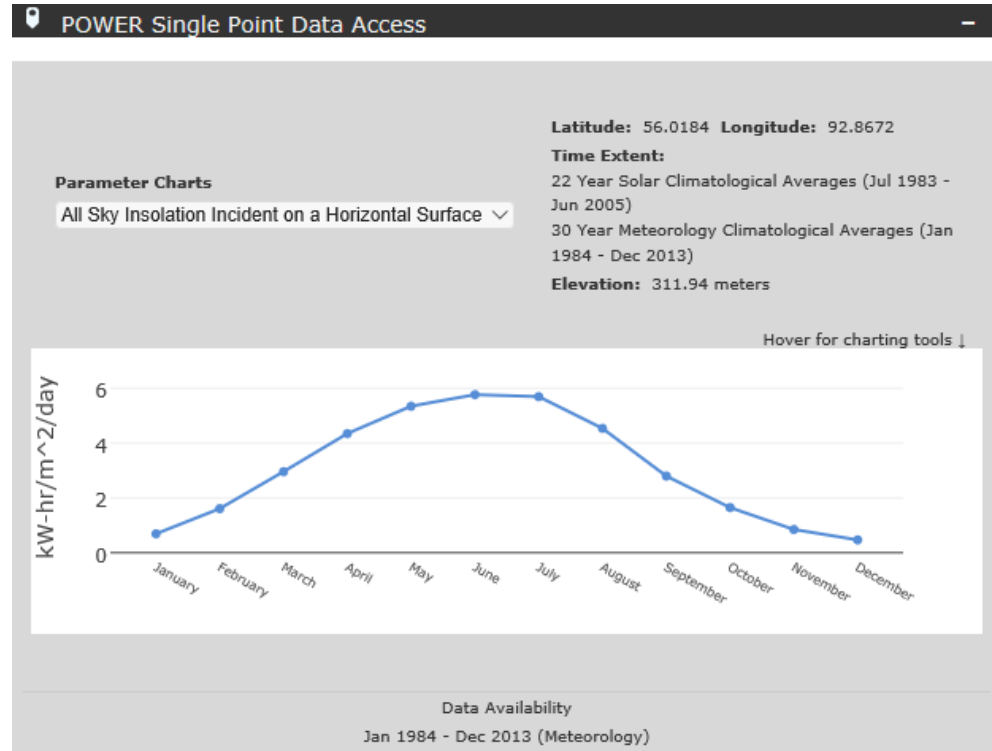


Рисунок 2.1 – Результаты расчета на сайте NASA ежемесячной среднесуточной суммарного солнечного излучения на горизонтальной поверхности



Parameter(s):													
SI_EF_MAX_TILTED_SURFACE	SRB/FLASHFlux 1/2x1/2 Maximum Solar Irradiance for Equator Facing Tilted Surfaces (Set of Surfaces) (kW-hr/m <sup>2</sup> /day)												
SI_EF_MAX_OPTIMAL	SRB/FLASHFlux 1/2x1/2 Maximum Solar Irradiance Optimal (kW-hr/m <sup>2</sup> /day)												
SI_EF_MAX_OPTIMAL_ANG	SRB/FLASHFlux 1/2x1/2 Maximum Solar Irradiance Optimal Angle (Degrees)												
SI_EF_MAX_TILTED_ANG_ORI	SRB/FLASHFlux 1/2x1/2 Maximum Solar Irradiance Tilted Surface Orientation (N/S Orientation)												
PARAMETER	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
-END HEADER-													
SI_EF_MAX_TILTED_SURFACE_0	0.75	1.76	3.30	5.12	6.07	6.66	6.62	5.22	3.42	1.92	0.97	0.51	3.53
SI_EF_MAX_TILTED_SURFACE_41	1.60	3.02	4.63	6.02	6.13	6.35	6.52	5.68	4.41	2.97	1.93	1.20	4.21
SI_EF_MAX_TILTED_SURFACE_56	1.77	3.21	4.71	5.80	5.61	5.70	5.90	5.33	4.36	3.09	2.11	1.34	4.08
SI_EF_MAX_TILTED_SURFACE_71	1.84	3.24	4.55	5.30	4.87	4.86	5.06	4.74	4.09	3.05	2.17	1.41	3.76
SI_EF_MAX_TILTED_SURFACE_90	1.78	3.03	4.02	4.32	3.64	3.52	3.69	3.69	3.45	2.76	2.09	1.37	3.11
SI_EF_MAX_OPTIMAL	1.84	3.25	4.71	6.03	6.36	6.79	6.86	5.76	4.42	3.10	2.18	1.41	4.39
SI_EF_MAX_OPTIMAL_ANG	74.00	66.00	53.00	37.00	23.00	15.00	17.00	30.00	45.00	60.00	72.00	76.00	47.00

Рисунок 2.2 – Результаты расчета на сайте NASA солнечного излучения на поверхности солнечного коллектора, установленного под разным углом наклона

41

Parameter(s):													
MIDDAY_INSOL	SRB/FLASHFlux 1/2x1/2 Midday Insolation Incident On A Horizontal Surface (kW-hr/m <sup>2</sup> /day)												
ALLSKY_SFC_SW_DWN	SRB/FLASHFlux 1/2x1/2 All Sky Insolation Incident on a Horizontal Surface (kW-hr/m <sup>2</sup> /day)												
SG_DAY_HOUR_AVG	SRB/FLASHFlux 1/2x1/2 Daylight Hours (hours)												
CLRSKY_SFC_SW_DWN	SRB/FLASHFlux 1/2x1/2 Clear Sky Insolation Incident on a Horizontal Surface (kW-hr/m <sup>2</sup> /day)												
PARAMETER	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
-END HEADER-													
MIDDAY_INSOL	0.14	0.26	0.40	0.51	0.56	0.56	0.57	0.51	0.36	0.25	0.16	0.11	-999
CLRSKY_SFC_SW_DWN	0.94	2.19	4.10	6.28	7.61	8.19	7.72	6.35	4.34	2.54	1.22	0.61	4.34
ALLSKY_SFC_SW_DWN	0.69	1.61	2.96	4.35	5.35	5.77	5.70	4.54	2.80	1.65	0.85	0.47	3.06
SG_DAY_HOUR_AVG	7.70	9.68	11.83	14.17	16.30	17.52	16.97	15.07	12.82	10.50	8.35	7.10	-999

Рисунок 2.3 – Результаты расчета на сайте NASA продолжительности солнечного сияния

Уравнение Хоттеля-Уиллера-Блиса, как показали исследования, наиболее полно учитывает приведенные факторы при определении теплопроизводительности СК,  $Q_{СК}$ , Вт·ч:

$$Q_{СК} = F_{СК} F_R \left[ \mathcal{E}^\beta (\overline{\tau\alpha}) - T_{c.c} U_L (T_{cp} - T_{окр}) \right], \quad (2.3)$$

где  $F_{СК}$  – площадь солнечного коллектора, м<sup>2</sup>;

$F_R$  – коэффициент эффективности переноса тепла от поглощающей пластины солнечного коллектора к теплоносителю;

$\mathcal{E}^\beta$  – среднемесячный дневной приход суммарного солнечного излучения на наклоненную под углом  $\beta$  поверхность СК;

$(\overline{\tau\alpha})$  – приведенная поглощательная способность СК;

$T_{c.c}$  – продолжительность солнечного сияния, ч;

$U_L$  – коэффициент тепловых потерь СК, Вт/м<sup>2</sup>°С;

$T_{cp}$ ,  $T_{окр}$  – соответственно средняя температура теплоносителя в СК и температура окружающей среды, °С.

**Рассчитайте несколько солнечных водонагревателей**, близких по объему бака к расчетному объему, вычисленному по выражению (2.1): один с плоским и несколько с вакуумированными СК.

Для расчетов примите следующие исходные данные:

– для плоского СК возьмите  $U_L = 8$  Вт/м<sup>2</sup>°С, а  $(\overline{\tau\alpha}) = 0,7$ ;

– для вакуумированного СК возьмите  $U_L = 1$  Вт/м<sup>2</sup>°С, а  $(\overline{\tau\alpha}) = 0,7$ ;

– коэффициент эффективности переноса тепла от поглощающей пластины коллектора к теплоносителю  $F_R$  примите равным 0,9;

– среднюю температуру теплоносителя в СК  $T_{cp}$  примите равной

$$T_{cp} = (T_n + T_о)/2, \quad (2.4)$$

где  $T_о$  – температура воды в баке в конце дня;

– температуру окружающей среды  $T_{окр}$  примите равной среднемесячной температуре воздуха на поверхности земли (рис. 2.2).

Результаты расчета удельной теплопроизводительности и коэффициента замещения в зависимости от типа СК и времени года, с учетом оптимального угла наклона плоскости СК к горизонту, равному 41 град (рис. 2.1), приведите в виде таблицы и постройте диаграммы от времени года. Через изменение коэффициента замещения в зависимости от типа СК и времени года дайте рекомендации по вы-

бору для практического использования того или иного солнечного водонагревателя.

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомьтесь с особенностями энергопотребления систем солнечного горячего водоснабжения фермерских хозяйств и сельских жилых домов и методикой расчета систем солнечного горячего водоснабжения.

2. Используя технические характеристики СК и ССГВ, которые приведены в приложении к работе № 1 или в других источниках информации, рассчитайте теплопроизводительность СК и коэффициент замещения в зависимости от типа и времени года, с учетом оптимального угла наклона плоскости СК к горизонту, равному 41 град.

### **Содержание отчета**

1. Название и цель работы.
2. Результаты расчета теплопроизводительности и коэффициента замещения ССГВ.
3. Рекомендации по выбору наиболее рационального солнечного водонагревателя.

### **Контрольные вопросы**

1. Как складываются потребление горячей воды и энергозатраты на ее приготовление в зависимости от благоустройства сельского жилого дома?
2. Как складываются потребление горячей воды и энергозатраты на ее приготовление в приусадебном хозяйстве (ЛПХ) с различными объемами производства, количеством и видами домашних животных и птицы?
3. От каких параметров и как зависит суммарное солнечное излучение, поступающее на горизонтальную поверхность?
4. От каких параметров и как зависит удельная теплопроизводительность солнечного водонагревателя в  $i$ -м месяце?
5. Как зависит теплопроизводительность СК от коэффициента тепловых потерь?
6. Как определить необходимую площадь солнечных коллекторов  $i$ -м месяце?
7. Как определяют коэффициент использования потенциальной энергии СИ?

8. Как определяют коэффициент использования энергии, вырабатываемой солнечным водонагревателем?
9. Как определяют коэффициент обеспеченности потребителя солнечной энергией?
10. Как оценить срок окупаемости системы солнечного горячего водоснабжения?

## Литература

1. Шерьязов, С.К. Использование возобновляемых источников энергии в сельском хозяйстве: учеб. пособие / С.К. Шерьязов, О.С. Пташкина-Гирина; ЧГАА. – Челябинск, 2013. – 280 с.
2. Шерьязов, С.К. Возобновляемые источники в системе энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей: монография / С.К. Шерьязов; ЧГАУ. – Челябинск, 2008. – 300 с.
3. Бастрон, А.В. Горячее водоснабжение сельских бытовых потребителей Красноярского края с использованием солнечной энергии / А.В. Бастрон, Н.Б. Михеева, Е.М. Судаев; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2016. – 132 с.
4. Солнечные водонагреватели [Электронный ресурс] // SOLNECHNYE.RU. Солнечные водонагреватели в каждый дом. – URL: <http://www.solnechnye.ru/vodonagrevately> (дата обращения: 10.01.2019).
5. POWER DATA ACCESS VIEWER / NASA Prediction Of World wide Energy Resources [Электронный ресурс]. – URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer> (дата обращения: 10.01.2019).

## Работа № 3

### Изучение конструкции и исследование характеристик солнечного модуля

#### Цель работы

Изучить режимы работы солнечных фотоэлектрических элементов и снять основные характеристики солнечного модуля.

#### Задания к работе

1. Изучить режимы холостого хода и короткого замыкания солнечных фотоэлектрических элементов, снять основные характеристики солнечного модуля.

2. Изучить зависимости характеристик солнечного модуля от облученности солнечным излучением.

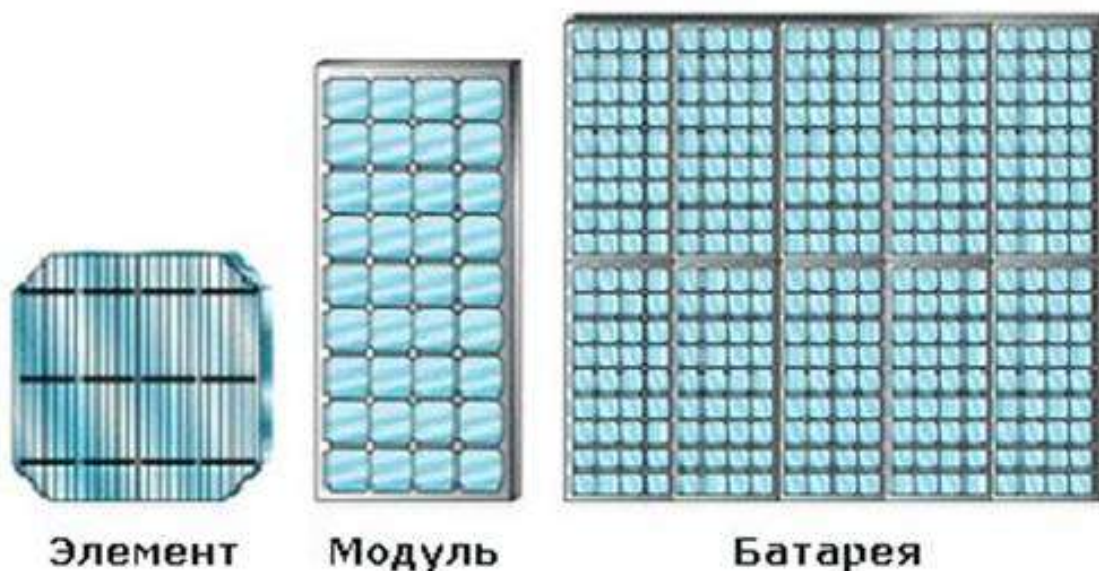
3. Снять основные вольт-амперные характеристики солнечного модуля.

#### Общие сведения

Основным элементом фотоэлектрической солнечной электростанции (ФСЭС) является солнечная батарея (СБ). Сама СБ состоит из нескольких солнечных модулей (СМ), включенных между собой последовательно-параллельно для прямого преобразования солнечного излучения в электрическую энергию постоянного тока. В свою очередь, СМ включает в себя несколько солнечных элементов (СЭ) мощностью около 1 Вт и размером несколько квадратных миллиметров.

Промышленностью производятся СМ разной мощностью соответствующим набором СЭ. Для обеспечения требуемого напряжения собирается СБ, состоящая из нескольких последовательно соединенных СМ. Для получения заданной мощности создаются параллельные контуры, СБ с заданным напряжением соединяются параллельно (рис. 3.1).

Для системы электроснабжения с использованием СБ необходимо знать КПД фотоэлементов, представляющий собой отношение энергии, попадающей на фотоэлемент к электрической энергии, поступившей к электрической нагрузке.



*Рисунок 3.1 – Структура солнечной батареи*

Ниже приведены значения КПД некоторых СМ промышленного производства:

- из аморфного кремния: 8–9 %;
- из теллурида кадмия: 8–12 %;
- из поликристаллического кремния: 14–15 %;
- из монокристаллического кремния: 16–17 %;
- гетероструктурный СМ: 22,6–22,8 %.

Режим работы ФЭС зависит от объективных факторов: поступающего солнечного излучения, температуры окружающей среды и электрической нагрузки на источнике питания. Вырабатываемая мощность СБ зависит от указанных факторов и необходимо их учитывать при выборе параметров ФЭС.

СЭ характеризуется вольт-амперной (рис. 3.2) и вольт-ваттной характеристикой (рис. 3.3).

Приведенные характеристики имеют свои особенности и характеризуются следующими показателями: напряжение холостого хода ( $U_{xx}$ ) – напряжение, при котором ток равен нулю; ток короткого замыкания ( $I_{кз}$ ) – ток, при котором напряжение равно нулю. Это крайние точки ВАХ, в которых мощность ФЭП равна нулю. Максимальные значения тока и напряжения ( $I_{max}$ ,  $U_{max}$ ) при постоянных значениях солнечного излучения и температуры определяют точку максимальной мощности (ТММ).

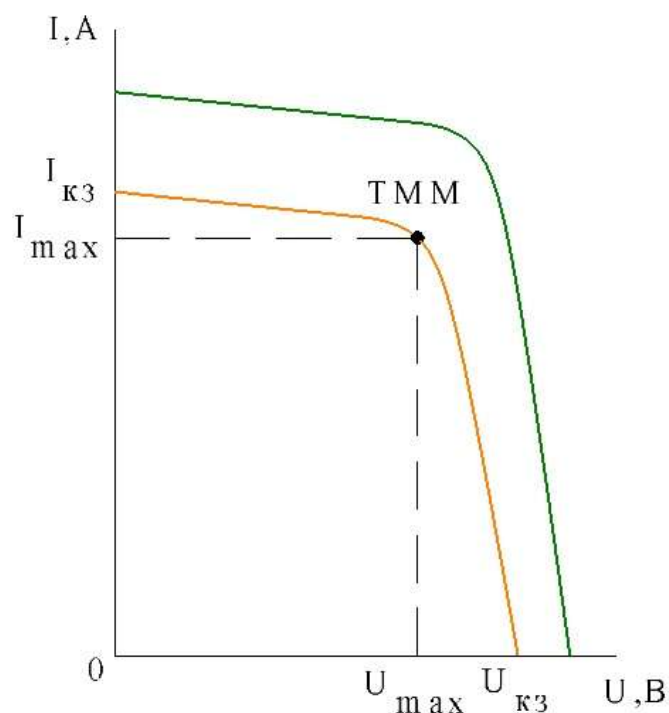


Рисунок 3.2 – Вольт-амперная характеристика СЭ

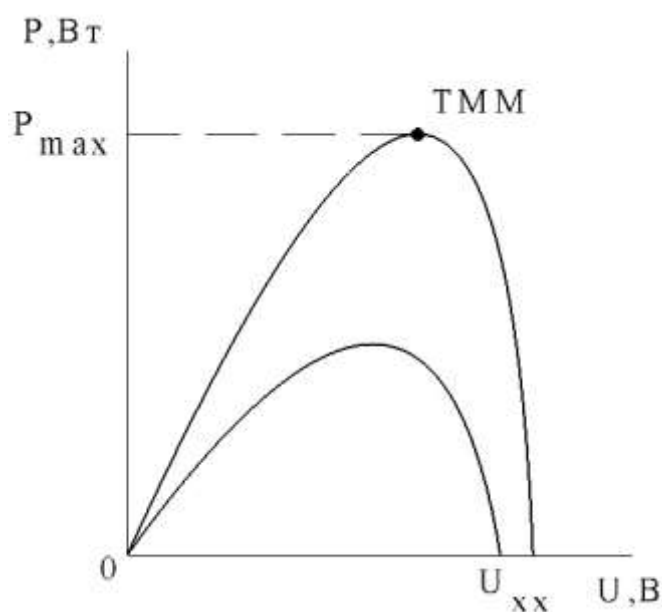


Рисунок 3.3 – Вольт-ваттная характеристика СЭ

При уменьшении интенсивности потока солнечного излучения в два раза  $I_{кз}$  СЭ уменьшается в два раза, в то время как  $U_{хх}$  изменяется незначительно. Математическая модель фотоэлектрического элемента строится на основе классической эквивалентной схемы замещения с сосредоточенными параметрами (рис. 3.4). Данная эквивалентная схема включает в себя генератор фототока  $I_{\phi}$ , диод, шунтирующее ( $R_{ш}$ ) и последовательное ( $R_{п}$ ) сопротивления.

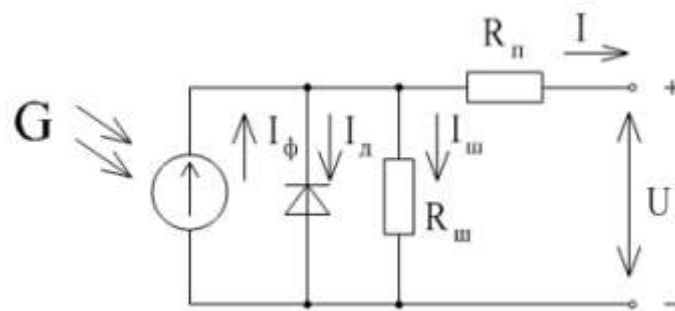


Рисунок 3.4 – Схема замещения СЭ

В соответствии с эквивалентной схемой замещения СЭ можно записать

$$I_n = I_\phi - I_d - I_{ш}, \quad (3.1)$$

где  $I_n$  – ток нагрузки;  $I_\phi$  – фототок;  $I_d$  – ток, протекающий через диод;  $I_{ш}$  – ток, протекающий через шунтирующее сопротивление  $R_{ш}$ .

Величина фототока пропорциональна изменению солнечного излучения СЭ

$$I_\phi = \frac{E}{\alpha}, \quad (3.2)$$

где  $\alpha$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от типа СЭ.

Зависимость напряжения холостого хода от уровня солнечного излучения аналитически можно представить как

$$U_{xx} = \frac{1}{2} \left( L_g - \frac{3kT}{2} \right) \left( 2 - e^{-\frac{E_1}{E_0 k_0}} \right), \quad (3.3)$$

где  $L_g$  – ширина запрещенной зоны полупроводника;

$k$  – постоянная Больцмана;

$T$  – температура СЭ;  $E_0$  и  $E_1$  – стандартная и заданная мощность солнечного излучения;

$k_0$  – поправочный коэффициент СЭ, принимаемый  $k_0 = 0,6$ .

### Исследование характеристик солнечного модуля

Переносной лабораторный стенд состоит из солнечного модуля DU HAO TECHNOLOGY SOLAR MODULS, светодиодной лампы мощностью 4,5 Вт и блока управления и контроля (Solar Charge Controller 12 V, Auto 10 A). Модуль установлен в верхней (подвижной) части переносного лабораторного стенда, которая может изменять наклон относительно горизонта от 10 до 90°. Изменение мощности

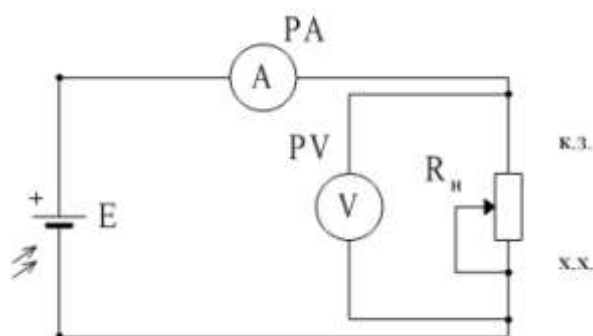


СИ можно также моделировать с помощью изменения угла наклона СМ относительно горизонта с помощью оригинального устройства (рис. 3.5).



*Рисунок 3.5 – Переносной лабораторный стенд*

В ходе исследования режима холостого хода (х.х.) необходимо установить сопротивление нагрузки  $R_{\text{н}}$  в положение (х.х.) (рис. 3.6).



*Рисунок 3.6 – Схема для снятия характеристик солнечного модуля*

В ходе выполнения лабораторной работы необходимо плавно увеличивать выходную мощность СМ путем сокращения расстояния от СМ до светодиодного прожектора (рис. 3.7), снять зависимость  $U_{\text{хх}} = f(E)$ . Результаты исследования занести в таблицу.



*Рисунок 3.7 – Светодиодный прожектор Wolta WFL-100W/06 мощностью 100 Вт*

Далее необходимо снять зависимость величины напряжения холостого хода от угла наклона  $U_{\text{хх}} = f(\varphi)$  при первоначальной облученности солнечного модуля в его вертикальном положении  $E = 500 \text{ Вт/м}^2$ . Затем на стенде устанавливается режим короткого замыкания (замкнуть сопротивление нагрузки) и аналогично снять зависимость величины тока короткого замыкания при той же облученности  $I_{\text{кз}} = f(E)$ .

Для измерения уровня излучения (солнца или от источника искусственного излучения) в лабораторной работе используется портативный автономный пиранометр SL 100 французской фирмы KIMO Instruments (рис. 3.8).

Пиранометр SL 100 осуществляет:

- измерение мощности излучения ( $\text{Вт/м}^2$ );
- измерение и контроль солнечной энергии в  $\text{Вт/м}^2$  (мгновенное, среднее);
- отображение минимальных, максимальных значений излучения;
- расчет энергетического воздействия в  $\text{Вт}\cdot\text{ч/м}^2$  в течение установленного времени записи.



Рисунок 3.8 – Пиранометр KIMO SL 100

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомьтесь с конструкцией и изучите характеристики солнечного модуля.
2. Изучите переносной лабораторный стенд, пиранометр KIMO SL 100 и методику выполнения лабораторной работы на стенде.
3. Снимите вольт-амперные характеристики солнечного модуля.

## Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Схема для снятия характеристик солнечного модуля (рис. 3.6).
3. ВАХ солнечного модуля (таблицы и зависимости).

## Контрольные вопросы

1. Как устроен монокристаллический солнечный элемент?
2. Как устроен солнечный монокристаллический модуль?
3. Как устроена солнечная батарея?
4. Как изменится напряжение на солнечном модуле при уменьшении солнечного излучения?
5. Как изменится  $I_{кз}$  СЭ при уменьшении интенсивности потока солнечного излучения в два раза?
6. Как изменится  $U_{хх}$  СЭ при уменьшении интенсивности потока солнечного излучения в два раза?
7. Как пиранометром SL 100 измерить уровень солнечного излучения и определить значение солнечной энергии за световой день?
8. Как выходная мощность СМ зависит от угла его наклона к горизонту?
9. При каком положении СМ относительно солнца достигается его максимальная мощность?

## Литература

1. Ваш солнечный дом [Электронный ресурс] // Солнечные элементы. – URL: <http://www.solarhome.ru/basics/pv/techsolarpanels.htm> (дата обращения: 10.01.2019).
2. Солнечная энергетика: учеб. пособие / В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова [и др.]; под ред. В.И. Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 276 с.
3. Дебрин, А.С. Обзор солнечных панелей и фотоэлектрических станций отечественных производителей / А.С. Дебрин, А.В. Бастрон, В.Н. Урсегов // Вестник КрасГАУ. – 2018. – № 6. – С. 136–141.
4. Obukhov S.G., Plotnikov I.A., Sheryazov S.K. Methods of effective use of solar power system. 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). Year: 2016. Pages: 1–6. IEEE Conference Publications.

## Работа № 4

### Изучение конструкции и режимов работы фотоэлектрической солнечной электростанции

#### Цель работы

Изучить особенности конструкции фотоэлектрической солнечной электростанции и снять характеристики солнечного модуля.

#### Задания к работе

1. Ознакомиться с особенностями выполнения фотоэлектрической солнечной электростанции.
2. Изучить основные параметры и показатели фотоэлектрической солнечной электростанции.
3. Исследовать основные характеристики солнечного модуля.

#### Общие сведения

Фотоэлектрическая солнечная электростанция (ФСЭС) содержит, кроме солнечной батареи, еще аккумуляторные батареи (АБ), контроллер заряда-разряда (КЗР), инвертор (ИН), являющиеся основными функциональными компонентами (рис. 4.1). АБ является буферным устройством, с одной стороны, сглаживает неравномерное поступление солнечного излучения, с другой – резервным источником питания в случае отсутствия солнечного излучения, в т. ч. в темное время суток.

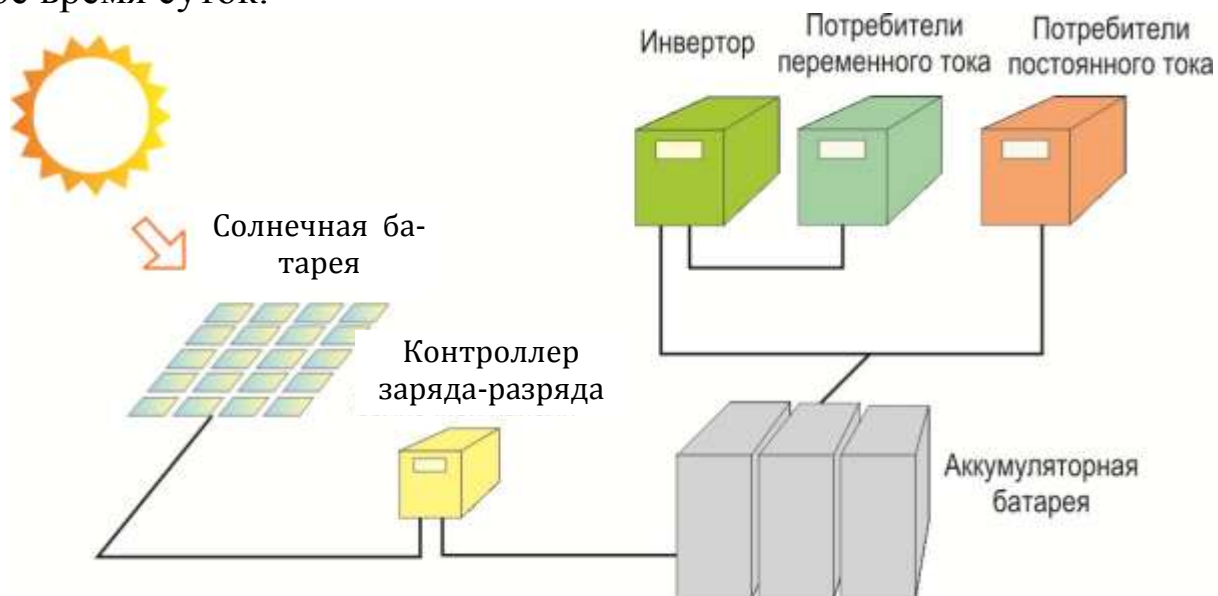


Рисунок 4.1 – Схема ФСЭС

В нормальном режиме, при наличии солнечного излучения, СБ вырабатывает электрическую энергию, которая поступает через зарядное устройство в АБ. Электрическая энергия оттуда поступает в инвертор для преобразования напряжения постоянного тока в напряжение переменного тока. В самом ИН происходит согласование напряжения от АБ с напряжением, необходимым потребителю. При наличии потребителей постоянного тока электроэнергия от АБ напрямую подается электроприемникам.

### **Аккумуляторная батарея**

Качественный сравнительный анализ разных типов АБ представлен на сайте [www.solarhome.ru](http://www.solarhome.ru). В солнечных и автономных системах электроснабжения рекомендуется использовать гелевые АБ глубокого цикла DG (рис. 4.2). Конструкция этих аккумуляторов рассчитана на эксплуатацию в циклическом режиме (см. рис. 4.3).



*Рисунок 4.2 – Гелевый аккумулятор ProSolar RA12-150DG*

Аккумуляторы серии DG имеют следующие преимущества:

- сверхглубокая разрядка (до 50 % глубины разряда);
- большое количество допустимых циклов зарядки–разрядки (минимум 1 100 циклов при 50 % разряде);
- увеличенный срок службы при работе в условиях глубокого цикла (12 лет).

Основные характеристики некоторых гелевых аккумуляторов Pro Solar приведены в таблице 4.1.

### **Контроллер заряда-разряда АБ**

Для контроля за состоянием аккумуляторной батареи часто применяют устройства заряда-разряда, называемые контроллерами. Чтобы защитить батарею от избыточной разрядки, нагрузка должна быть отключена. Для защиты батареи от перезарядки необходимо ограничить зарядный ток.

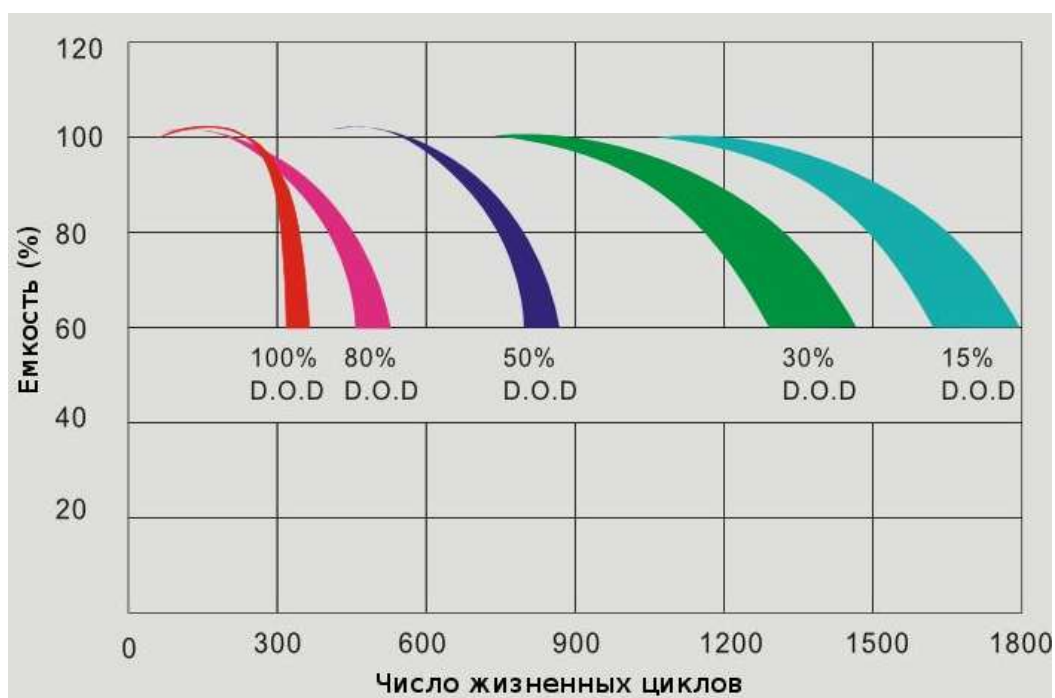


Рисунок 4.3 – Характеристики жизненного цикла гелевой АК ProSolar

Таблица 4.1 – Технические характеристики гелевых аккумуляторов

Модель	Ем- кость, А·ч	Размеры, мм	Вес, кг	Макс. ток раз- ряда, А	Макс. ток за- ряда, А	Внутреннее сопротивление, Ом
RA12-100SDG	100	307x169x210	29,0	1000	20,0	5,0
RA12-120SDG	120	328x172x222	32,0	1200	24,0	5,0
RA12-134DG	134	340x173x280	41,5	1340	26,8	5,0
RA12-150DG	150	483x170x240	44,5	1500	30,0	6,0
RA12-180DG	180	530x209x214	53,0	1800	36,0	6,0
RA12-200DG	200	522x240x219	60,0	2000	40,0	6,0
RA12-230DG	230	521x269x203	67,0	2300	46,0	5,7
RA12-260DG	260	520x269x203	74,0	2600	52,0	8,0

Стоимость контроллера заряда-разряда должна составлять не более 5–10 % от стоимости всей системы. Для защиты АК от избыточной разрядки нагрузка должна быть отключена, когда напряжение

батареи падает ниже допустимого напряжения отключения. Нагрузка не должна включаться, пока напряжение не возрастет до допустимого уровня (напряжения подключения). Все это зависит от конструкции определенных АБ, производственного процесса и срока службы АБ. Для защиты АБ от перезарядки необходимо ограничить зарядный ток по уровню достигнутого напряжения. На практике выбор уровня напряжения окончания заряда или возобновления заряда оптимизируется между обеспечением полного заряда (и усиленного испарения электролита при высоких напряжениях) и недозаряда (предотвращением коррозии электродов и потребления воды – низкие напряжения).

Электрические нагрузки, требующие высокие значения начального тока (например, пусковые токи электродвигателя), могут приводить к кратковременному падению напряжения на батарее ниже напряжения разряда (даже если батарея имеет достаточный заряд). Чтобы предотвратить эту ситуацию, необходимо отключить нагрузку на 3–30 с после достижения порога напряжения отключения нагрузки. В последнее время для такого случая рекомендуются дополнительные аккумуляторы для обеспечения пусковых токов на базе батарей-ионисторов (супермощных конденсаторов).

В контроллерах заряда-разряда предусматриваются следующие виды защиты:

- от короткого замыкания в нагрузке;
- от подключения АБ обратной полярностью;
- температурная компенсация значений пороговых напряжений (это бывает необходимо, если предполагается эксплуатация батарей при температурах ниже минус 10 °С).

В простых контроллерах СБ подключается к аккумулятору напрямую, таким образом напряжение их сравнивается. В реальности же оптимальное напряжение СБ почти всегда отличается от напряжения на аккумуляторе. Типичный 12 В аккумулятор требует для полного заряда поддерживать заряд при 14,4 В в течение 2–4 часов. Эта стадия называется стадией абсорбции (насыщения).

Для увеличения выработки энергии СБ без добавления СМ необходимо использовать контроллер со слежением за точкой максимальной мощности (ТММ) СБ или МРР в английской интерпретации (рис. 4.4). Такой контроллер позволит в большинстве случаев увеличить выработку электроэнергии по сравнению с ШИМ контроллерами.

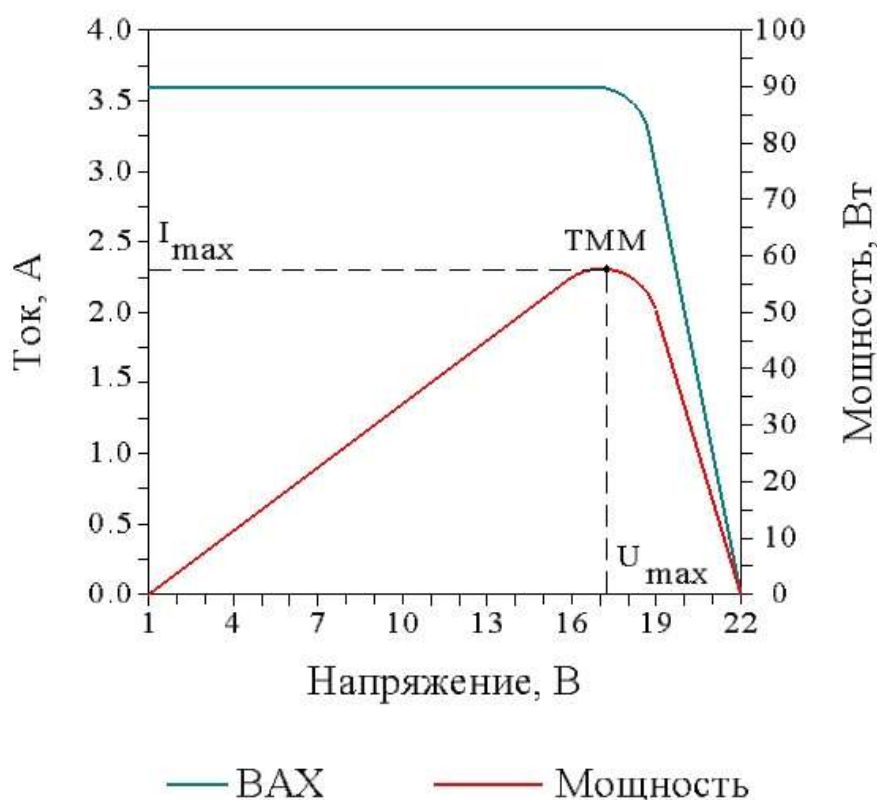


Рисунок 4.4 – Точка максимальной мощности солнечной батареи

### MPPT контроллеры

Типичный MPPT контроллер постоянно отслеживает ток и напряжение на СБ, перемножает их значения и определяет пару ток-напряжение, при которых мощность СБ будет максимальной. Встроенный процессор также следит, на какой стадии заряда находится АБ (наполнение, насыщение, выравнивание, поддержка) и на основании этого определяет, какой ток должен подаваться в аккумуляторы. Одновременно процессор может давать команды на индикацию параметров на табло (при наличии), хранение данных и т. п.

Точка максимальной мощности может вычисляться разными способами. В простейшем случае контроллер последовательно снижает напряжение от точки холостого хода до напряжения на аккумуляторе. Точка максимальной мощности будет находиться где-то в промежутке между этими значениями. Описание различных способов поиска ТММ описано в статье «Принцип работы солнечного контроллера MPPT».

### Инвертор

Инверторы служат для преобразования постоянного тока в переменный ток. Инвертор играет роль блока бесперебойного питания (ББП) при питании от сети, если встроено зарядное устройство для



подзаряда аккумуляторов. При исчезновении напряжения в сети или выходе его значения за установленные пределы ББП автоматически переключается на питание от аккумуляторов.

Инверторы также различаются в зависимости от формы генерируемого напряжения переменного тока имитированной синусоидой или синусоидальными. От синусоидальных инверторов можно питать любую нагрузку переменного тока. Качественный инвертор должен выдавать чистый сигнал с искажениями меньше 3 %, осуществлять двойное преобразование (первое – постоянного тока, второе – переменного), иметь значительный запас по перегрузке и набор защитных функций.

Инверторы могут быть предназначены для автономных систем и для сетевого применения. Главное отличие – в схеме управления. Первый тип имеет генератор частоты, а второй должен работать синхронно с промышленной сетью (в качестве генератора частоты использует саму сеть). Для всех типов основной параметр – КПД (который должен быть более 90 %).

Выходное напряжение автономных инверторов в большинстве случаев составляет 220 В (50/60 Гц), а в инверторах мощностью 10–100 кВт можно получать трехфазное напряжение 380 В. Все автономные инверторы преобразуют постоянный ток аккумуляторных батарей, поэтому входное напряжение выбирается из ряда 12, 24, 48 и 120 В. Чем больше входное напряжение, тем проще инвертор и тем больше его КПД.

Важный параметр автономных инверторов – зависимость КПД от мощности подключенной нагрузки. КПД не должен заметно снижаться при подключении нагрузки в десять раз меньшей, чем номинальная мощность инвертора. В то же время инвертор должен выдерживать перегрузки в выходных цепях (при подключении электродвигателей или других динамичных нагрузках).

В общем случае к автономному инвертору предъявляются следующие требования:

- способность выдерживать перегрузки;
- низкие потери при малых нагрузках и на холостом ходу;
- стабилизация выходного напряжения;
- низкий коэффициент гармоник;
- высокий КПД.

К выходному сигналу сетевых инверторов предъявляются самые жесткие требования. Для уменьшения потерь на преобразование такие

инверторы работают при высоких входных напряжениях (до 1 000 В). Такие инверторы имеют регуляторы отбора максимальной мощности, поскольку входные цепи запитаны непосредственно от СБ. Сетевые инверторы имеют также блок контроля мощности солнечной батареи (и включаются автоматически, как только мощность генератора становится достаточной для формирования переменного сигнала).

Качественный сравнительный обзор различных типов инверторов представлен на сайте [www.solarhome.ru](http://www.solarhome.ru). Рассмотрим наиболее распространенные инверторы Prosolar Combi, которые объединяют в себе функции инвертора, контроллера заряда-разряда АБ от СБ и сетевого зарядного устройства. Встроенный ЖК-дисплей позволяет просматривать и конфигурировать основные параметры ФСЭС. Перегрузочная способность позволяет запускать двигатели (холодильники, насосы, компрессоры, вентиляторы, лазерные принтеры и т. п.), а также питать бытовую нагрузку, компьютеры, электроинструмент и т. п.

Prosolar производятся инверторы с сетевым зарядным устройством и MPPT солнечным контроллером заряда-разряда – модель Prosolar Combi MPPT и инверторы с сетевым зарядным устройством и MPPT солнечным контроллером заряда-разряда увеличенной мощности – модель Prosolar Combi MPPT Plus. Такие инверторы выпускаются на номинальные мощности: 1 000 ВА (800 Вт), 2 000 ВА (1 600 Вт), 3 000 ВА (2 400 Вт), 4 000 ВА (3 200 Вт), 5 000 ВА (4 000 Вт), при этом пиковая потребляемая мощность электроприемниками может достигать двукратной величины. Исчерпывающие технические характеристики указанных инверторов приведены на сайте «Ваш солнечный дом» [www.solarhome.ru](http://www.solarhome.ru).

### **Исследование характеристик солнечного модуля и ФСЭС**

В ходе выполнения лабораторной работы необходимо снять вольт-амперные характеристики солнечного модуля  $I = f(U)$  (рис. 4.2) по методике, изложенной в работе № 3.

Далее необходимо собрать электрическую схему ФСЭС, подключив СМ, аккумулятор и нагрузку (светильник) к соответствующим клеммам блока SHS 1255 (рис. 4.3), и после проверки преподавателем схемы соединений элементов ФСЭС поднести модуль к окну или искусственному источнику излучения (см. работу № 3) и включить нагрузку.

Блок заряда-разряда ФСЭС с контроллером и инвертором SHS 1255 имеет технические характеристики, приведенные в таблице 4.2.



*Рисунок 4.5 – Солнечный модуль*



*Рисунок 4.6 – Блок заряда-разряда  
ФСЭС с контроллером и инвертором  
SHS 1255*

Таблица 4.2 – Технические характеристики блока SHS 1255

Показатель	Значение
Входное напряжение	12 В
Максимальный входной ток	10 А
Инвертор	Синус
Номинальная мощность инвертора	300 Вт
Выходное напряжение (AC)	220 В (две розетки)
Выходное напряжение (DC)	12 В (4 розетки)
Выходное напряжение (USB)	5 В

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомьтесь с основными компонентами солнечных фотоэлектрических установок, их особенностями и назначением.
2. Исследуйте ВАХ СМ.

3. Изучите компоненты предлагаемой в работе конструкции ФЭС.

4. Соберите электрическую схему ФСЭС и исследуйте ее работоспособность.

### **Содержание отчета**

1. Цель работы.

2. Вольт-амперная характеристика СМ.

3. Принципиальная электрическая схема подключений ФСЭС.

### **Контрольные вопросы**

1. Приведите схему автономной системы электроснабжения с использованием солнечной энергии и поясните роль каждого элемента схемы.

2. Прокомментируйте характеристики жизненного цикла гелевой АБ ProSolar, приведенные на рисунке 4.3.

3. Сформулируйте требования к работе блока заряда-разряда аккумуляторной батареи в составе ФЭС.

4. Где на ВАХ СМ находится ТММ и в чем ее роль при работе ФСЭС?

5. Приведите требования к аккумуляторной батарее в составе ФСЭС.

6. Для чего нужен контроллер заряда-разряда аккумуляторной батареи?

7. Назовите основные характеристики инверторов.

8. В каких случаях в схемах ФСЭС используются ионисторы?

9. От каких инверторов можно питать любую нагрузку переменного тока?

10. Как осуществляется защита инвертора, аккумуляторных батарей?

### **Литература**

1. Obukhov S.G., Plotnikov I.A., Sheryazov S.K. Methods of effective use of solar power system. 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). Year: 2016. Pages: 1–6. IEEE Conference Publications.

2. Ваш солнечный дом [Электронный ресурс] // Гелевые аккумуляторы Prosolar-RDG. – URL: <http://www.solarhome.ru/batteries/deercycle/ritar/gel.htm> (дата обращения: 10.01.2019).

3. Ваш солнечный дом [Электронный ресурс] // MPPT контроллеры. – URL: <http://www.solarhome.ru/control/mppt> (дата обращения: 10.01.2019).

4. Солнечные модули из монокристаллического кремния [Электронный ресурс] // СВС-Красноярск: Энергосберегающие технологии и альтернативные источники энергии. – URL: <http://econom24.ru/katalog-oborudovaniya/solnechnaya-energiya-2/solnechnye-paneli/solnechnye-moduli-iz-monokristallicheskogo-kremniya> (дата обращения: 10.01.2019).

5. Ваш солнечный дом [Электронный ресурс] // Общая информация по инверторам. – URL: <http://www.solarhome.ru/equipment/inverter/inverters-sitemap.htm> (дата обращения: 10.01.2019).

6. Ваш солнечный дом [Электронный ресурс] // Инверторы Prosolar Combi. – URL: [http://www.solarhome.ru/inverter/prosolar/ps\\_combi.htm#mppt](http://www.solarhome.ru/inverter/prosolar/ps_combi.htm#mppt) (дата обращения: 10.01.2019).

## Работа № 5

### Расчет систем электроснабжения сельских жилых домов с использованием фотоэлектрических солнечных электростанций

#### Цель работы

Освоить методику расчета системы электроснабжения сельских жилых домов с использованием солнечных фотоэлектрических электростанций (ФСЭС) и уметь осуществлять выбор компонентов ФСЭС.

#### Задания к работе

1. Изучить методику определения расчетной нагрузки ФСЭС.
2. Освоить методику расчета и выбора компонентов ФСЭС.

#### Общие сведения

Система электроснабжения, состоящая из ФСЭС, с подключением к централизованным электрическим сетям, – это лучший вариант для сельского жилого дома, если приоритетом является снижение потребления электроэнергии от электрических сетей, но в то же время без потери преимуществ пользования ими. Однако наиболее эффективными ФСЭС являются там, где электроснабжение потребителей осуществляется от дизельных или бензиновых электростанций. При этом экономическая эффективность ФСЭС зависит в большей степени от уровня солнечного излучения в данной местности.

#### Расчет энергопотребления индивидуального жилого дома

Расчет требуемых параметров и подбор необходимых компонентов ФСЭС следует начинать с предварительного составления списка всех предполагаемых нагрузок с указанием их мощности и среднего времени работы каждой из них в течение суток. Мощность каждого потребителя обычно указывается в паспорте изделия.

Рекомендуется выбрать энергосберегающие электроприемники (так, например, для освещения лучше применять светодиодные лампы). В таблице 5.1 приведено примерное энергопотребление и мощность наиболее распространенных электробытовых приборов.

Таблица 5.1 – Примерное энергопотребление и мощность наиболее распространенных электробытовых приборов

Потребитель	Установленная мощность, $P_{уст}$ , Вт	Кол-во, $n$ , шт.	Время работы в сутки, $t_{сут}$ , ч (мин)	Энергопотребление за сутки, $W_{сут}$ , Вт·ч
Микроволновая печь	1 500	1	30 мин	750
Телевизор	60	1	3 ч	180
Электрочайник	1 500	1	20 мин	500
Электронасос	600	1	30 мин	300
Холодильник «Бирюса 149»	100	1	9,5 ч	950
Музыкальный центр	40	1	2 ч	80
Электрический утюг	1 500	1	30 мин	750
Компьютер	350	1	4 ч	1 400
Электропылесос	700	1	5 мин	58
Энергосберегающая лампа	11	5	3 ч	165
Всего за сутки				5 133 Вт·ч

Следующим шагом будет подсчет общего суточного энергопотребления системы. Мощность каждого из приборов умножается на количество аналогичных приборов (одного типа и мощности) и среднесуточное время работы данного прибора. Сумма полученных произведений в кВт·ч и есть суточное энергопотребление системы.

Аналогично будет выглядеть таблица расчета годового потребления электроэнергии электробытовыми приборами дома (табл. 5.2).

#### **Пример расчета энергопотребления сельского жилого дома**

ФСЭС должна обеспечивать бесперебойное электроснабжение хотя бы минимального набора бытовых потребителей, без которых трудно обойтись цивилизованному человеку. Пусть имеется телевизор мощностью в 60 Вт, работающий 3 часа в сутки, пять светодиодных ламп мощностью 11 Вт каждая, работающих по 3 часа в сутки, и холодильник с суточным энергопотреблением 950 Вт·ч.

Таблица 5.2 – Расчет среднемесячного и годового потребления электроэнергии электробытовыми приборами дома

Оборудование	Р <sub>уст</sub> , Вт	Кол- во, п	Месяц												W <sub>год</sub>
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
			Время работы в месяц, t <sub>мес</sub> , ч												
Освети- тельные приборы															
Нагрева- тельные приборы															
Прочие приборы															

Среднесуточное энергопотребление дома W<sub>сут</sub>, кВт·ч, тогда составит

$$W_{сут} = 60 \cdot 3 + 11 \cdot 5 \cdot 3 + 950 = 1\,295 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 1,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (5.1)$$

Среднемесячное энергопотребление составит 38,85 кВт·ч.

Дальнейший расчет необходимо производить отдельно для нагрузок, использующих постоянный ток, и отдельно для нагрузок переменного тока, поскольку нужно будет учитывать и потери в инверторе, составляющие 5–10 %.

По заданной электрической нагрузке необходимо рассчитать емкость АБ, выбрать емкость и количество аккумуляторов и их тип.

В нашем примере суммарная мощность потребителей равна 1 295 Вт·ч, глубина разряда АБ – 50 %, а номинальное напряжение аккумуляторной батареи U<sub>АБ</sub> равно 12 В.

Расчет емкости АБ производится по формуле

$$E_{АБ} = (W_{сут} \cdot 1000 / U_{АБ}) \cdot 1,2, \quad (5.2)$$

где E<sub>АБ</sub> – емкость 12-вольтовых аккумуляторов, А·ч;

1,2 – коэффициент потери мощности.

Для нашего случая емкость АБ составит

$$E_{АБ} = (1295 / 12) \cdot 1,2 = 129,5 \text{ А} \cdot \text{ч}.$$



Следующий этап – определение мощности инвертора. Мощность инвертора подбирается исходя из суммарной мощности подключенных одновременно электроприборов плюс не менее 25 % запаса мощности. При выборе инвертора необходимо помнить, что некоторые электробытовые приборы в момент пуска потребляют мощность, в несколько раз превышающую паспортную. Так, глубинные насосы в момент запуска потребляют мощность в 3–4 раза, а компрессорный холодильник – в 12 раз большую, чем указано в паспорте. Инверторы обычно выпускаются номинальной мощностью 150, 300, 500, 800, 1 600, 2 400, 3 200, 4 000 Вт и выше (см. работу № 4).

Количество необходимых СМ зависит от размера площадки для размещения модулей, требуемого количества электроэнергии, а также стоимости. Прежде всего нужно определить суммарную мощность СМ, из которых будет состоять ФСЭС. При расчете необходимо учитывать такие факторы, как:

- расположение ФСЭС;
- период использования (зима, лето или круглый год);
- погодные условия, характерные для данной местности;
- наличие деталей, заслоняющих СМ от прямого попадания солнечных лучей (деревьев, строений и т. д.);
- возможность в конкретных условиях оптимальной ориентировки СМ (например, должным образом ориентированные и с максимально удобным наклоном скаты крыш в случае размещения модулей на крыше);
- возможность слежения за солнцем по одной или двум координатам.

При условии, что ФСЭС должна вырабатывать в декабре достаточное количество электроэнергии для электроснабжения ответственных потребителей дома (в это время наименьшее солнечное излучение – см. рис. 2.2), в другие месяцы года ФСЭС будут вырабатываться излишки электроэнергии, которые будут потребляться другими электроприемниками дома.

Реальный КПД СМ в декабре  $\eta_{\text{СМ дек}}$ , о.е., можно определить по выражению

$$\eta_{\text{СМ дек}} = \eta_{\text{СМ}} \cdot P_{\text{ВАХ}} \cdot K_{\text{зап}} / P_{\text{СМ}}, \quad (5.3)$$

где  $\eta_{\text{СМ}}$  – паспортный КПД СМ (при удельной облученности  $СР$  1 000 Вт/м<sup>2</sup>);

$P_{\text{ВАХ}}$  – удельная выходная мощность СМ, определяемая по ВАХ, Вт/м<sup>2</sup>;

$K_{\text{зап}}$  – коэффициент заполнения СЭ площади СМ;

$P_{\text{СМ}}$  – удельная мощность солнечной радиации на поверхности СМ в заданный месяц, Вт/м<sup>2</sup> (для декабря СР на горизонтально установленную ПП составляет 110 Вт/м<sup>2</sup>, а с учетом угла установки ПП, равному широте местности 56 град, – 289 Вт/м<sup>2</sup>) (рис. 1.12).

В настоящее время в России ООО «Хевел» (Новочебоксарск, Чувашия) разработаны солнечные элементы на основе технологии гетероперехода (НПТ), которые совмещают в себе преимущества технологии тонких пленок (микроморфная технология) и технологии фотоэлектрических преобразователей на монокристаллическом кремнии. КПД солнечной ячейки таких модулей превышает 22%, что является одним из самых высоких показателей в серийном производстве в мире. Гетероструктурные СМ, выпускаемые на заводе ООО «Хевел» в Новочебоксарске, представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Технические характеристики гетероструктурных СМ ООО «Хевел»

Тип	270	280	290	300	310
Номинальная мощность, $P_{\text{н}}$ , Вт	270±5	280±5	290±5	300±5	310±5
Напряжение холостого хода, $U_{\text{хх}}$ , В	42,24	42,56	42,94	43,16	43,67
Ток короткого замыкания, $I_{\text{кз}}$ , А	9,03	9,19	9,25	9,29	9,35
Напряжение при максимальной мощности, $U_{\text{н}}$ , В	33,04	33,48	34,14	34,50	35,22
Ток при максимальной мощности, $I_{\text{н}}$ , А	8,21	8,42	8,55	8,61	8,69
КПД <sub>СМ</sub> , не менее %	16,21	16,72	17,32	17,92	18,52
Коэффициент заполнения, $K_{\text{зап}}$ , о.е.	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75

По известному удельному уровню облученности СИ ( $P_{\text{СМ}} = 289$  Вт) Хевел-270 можно определить его максимальную выходную мощность

$P_{\text{вах}}$ . Ток СМ составляет 5,1 А при напряжении 32 В, следовательно, удельная мощность  $P_{\text{ВАХ}}$  составляет 163,3 Вт/м<sup>2</sup>.

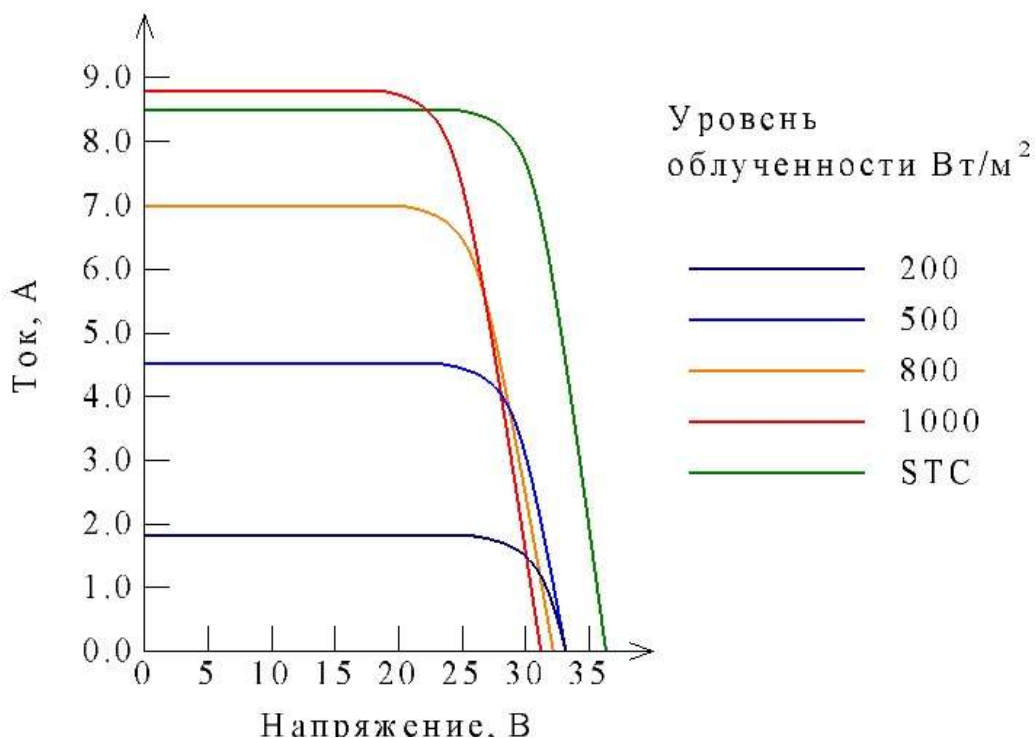


Рисунок 5.1 – ВАХ солнечного модуля

Солнечный модуль имеет габаритные размеры 1671×1002 мм (рис. 5.2), следовательно, его площадь  $A_{\text{СМ}}$  составляет 1,674 м<sup>2</sup>.

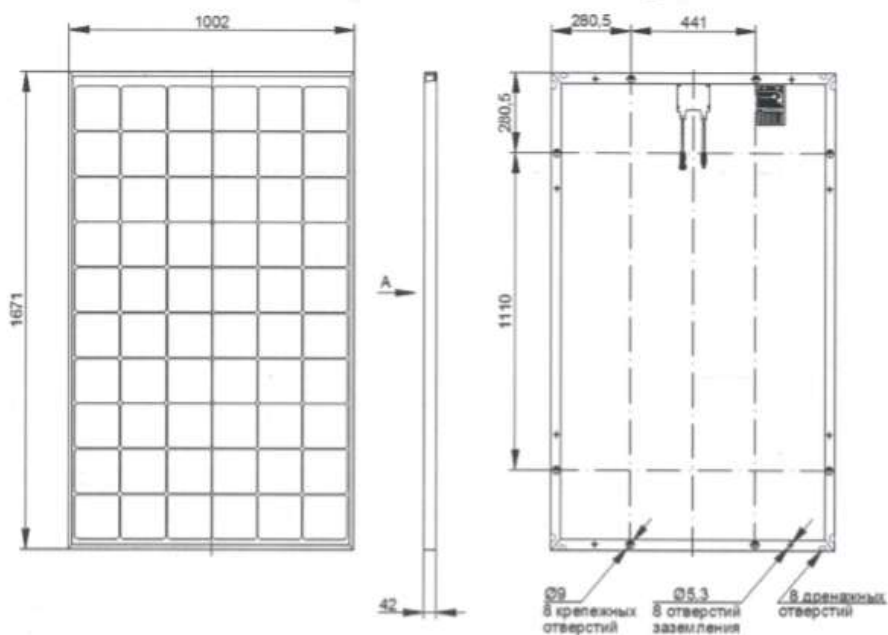


Рисунок 5.2 – Габаритно-установочные размеры СМ «Хевел»

С учетом коэффициента заполнения СМ  $K_{\text{зап}} = 0,71$ , КПД СМ в декабре в условиях Красноярска  $\eta_{\text{СМ дек}}$ , исходя из выражения (5.3), будет равен

$$\eta_{\text{СМ дек}} = 0,1621 \cdot 163,3 \cdot 0,71 / 289 = 0,065 \text{ (или 6,5 \%)}.$$

Выработка электрической энергии СМ в  $i$ -м месяце  $\mathcal{E}_i^{\beta}$ , кВт·ч, может быть определена выражением

$$\mathcal{E}_i = \mathcal{E}_i^{\beta} \cdot k_T \cdot \eta_{\text{СМ}i} \cdot \eta_{\Delta P} \cdot \eta_{\Delta \mathcal{E}}, \quad (5.4)$$

где  $\mathcal{E}_i^{\beta}$  – среднемесячный дневной приход суммарного солнечного излучения на наклоненную под углом  $\beta$  поверхность СМ, кВт·ч/м<sup>2</sup> (рис. 5.2);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий влияние температуры СМ на его КПД;

$\eta_{\text{СМ}i}$  – КПД СМ в  $i$ -м месяце;

$\eta_{\Delta P}$ ,  $\eta_{\Delta \mathcal{E}}$  – соответственно потери мощности, определяемые последовательным соединением элементов в СМ и передачей электроэнергии до потребителя.

Коэффициент  $k_T$ , учитывающий влияние температуры СМ на его КПД, определяется по выражению

$$k_T = 1 - [\alpha (T - T_0)], \quad (5.5)$$

где  $\alpha$  – градиент изменения КПД СМ от изменения температуры;

$T$  – температура окружающей среды для заданного месяца, °С;

$T_0$  – стандартная температура СМ (обычно  $T_0 = 25$  °С).

Для кремниевых солнечных элементов он определяется по выражению

$$\alpha = \eta_{\text{СМ}} / 120, \quad (5.6)$$

где  $\eta_{\text{СМ}}$  – КПД солнечного модуля для расчетных условий (берется максимальное значение).

Для нашего случая, принимая максимальный КПД СМ равным 18,52 %, определим градиент изменения КПД СМ от изменения температуры

$$\alpha = 18,52 / 120 = 0,154.$$

Значения среднемесячной температуры воздуха, °С, на высоте 2 м для г. Красноярска можно принять, используя данные NASA, январь: –20,11; февраль: –17,07; март: –9,29; апрель: –0,52; май: 8,57; июнь: 15,29; июль: 18,74; август: 15,81; сентябрь: 8,29; октябрь: 0,23; ноябрь: –10,14; декабрь: –18,0; средняя за год: –0,68.

Принимая среднюю температуру наружного воздуха в декабре равной –18 °С, рассчитаем коэффициент, учитывающий влияние температуры СМ на его КПД

$$k_T = 1 - [0,154 (-18,0 - 25,0)] = 1,662.$$

Принимая  $\eta_{\Delta P} \cdot \eta_{\Delta \varepsilon} = 0,93$ , удельная выработка электрической энергии СМ для декабря составит

$$\varepsilon_{\text{дек}} = 1,19 \cdot 1,662 \cdot 0,065 \cdot 0,93 = 0,119 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2.$$

Коэффициент использования валового потенциала солнечного излучения  $k_{\text{СИ}}$  определяется отношением полученной выработки электрической энергии солнечного модуля на 1 м<sup>2</sup> СМ к валовому удельному приходу солнечного излучения для каждого месяца.

В данном случае для декабря

$$k_{\text{СИ}} = \varepsilon_{\text{дек}} / \varepsilon_{\text{вал дек}} = 0,119 / 1,19 = 0,1.$$

Зная среднесуточное энергопотребление (в нашем примере 2 400 Вт·ч) и удельную выработку электрической энергии СМ для декабря месяца (в нашем примере 119 Вт·ч/м<sup>2</sup>), легко определить требуемую площадь СБ. В нашем случае она составит 20,16 м<sup>2</sup>.

Поскольку площадь одного СМ  $A_{\text{СМ}}$  составляет 1,674 м<sup>2</sup> (см. рис. 5.2), то для комплектации СБ потребуется 12 ФЭМ «Хевел», технические характеристики которых приведены в таблице 5.3.

Емкость АБ принимают с учетом последовательных в течение месяца пасмурных дней. При практических расчетах фирмы, реализующие оборудование для ФСЭС, рекомендуют выбирать емкость АБ с учетом пасмурной погоды в течение трех суток.

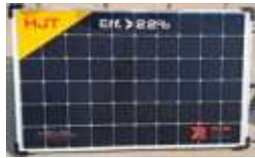


Для нашего примера, емкость АБ, с учетом пасмурной погоды в течение трех суток, составит примерно 390·Ач.

Принимая во внимание оборудование, предлагаемое на сайте «Ваш солнечный дом» [www.solarhome.ru](http://www.solarhome.ru), выбираем комплект оборудования для ФСЭС, представленный в таблице 5.5.

Таблица 5.4 – Среднемесячное солнечное излучение на наклонную приемную площадку,  $\text{Э}^\beta$ , кВт·ч/м<sup>2</sup>

Угол наклона ПП, град.	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Среднее за год
0	0,69	1,6	2,93	4,33	5,37	5,84	5,72	4,55	2,75	1,62	0,84	0,47	3,07
41	1,42	2,68	4,02	4,98	5,36	5,49	5,56	4,87	3,42	2,46	1,59	1,07	3,58
56	1,56	2,84	4,06	4,78	4,92	4,96	5,04	4,58	3,37	2,55	1,73	1,19	3,47
71	1,62	2,84	3,89	4,35	4,35	4,32	4,41	4,12	3,16	2,51	1,77	1,24	3,22
90	1,55	2,63	3,41	3,56	3,38	3,30	3,38	3,30	2,69	2,28	1,68	1,21	2,70
Оптимальный угол, град.	72,0	64,0	51,0	36,0	20,0	11,0	17,0	30,0	44,0	59,0	70,0	75,0	45,6
СИ при оптимальном угле наклона ПП, кВт·ч/м <sup>2</sup>	1,62	2,86	4,07	5,00	5,61	5,92	5,90	4,94	3,42	2,56	1,77	1,25	3,75

Таблица 5.5 – Комплект оборудования для ФСЭС

№ п/п	Вид оборудования, информационный сайт	Техническая характеристика	Общий вид	Количество, шт.
1	Гетероструктурный солнечный модуль HVL 300 <a href="http://www.hevelsolar.com/products/">http://www.hevelsolar.com/products/</a>	24 В, 300 Вт		24
2	Аккумулятор ProSolar RA 12-200DG <a href="http://www.solarhome.ru/batteries/deepcycle/ri-tar/gel.htm">http://www.solarhome.ru/batteries/deepcycle/ri-tar/gel.htm</a>	12 В, 200 А·ч		2
3	Инвертор Combi MPPT 1К-24 со встроенным контроллером заряда-разряда АБ <a href="http://www.prosolar.ru/inventory-prosolar-combi">http://www.prosolar.ru/inventory-prosolar-combi</a>	= 24 В/ ~ 220 В 1 000 ВА / 800 Вт Пиковая мощность 2 000 ВА		1

Поскольку ФСЭС рассчитана на покрытие потребления электрической энергии в декабре, в остальные месяцы, очевидно, ею будут вырабатываться излишки, которые могут пойти на покрытие электропотребления других электроприемников дома. Следует иметь в виду, что ФСЭС в данном случае имеет конфигурацию с максимальным количеством СМ. Соответственно, минимальное количество СМ в составе ФСЭС, вырабатывающей то же количество электрической энергии, как в зимнее время, будет летом.

### **Порядок выполнения работы**

1. Изучите варианты схем электроснабжения сельского жилого дома с использованием ФСЭС.
2. Для автоматизации расчета энергопотребления жилого дома и выбора элементов ФСЭС разработайте программу в MathCad или MS Excel.
3. Рассчитайте электропотребление автономной системы электроснабжения сельского жилого дома по согласованному с преподавателем варианту электрической нагрузки.
4. Подберите состав ФСЭС, включая следующие компоненты: солнечная батарея, контроллер заряда-разряда, устройство слежения за солнцем (трекер), аккумуляторная батарея, инвертор.
5. Рассчитайте ежемесячную выработку электрической энергии ФСЭС.
6. Опираясь на рисунок 4.1, составьте принципиальную электрическую схему ФСЭС.

### **Содержание отчета**

1. Результаты моделирования параметров ФСЭС по варианту, заданному преподавателем, в MathCad или MS Excel.
2. Принципиальная электрическая схема ФСЭС с перечнем элементов.

### **Контрольные вопросы**

1. Из каких компонентов состоит ФСЭС?
2. Как выбирается мощность фотоэлектрической солнечной батареи?
3. Как выбирается мощность ФСЭС?
4. Как выбирается емкость аккумуляторной батареи и отдельного аккумулятора?
5. Как подбираются напряжение и емкость отдельного аккумулятора в составе ФСЭС для электроснабжения дома?
6. Что означает термин «номинальная пиковая мощность солнечной батареи»?
7. Как подключается к ФСЭС нагрузка постоянного тока (светодиодные светильники) и бытовая нагрузка?
8. Особенности параллельной работы ФСЭС с централизованной электрической сетью.



9. Охарактеризуйте гетероструктурный солнечный модуль HVL 300. Как соединить 24 СМ в СБ?
10. Охарактеризуйте аккумулятор ProSolar RA 12-200DG. Как правильно включить два аккумулятора в схему?
11. Охарактеризуйте инвертор Combi MPPT 1К-24. Как организовать трехфазную сеть из трех указанных инверторов?

## Литература

1. Автономные системы электроснабжения [Электронный ресурс] // Solar Home. – URL: <http://www.solarhome.ru/ru/autonom/index.htm> (дата обращения: 10.01.2019).
2. Самые крупные солнечные электростанции в России [Электронный ресурс]. – URL: [https://pikabu.ru/story/samyie\\_krupnyie\\_solnechnyie\\_yelektrostantsii\\_v\\_rossii\\_6424278](https://pikabu.ru/story/samyie_krupnyie_solnechnyie_yelektrostantsii_v_rossii_6424278) (дата обращения: 10.01.2019).
3. Hevelsolar: сайт [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.hevelsolar.com> (дата обращения: 20.01.2019).
4. POWERDATAACCESSVIEWER / NASAPrediction Of-Worldwide Energy Resources [Электронный ресурс]. – URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer> (дата обращения: 10.01.2019).
5. Ваш солнечный дом [Электронный ресурс] // Инверторы Prosolar Combi. – URL: [http://www.solarhome.ru/inverter/prosolar/ps\\_combi.htm#mppt](http://www.solarhome.ru/inverter/prosolar/ps_combi.htm#mppt) (дата обращения: 10.01.2019).
6. Солнечная энергетика: учеб. пособие / В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова [и др.]; под ред. В.И. Виссарионова. – М.: МЭИ, 2008. – 276 с.

## Работа № 6

### Проектирование систем теплоснабжения сельских жилых домов с использованием тепловых насосов

#### Цель работы

Ознакомиться с конструкциями тепловых насосов (ТН) для теплоснабжения сельских жилых домов и освоить методику расчета параметров ТН для теплоснабжения сельских жилых домов.

#### Задания к работе

1. Ознакомиться с разновидностями ТН для теплоснабжения сельских жилых домов.
2. Изучить конструкцию и составные блоки ТН.
3. Освоить методику расчета и выбора компонентов ТН.
4. Освоить навыки проектирования систем теплоснабжения с ТН.
5. По методике и каталогам на продукцию фирмы Viessmann спроектировать тепловой насос для обогрева жилого дома с использованием в качестве низкопотенциального источника тепловой энергии вертикального грунтового теплообменника.

#### Общие сведения

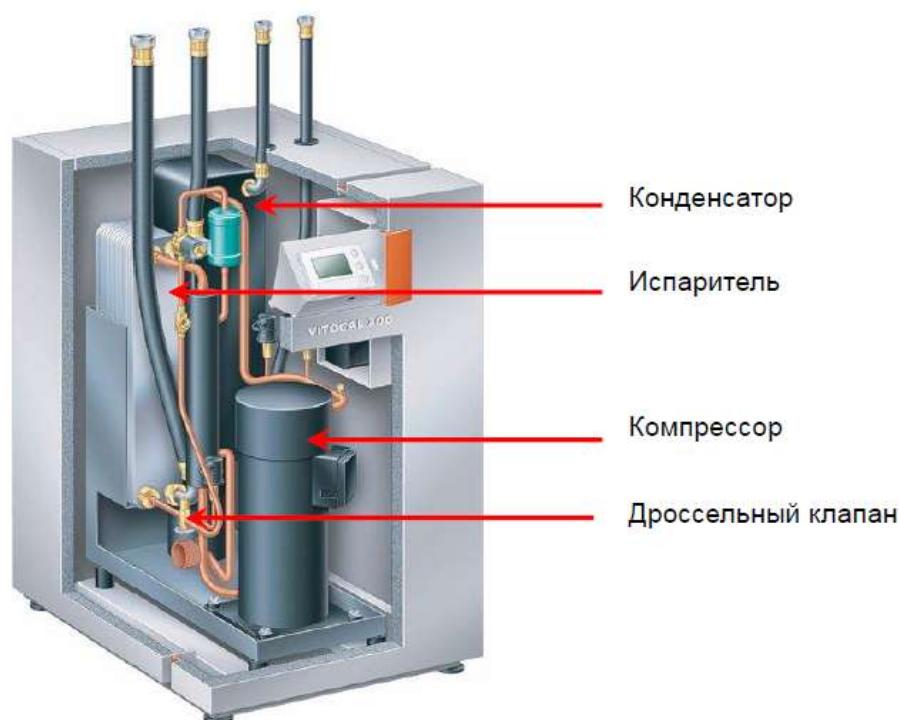
Первые разработки по созданию тепловых насосов (от английского *heat pump*), которые в качестве источника тепловой энергии использовали низкопотенциальную тепловую энергию земли, воздуха, воды, проводились еще в 1852 г. лордом Кельвином. Патент на технологию теплового насоса был выдан в 1912 году в Швейцарии. Дальнейшее свое развитие тепловые насосы получили только в 20–30-х годах XX века, когда в Англии была создана первая установка, предназначенная для отопления и горячего водоснабжения с использованием тепловой энергии окружающего воздуха.

Первый крупный тепловой насос в Европе был введен в действие в Цюрихе в 1938–1939 гг. В нем в качестве источника низкопотенциальной тепловой энергии использовалась речная вода. Тепловой насос обеспечивал отопление ратуши водой с температурой 60 °С при теплопроизводительности 175 кВт. Имелась система аккумулирования тепловой энергии с электронагревателем для покрытия пиковой нагрузки. В летние месяцы установка работала на охлаждение.

После энергетического кризиса 1970-х в Германии резко выросло число установленных тепловых насосов. Падение цен на энергоно-

сители и технические проблемы привели в 1985–1993 гг. к падению спроса на эти системы. В настоящее время технические проблемы решены, системы работают надежно, их мощность повысилась. Начиная с 1993 г., число установленных тепловых насосов снова растет. В 2000 г. в Германии было установлено около 5 700 тепловых насосов, 94 % из них – в новостройках. Они составляют в Германии около 2 % всех домашних отопительных систем. В Швейцарии этот показатель превышает 30 %. Большое распространение в странах Европы, мира, а в настоящее время и России, включая Сибирь, получили тепловые насосы Vitocal производства Viessmann (Германия).

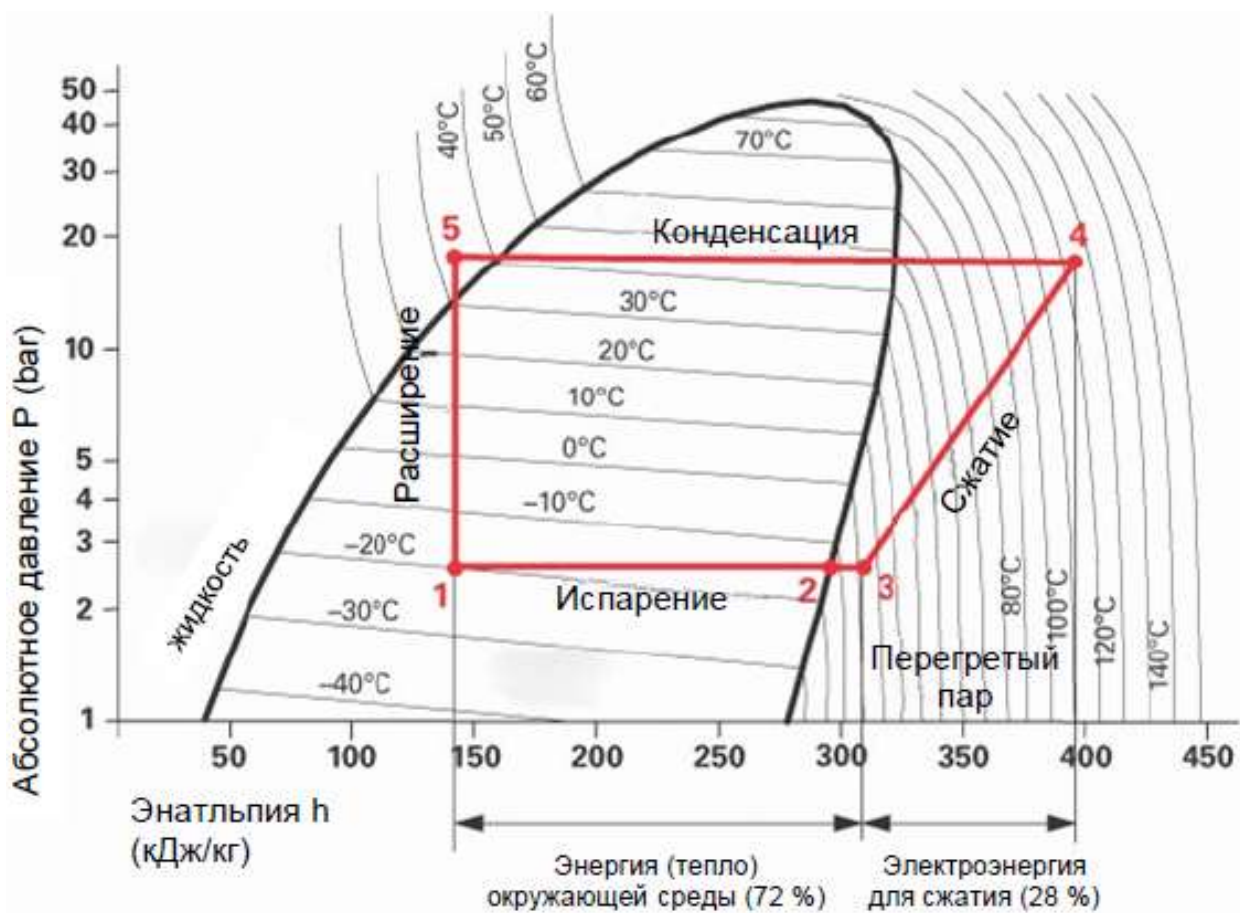
Тепловой насос включает в себя компрессор, испаритель, конденсатор, дроссельный клапан (рис. 6.1).



*Рисунок 6.1 – Основные элементы конструкции теплового насоса Vitocal*

Цикл работы ТН, который характеризует его принцип действия, показан на рисунке 6.2. Жидкий рабочий агент (хладагент R 407 C) поступает в испаритель (рис. 6.3), где происходит его испарение за счет подвода низкотемпературной тепловой энергии среды. Пар сжимается компрессором до давления, которому соответствует более высокая температура насыщения и поступает в конденсатор, где конденсируется и отдает тепловую энергию потребителю (теплоносителю системы отопления жилого дома). После охлаждения в теплооб-

меннике производится снижение давления конденсата в дросселе (расширительном клапане) со снижением его температуры до исходных параметров и цикл повторяется.



— Одноступенчатый тепловой насос, Тип AW: A -15°C/W 45 °C

- 1 – 2 Испарение
- 2 – 3 Перегрев
- 3 – 4 Сжатие
- 4 – 5 Конденсация
- 5 – 1 Расширение

Рисунок 6.2 – Цикл работы теплонасосной установки Vitocal

Таким образом, электрическая энергия расходуется на электропривод компрессора (сжатие, рис. 6.2), а выделяется в виде тепловой энергии на конденсаторе при конденсации пара.

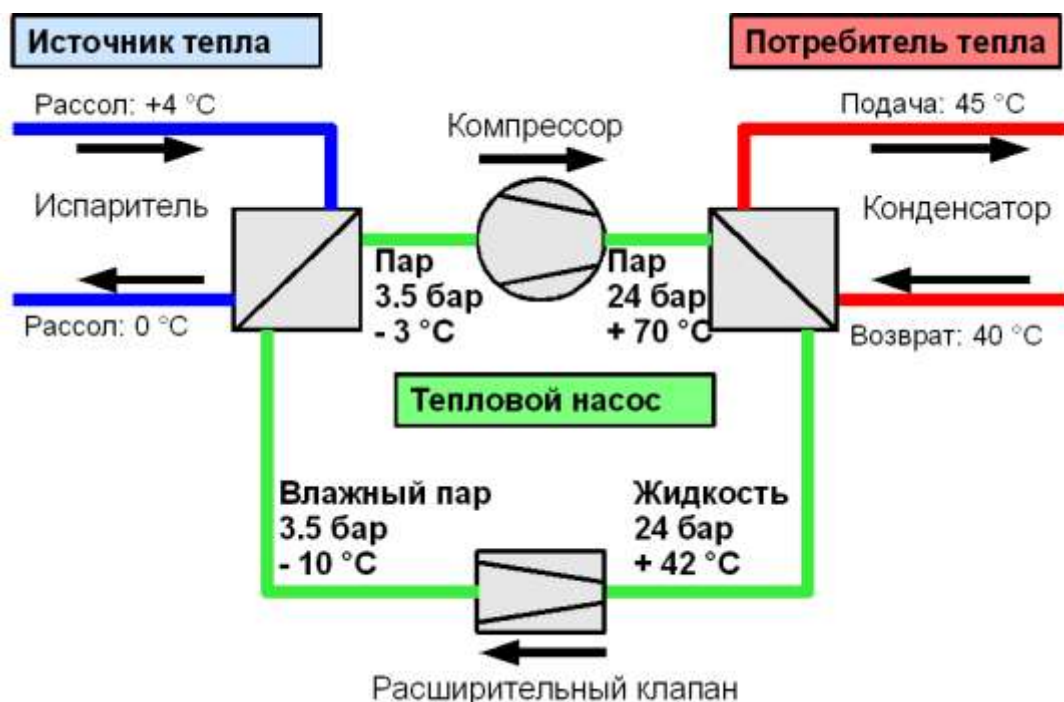


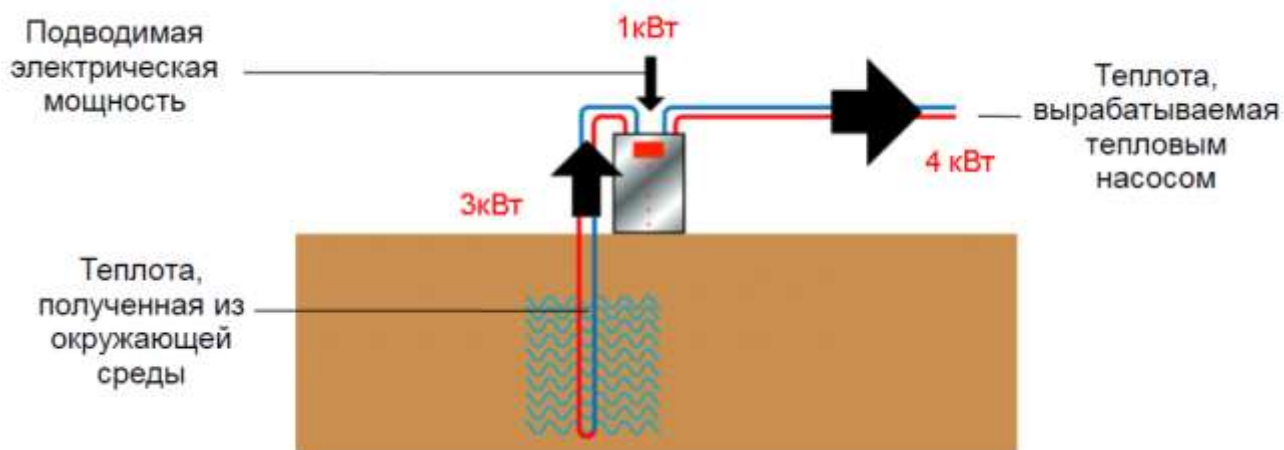
Рисунок 6.3 – Принцип действия теплового насоса «жидкость – жидкость»

Тепловой насос характеризуется следующими параметрами: тепловой мощностью  $Q_{кон}$  (тепловой энергией, выделяющейся при конденсации пара рабочего вещества в конденсаторе в единицу времени); холодильной мощностью  $Q_{исп}$  (тепловой энергией, передаваемой рабочему веществу при его испарении в испарителе в единицу времени); мощностью  $P_{ком}$ , затрачиваемой на перекачивание рабочего вещества, и коэффициентом преобразования энергии  $\mu_{ТНУ}$ .

Энергетическая эффективность ТНУ оценивается коэффициентом преобразования, который есть отношение полученной тепловой мощности в конденсаторе в единицу времени к затраченной мощности  $P_{ком}$  на привод компрессора

$$\mu_{ТНУ} = Q_{кон} / P_{ком}. \quad (6.1)$$

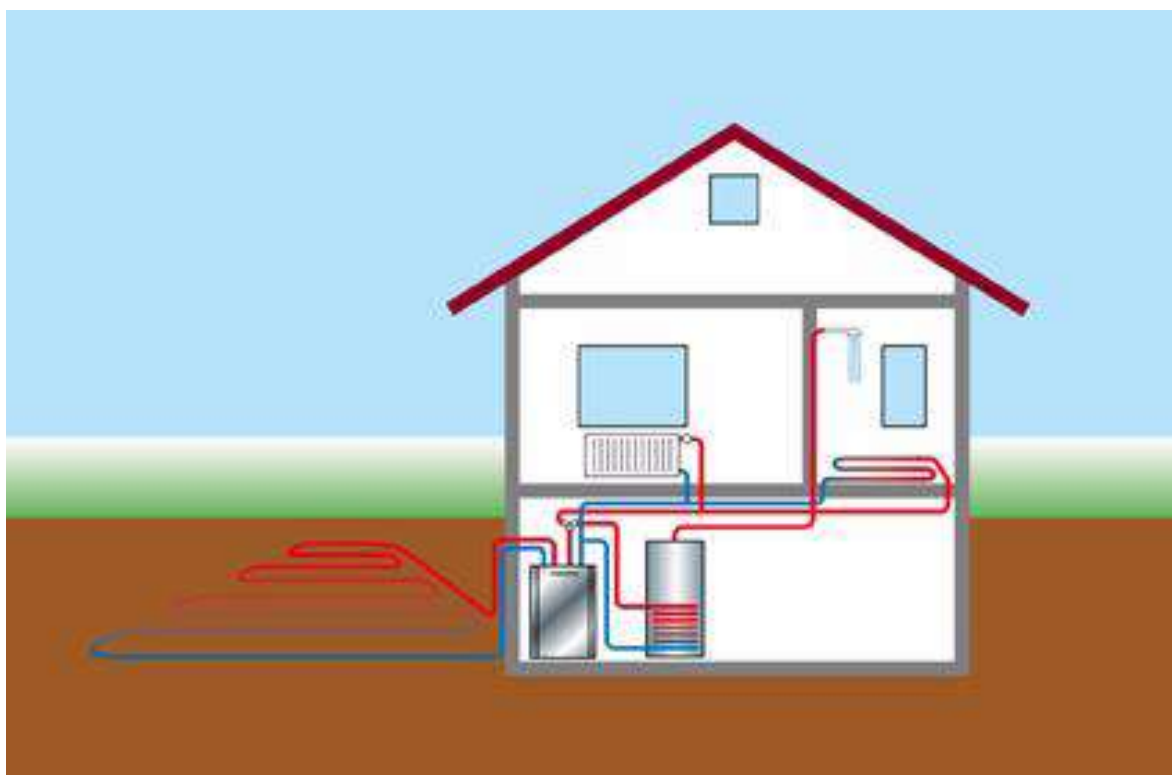
Коэффициент преобразования больше единицы, он тем выше, чем меньше величина дополнительной энергии, затраченной в компрессоре. Обычно он равен 2–4, т. е. на 1 кВт·ч затрачиваемой на электропривод компрессора энергии может быть получено 2–4 кВт·ч тепловой энергии за счет использования низкопотенциального источника энергии (рис. 6.4).



*Рисунок 6.4 – Графическое представление коэффициента преобразования теплового насоса*

В качестве низкопотенциального источника тепловой энергии может выступать грунт (рис. 6.5).

Горизонтальный грунтовый теплообменник (иначе грунтовый коллектор) в европейских странах выполняют ниже глубины промерзания грунта: на глубине 0,8–1,5 м.



*Рисунок 6.5 – Тепловой насос «жидкость – жидкость» системы обогрева индивидуального жилого дома с горизонтальным грунтовым теплообменником*

Тепловая мощность  $Q_{кон}$  ТН выбирается исходя из теплопотерь обогреваемого здания. Если в расчетах принималась наружная температура холодной пятидневки (для г. Красноярска  $-41\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), тогда не потребуется доводчик, но тепловой насос будет работать в повторно-кратковременном режиме и в системе обогрева потребуется аккумуляторная емкость. В случае использования доводчика (например, электронагревателя), расчетная наружная температура может быть снижена до значений  $-20\dots-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Мощность системы обогрева будет складываться из мощности, потребляемой электродвигателем привода компрессора из сети и холодопроизводительности ТНУ  $Q_{исп}$ .

Площадь горизонтального грунтового теплообменника,  $S$ ,  $\text{м}^2$ , может быть определена, если известна удельная мощность, отбираемая из грунтового теплообменника ТН «жидкость – жидкость»,  $Q_{уд}$ ,  $\text{Вт}/\text{м}^2$  (табл. 6.1):

$$S = Q_{исп}/Q_{уд}. \quad (6.2)$$

Таблица 6.1 – Удельная мощность, отбираемая из горизонтального грунтового теплообменника тепловым насосом «жидкость – жидкость»

Тип грунта	Отбираемая мощность,* $\text{Вт}/\text{м}^2$
Сухой песчаный грунт	10 ...15
Влажный песчаный грунт	15 ...20
Сухой глинистый грунт	20 ...25
Влажный глинистый грунт	25 ...30
Почва с грунтовыми водами	30 ...35

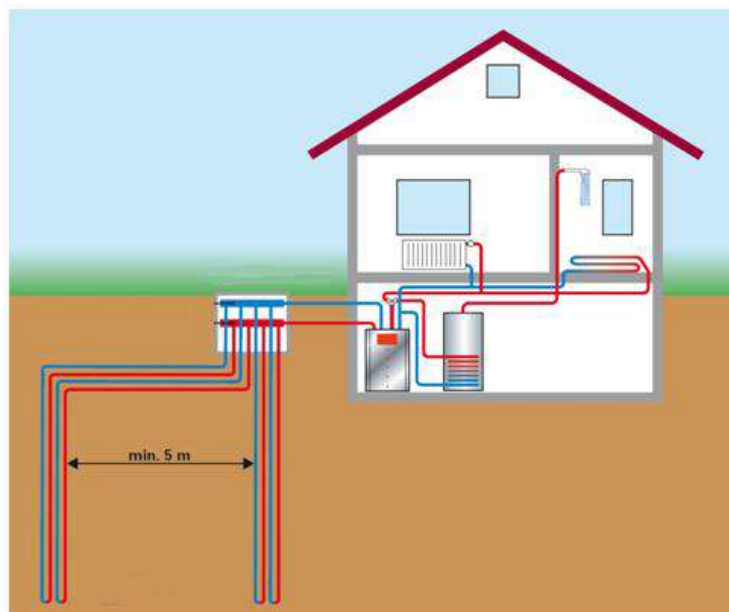
\*Ориентировочные значения из инструкции по проектированию тепловых насосов (VDI 4640)

В связи с тем, что глубина промерзания грунта в Сибири порой превышает 2 м, использование горизонтального грунтового теплообменника в ТН для обогрева индивидуальных жилых домов весьма проблематично (рис. 6.6).



*Рисунок 6.6 – Пример монтажа горизонтального грунтового теплообменника на глубине 1,5 м при строительстве нового здания*

В Швейцарии, а также в скандинавских странах (Швеция, Финляндия), чаще используют вертикальный грунтовый теплообменник (иначе, грунтовый зонд) (рис. 6.7).



*Рисунок 6.7 – Тепловой насос «жидкость – жидкость» системы обогрева индивидуального жилого дома с вертикальным грунтовым теплообменником*



Использование вертикальных грунтовых теплообменников распространено в скандинавских странах и Швейцарии, с относительно холодным климатом и большой глубиной промерзания грунта, поскольку в течение года на глубине 15–20 м не происходит существенных изменений температуры (рис. 6.8).

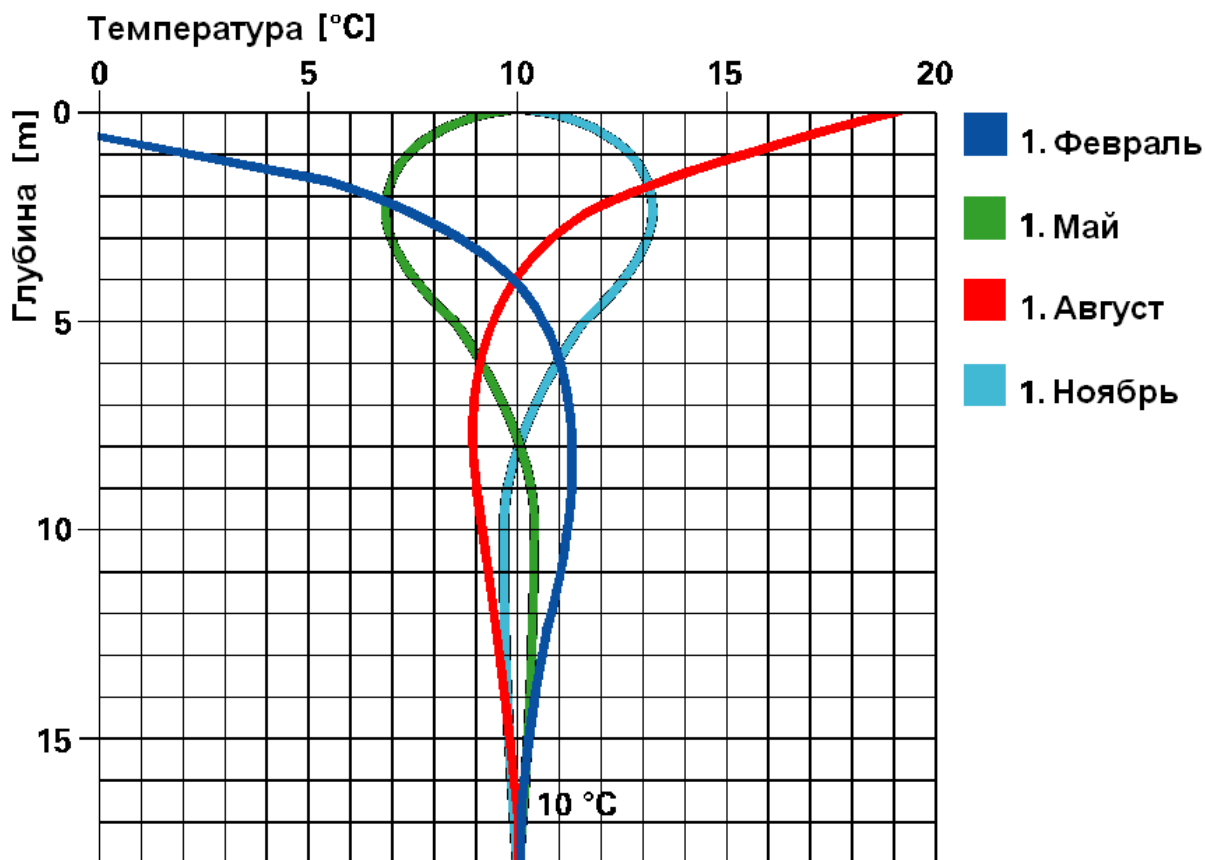


Рисунок 6.8 – Годовое изменение температуры в толще грунта

Мощность системы обогрева будет складываться, как и в предыдущем случае, из мощности, потребляемой электродвигателем привода компрессора из сети и холодопроизводительности ТН  $Q_{исп}$ .

В данном случае общая длина труб вертикального грунтового теплообменника,  $L$ , м, может быть определена, если известна удельная мощность, отбираемая с погонного метра грунтового теплообменника тепловым насосом «жидкость – жидкость»,  $Q_{уд}$ , Вт/м (табл. 6.2)

$$L = Q_{исп} / Q_{уд}. \quad (6.3)$$

Таблица 6.2 – Удельная мощность, отбираемая из вертикального грунтового теплообменника ТН «жидкость – жидкость»

Грунт	Удельный отбор мощности, Вт/м
<b>Общие нормативные показатели</b>	
Плохой грунт (сухая осадочная порода) ( $\lambda < 1,5$ Вт/м·К)	20
Нормальная твердая порода и насыщенная водой осадочная порода ( $\lambda < 1,5 - 3,0$ Вт/м·К)	50
Твердая каменная порода с высокой теплопроводностью ( $\lambda < 3,0$ Вт/м·К)	70
<b>Отдельные породы</b>	
Галька, сухой песок	< 20
Галька, влажный песок	55–65
Влажная глина, суглинок	30–40
Известняк (массивный)	45–60
Песчаник	55–65
Кислые магматические породы (например, гранит)	55–70
Щелочные магматические породы (например, базальт)	35–55

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомьтесь с конструкциями ТН для теплоснабжения индивидуальных жилых домов.

2. По методикам [2, 3] и каталогам [4, 5] на продукцию фирмы Viessmann спроектируйте ТН для обогрева индивидуального сельского жилого дома с использованием в качестве низкопотенциального источника тепловой энергии вертикального грунтового теплообменника. Исходные данные задаются преподавателем.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие типы тепловых насосов существуют?
2. Перечислите основные элементы конструкции ТН.
3. Опишите цикл работы теплового насоса.
4. Опишите формулу коэффициента преобразования ТН.
5. Какова глубина промерзания грунта в Сибири?
6. Какова наружная температура холодной пятидневки для Красноярска?

7. Приведите достоинства ТН «вода – вода» относительно ТН «воздух – вода».
8. Когда коэффициент преобразования больше: при использовании проточной воды или влажного глинистого грунта?
9. Какой грунтовый теплообменник эффективней: горизонтальный или вертикальный?
10. Начиная с какой глубины грунта температура не меняется?

## Литература

1. Viessmann в России. Тепловые насосы Vitocal [Электронный ресурс] // ViessmannWerke. – 2006. – 77 с. – URL: <http://www.viessmann.ru> (дата обращения: 10.01.2018).
2. Тепловые насосы от 5,6 до 58,9 кВт [Электронный ресурс] // Viessmann. Climatofinnovation. – URL: <http://www.viessmann.ru> (дата обращения: 10.01.2018).
3. Руководство по проектированию тепловых насосов [Электронный ресурс] // Viessmann. Climatofinnovation. ViessmannWerke, Allendorf (Eder). 2011. – 124 с. – URL: <http://www.viessmann.ru> (дата обращения: 10.01.2018).
4. Инструкция по проектированию. VITOCAL. Рассольно-водяные и водо-водяные тепловые насосы 1- и 2-ступенчатые, от 5,8 до 117,8 кВт [Электронный ресурс] // Viessmann Group ООО «Виссманн». – М., 2011. – 148 с. – URL: <http://www.viessmann.ru> (дата обращения: 10.01.2018).
5. Отопление природным теплом. Тепловой насос Vitocal 300 G [Электронный ресурс] // Viessmann. Climatofinnovation. – URL: <http://www.viessmann.ru> (дата обращения: 10.01.2018).
6. Sheryazov S.K., Ptashkina-Girina O.S. Increasing power supply efficiency by using renewable sources. 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing. ICIEAM. 2016. Pages: 1–4. IEEE Conference Publications.
7. Шерьязов, С.К. Использование возобновляемых источников энергии в сельском хозяйстве: учеб. пособие / С.К. Шерьязов, О.С. Пташкина-Гирина; ЧГАА. – Челябинск, 2013. – 280 с.

## Работа № 7

### Изучение систем теплоснабжения сельских жилых домов с использованием пеллетных котлов

#### Цель работы

Ознакомиться с конструкциями пеллетных котлов для теплоснабжения сельских жилых домов и по каталогам подобрать пеллетный котел для обогрева дома.

#### Задания к работе

1. Ознакомиться с разновидностями пеллетных котлов ZOTA для теплоснабжения сельских жилых домов.
2. Изучить конструкцию пеллетных котлов.
3. Рассчитать расход и стоимость пеллет за отопительный период систем обогрева и горячего водоснабжения индивидуального сельского жилого дома.
4. По каталогам на продукцию фирмы ZOTA подобрать пеллетный котел для системы обогрева жилого дома, рассчитать расход и стоимость пеллет за отопительный период.

#### Общие сведения

Древесные топливные гранулы (пеллеты) – это цилиндрические спрессованные отходы деревообработки (опилки и стружка хвойных пород дерева) (рис. 7.1). Процесс формирования пеллет происходит под давлением около 300 атм, без каких-либо добавок и клея. Длина гранул в среднем имеет от 10 до 30 мм в длину и от 6 до 10 мм в диаметре. Теплотворная способность топливных древесных гранул составляет около 5 кВт·ч (4 300 ккал/ч), что сравнимо с углем.



*Рисунок 7.1 – Пеллеты премиум-класса*

При сжигании 1 тонны гранул выделяется столько же энергии, как при сжигании 480 куб. метров газа, 500 л дизельного топлива или

700 л мазута. При этом древесные гранулы намного экологичнее вышеуказанных традиционных видов топлива, при сжигании пеллет: от 10 до 50 раз ниже эмиссия углекислого газа, от 15 до 20 раз меньше золы, практически полностью отсутствуют выбросы серы.

В Европе гранулированное топливо используется, как для производства тепла большими районными котельными, так и для отопления отдельных домов. На крупных котельных в уголь добавляют древесные топливные гранулы, что позволяет значительно снизить вредные выбросы в атмосферу.

В целом древесные топливные гранулы предназначены для использования:

- в котлах и каминах для отопления частных домов;
- котельными жилищно-коммунального хозяйства;
- в системах комбинированного производства тепла и электроэнергии (КПТЭ) для тепло- и энергоснабжения;
- локализации и удаления жидких продуктов в аварийных ситуациях.

### **Классификация гранул**

Гранулы можно изготавливать как из чистой древесины, так и из древесины в смеси с корой. И те, и другие имеют свою стоимость и востребованы на рынке. Гранулы с низким содержанием коры до 0,5 % имеют самый низкий процент зольности, считаются продуктом высокого качества, наиболее экологически чистым и идут в основном на отопление частных домов.

При производстве промышленных гранул допускается наличие коры до 10 % от общего объема перерабатываемого сырья. Эти гранулы используются при производстве тепла в больших и средних тепловых установках.

**Исходное сырье** – отходы деревообрабатывающих производств, низкотоварная древесина, баланс и т. д. Создание производства топливных древесных гранул имеет смысл, если постоянно имеется достаточное количество отходов. Идеальным вариантом является сочетание лесопильного производства и линии по производству гранул.

Сырьем для гранулирования являются стружки и опилки влажностью не более 12 %, фракцией 1,5–5 мм.

**Котел пеллетный** (далее – котел) с водяным контуром и шнековым механизмом подачи топлива, предназначен для теплоснабжения индивидуальных жилых домов и зданий коммунально-бытового

назначения, оборудованных системой водяного отопления с принудительной циркуляцией.

Процесс горения пеллет в пеллетном котле показан на рисунке 7.2.



*Рисунок 7.2 – Процесс горения пеллет в пеллетном котле*

Котел должен устанавливаться в закрытом помещении, оборудованном приточно-вытяжной вентиляцией. Котел поставляется с заводскими настройками, которые обеспечивают эффективное сгорание пеллет. Котел снабжен системой автоматического розжига и позволяет управлять циркуляционным насосом контура отопления, рециркуляции, горячего водоснабжения. К котлу можно подключить до двух трехходовых клапанов для управления дополнительными контурами.

Технические характеристики пеллетных котлов, выпускаемых заводом отопительной техники и автоматики ZOTA (г. Красноярск), представлены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Технические данные pelletных котлов ZOTA

№ п/п	Показатель	ZOTA Pellet 25 a	ZOTA Pellet 40 a	ZOTA Pellet 63 a	ZOTA Pellet 100 a
1	Номинальная тепловая мощность, кВт	25	40	63	100
2	Коэффициент полезного действия, %	90			
3	Рабочее давление воды в котле, МПа (кг/см <sup>2</sup> ), не более	0,3 (3,0)			
4	Рабочий объем воды в котле, л, не менее	84	130	214	277
5	Температура воды в котле, °С, не более	95			
6	Объем камеры сгорания, л	87	126	153	214
7	Объем бункера, л (кг)	293 (190)	293 (190)	606 (394)	606 (394)
8	Габаритные размеры котла, мм				
	– длина	1 057	1 215	1 402	1 522
	– ширина	1 230	1 280	1500	1 500
	– высота	1 416	1 530	1 590	1 682
9	Масса котла в комплекте, кг, не более	357	490	677	829
10	Ориентировочная отопляемая площадь, м <sup>2</sup> , при высоте потолка 2,7 м	250	400	630	1 000
11	Ориентировочный расход топлива, кг/сут (при работе котла 10 ч/сутки и номинальной теплопроизводительности:				
	– pellet (при $Q_n^p = 16$ МДж/кг)	60	100	160	250
	– дров (при $Q_n^p = 12$ МДж/кг)	85	130	210	330
12	Время работы котла при полном бункере и номинальной мощности, ч	30	19	25	16
13	Максимальная потребляемая мощность, кВт (при автоматическом розжиге и напряжении сети ~ 220 В)	0,6			

### Устройство и принцип действия pelletного котла ZOTA

Общий вид pelletного котла ZOTA Pellet представлен на рисунке 7.3. Pelletный котел в сборе (рис. 7.4) состоит из котла отопительного, pelletной горелки с приводом, бункера (с возможностью установки на него дополнительной секции для увеличения его объема) и пульта управления.



Рисунок 7.3 – Общий вид пеллетного котла ZOTA Pellet

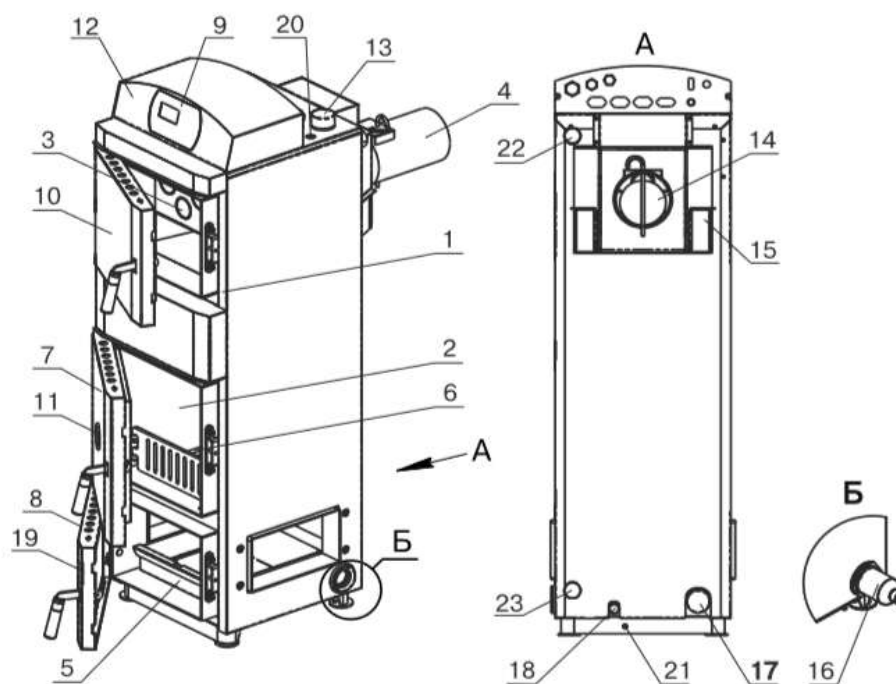


Рисунок 7.4 – Конструкция котла ZOTA Pellet:

- 1 – корпус котла; 2 – топка; 3 – газоход; 4 – дымовой патрубок; 5 – зольник;  
 6 – колосники; 7 – дверца загрузочная; 8 – дверца зольника; 9 – передняя панель;  
 10 – дверца прочистная; 11 – жаростойкое стекло; 12 – пульт управления;  
 13 – патрубок подающий; 14 – заслонка дымохода; 15 – крышка прочистная;  
 16 – блок ТЭН (дополнительный комплект); 17 – патрубок обратный;  
 18 – сливной патрубок; 19 – заслонка воздушная; 20 – гильза датчика ПУ;  
 21 – болт заземления; 22 – патрубок рециркуляции (подающий); 23 – патрубок рециркуляции (обратный)



Котел отопительный (рис. 7.4) состоит из сварного корпуса 1, топки 2 конвективного газохода 3 и дымового патрубка 4. В нижней части топки устанавливаются зольник 5 и колосники 6. Колосники устанавливаются только при топке дровами или брикетами. В передней стенке корпуса котла на осях присоединяется загрузочная дверца 7 для доступа в топку, дверца зольника 8 для удаления золы из зольного ящика и прочистная дверца 10 для чистки теплообменных поверхностей. Газоходы чистят при помощи специального ерша с ручкой при открытой прочистной дверце 10.

В нижней части котла (рис. 7.4) вместо заглушки может вворачиваться блок ТЭН 16 мощностью от 3 до 12 кВт и подключаться к трехфазной электросети ~ 3N, 380 В, 50 Гц через пульт управления ПУ ЭВТ-И1. Блоки ТЭН мощностью до 9 кВт можно подключать к однофазной электросети напряжением ~220 В. При подключении блока ТЭН необходимо учитывать, что сеть электропитания должна быть рассчитана на указанные нагрузки. Датчик температуры пульта ПУ ЭВТ-И1 необходимо установить в гильзу 20 (рис. 7.4).

На задней части котла имеется патрубок обратной воды 17, патрубок слива воды из котла 18 и патрубки для присоединения насоса рециркуляции 22 и 23.

Пеллетная горелка с приводом (рис. 7.5) служит для автоматической подачи и горения пеллет в топке котла. Пеллеты из бункера шнековым приводом 2, приводимым в действие от электродвигателя 3, подаются в чашу горелки 4 и при вращении ворошителя 7 равномерно распределяются по тарелке 8. Подача пеллет осуществляется двумя шнеками с разрывом между ними, что обеспечивает пожаробезопасность и не позволяет проникать огню в бункер. Для сгорания пеллет в зону горения через отверстия в тарелке и через трубки вторичного воздуха 6 подается воздух при помощи вентилятора 10. Для автоматического розжига пеллет при пуске котла в чаше имеется нагревательный элемент 5.

Котел снабжен автоматикой для поддержания установленной температуры теплоносителя и системой безопасности от перегрева котла. Режим работы котла устанавливается на панели пульта управления. Заводские настройки пульта управления обеспечивают эффективное сгорание пеллет. Расположение органов управления и индикации на передней панели пульта управления показано на рисунке 7.6.

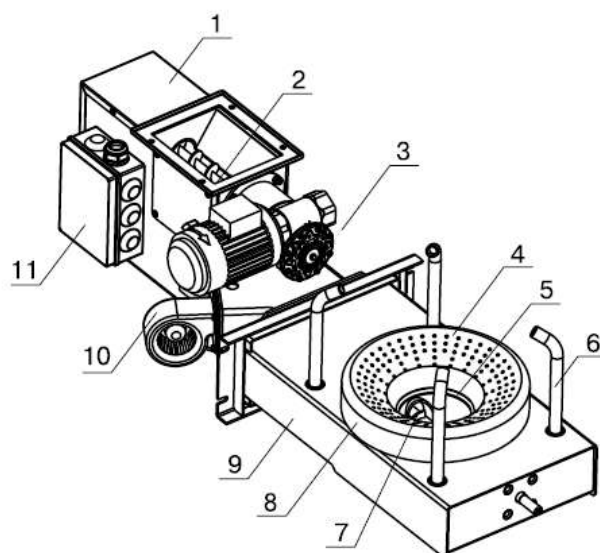


Рисунок 7.5 – Пеллетная горелка с приводом:

1 – корпус привода; 2 – шнековый механизм; 3 – электродвигатель; 4 – чаша;  
 5 – нагревательный элемент; 6 – трубки подачи вторичного воздуха;  
 7 – ворошитель; 8 – тарелка; 9 – корпус горелки; 10 – электроventильатор;  
 11 – коробка распределительная

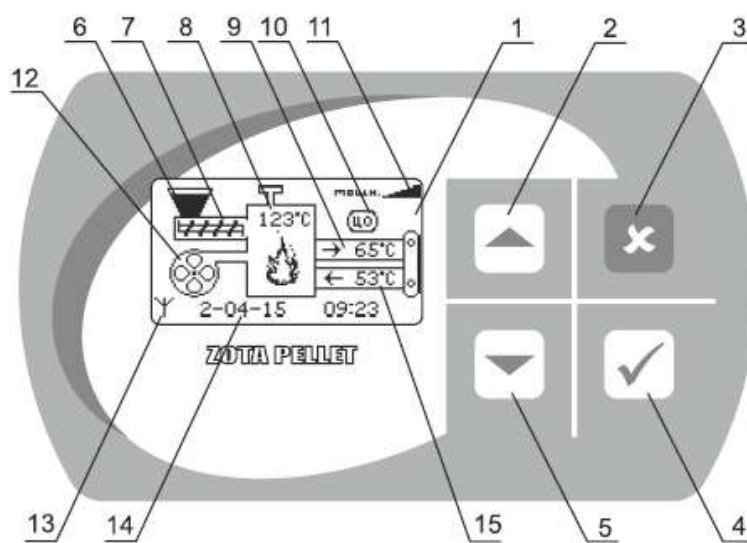
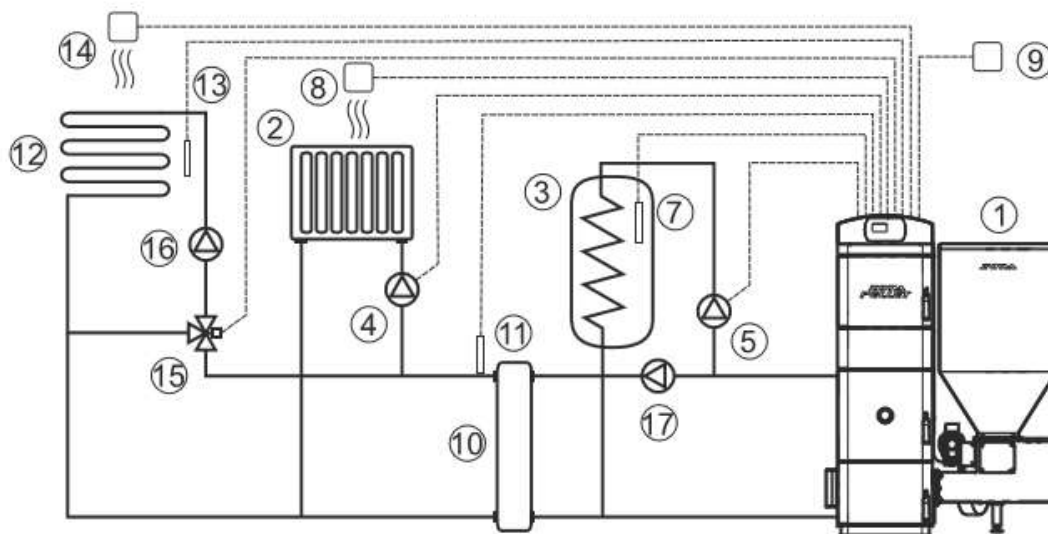


Рисунок 7.6 – Расположение органов управления и индикации на передней панели пульта:

1 – жидкокристаллический дисплей; 2 – кнопка перемещения по меню вверх;  
 3 – кнопка отмены действия; 4 – кнопка ввода режимов работы; 5 – кнопка перемещения по меню вниз;  
 6 – индикация заполнения бункера; 7 – индикация работы привода шнека; 8 – температура дымовых газов; 9 – температура воды на подающем трубопроводе; 10 – режим работы котла; 11 – текущая мощность котла; 12 – индикация работы вентилятора; 13 – индикатор работы модуля GSM; 14 – текущие время и дата; 15 – температура обратной воды

В котел имеется возможность установить дополнительный модуль управления Zota GSM-Pellet/Стаханов, который позволяет контролировать режимы горения, изменять текущую мощность котла, температуру теплоносителя, воздуха в помещении, получать информацию о низком уровне пеллет в бункере, об отключении электроэнергии, перегреве теплоносителя, низкой температуре теплоносителя, высокой температуре уходящих газов с помощью мобильного телефона. Модуль-GSM не входит в комплект поставки и приобретается отдельно.



*Рисунок 7.7 – Схема подключения котла с гидроразделителем, контурами ГВС и теплого пола:*

*1 – пеллетный котел; 2 – отопительные приборы; 3 – бак водонагревателя ГВС; 4 – насос контура отопления; 5 – насос контура ГВС; 6 – насос контура рециркуляции; 7 – датчик температуры ГВС; 8 – датчик температуры воздуха отапливаемого помещения; 9 – датчик температуры уличного воздуха; 10 – гидроразделитель; 11 – датчик температуры теплоносителя на подающем трубопроводе контура отопления; 12 – контур теплого пола; 13 – датчик температуры клапана; 14 – датчик температуры воздуха клапана; 15 – трехходовой клапан с приводом; 16 – насос контура теплого пола; 17 – насос контура гидроразделителя*

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомьтесь с конструкциями пеллетных котлов.
2. По каталогам на продукцию ZOTA выберите пеллетный котел для обогрева и горячего водоснабжения индивидуального сельского жилого дома. Исходные данные задаются преподавателем.
3. В соответствии с заданием преподавателя рассчитайте расход разных видов топлива на обогрев и горячее водоснабжение дома при использовании различных видов котлов, один из которых – пеллет-

ный котел. Исходя из рыночной стоимости топлива, определите годовые затраты на топливо.

Таблица 7.2 – Сравнение пеллет с другими видами топлива

Вид топлива	Средняя теплотворная способность (МДж/кг)	Тип используемого котла и его КПД	Процент золы	Процент серы
Каменный уголь	15–25	Классический котел 83 %	10–35	1–3
Бурый уголь	14–22	Котел пиролизного типа 85 %	10–35	1–3
		Классический котел 65 %		
Дрова колотые	10–15	Котел пиролизного типа 85 %	2,0	0
		Классический котел 65 %		
Пеллеты торфяные	18	Пеллетный котел 85 %	6,0	0,7
Пеллеты древесные	18,4	Пеллетный котел 90 %	2,5	0,1
Брикеты древесные	18,4	Котел пиролизного типа 85 %	2,5	0,1
		Классический котел 65%		
Торфобрикеты	14,9	Котел пиролизного типа 85 %	23	1–3
		Классический котел 65 %		
Природный газ	35–38 МДж/м <sup>3</sup>	Классический котел 90%	0	0
Электрическая энергия	1 МДж = 0,278 кВт·ч	Электрокотел 99 %	0	0

### Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Основные характеристики выбранного котла.
3. Результаты расчетов.

## **Контрольные вопросы**

1. В чем принципиальное отличие топливных гранул (пеллет) от других видов топлива?
2. Как классифицируются топливные гранулы?
3. Что может являться сырьем для производства топливных гранул (пеллет)?
4. Перечислите преимущества древесных пеллет по сравнению с другими видами топлива.
5. Перечислите основные элементы конструкции пеллетного котла и охарактеризуйте их назначение.
6. Опишите технологический процесс подачи и горения пеллет в топке котла.
7. Чем обеспечивается пожаробезопасность пеллетного котла?
8. Расскажите, как осуществляется схема подключения котла с гидроразделителем, контурами ГВС и теплого пола.
9. Чем осуществляется автоматический розжиг пеллет при пуске котла?
10. Какие режимы позволяет контролировать модуль управления Zota GSM-Pellet/Стаханов?

## **Литература**

1. Шерьязов, С.К. Использование возобновляемых источников энергии в сельском хозяйстве: учеб. пособие / С.К. Шерьязов, О.С. Пташкина-Гирина; ЧГАА. – Челябинск, 2013. – 280 с.
2. О пеллетах / Производственная компания МЕТАЛЛИКА. – URL: <http://www.teplomet.ru/clauses/pellety/o-pelletakh> (дата обращения: 10.01.2018).
3. Пеллетные котлы ZOTA Pellet. Паспорт и инструкция по эксплуатации [Электронный ресурс] // Завод отопительного оборудования и автоматики. – Красноярск. 2015. – 37 с. – URL: [http://www.zota.ru/static/uploaded/documentation/entries/files/Pasport\\_Zota\\_Pellet\\_25-100.pdf](http://www.zota.ru/static/uploaded/documentation/entries/files/Pasport_Zota_Pellet_25-100.pdf) (дата обращения: 10.01.2018).
4. Пеллеты: что это такое и их преимущества по сравнению с другими видами топлива [Электронный ресурс]. – URL: <http://happymodern.ru/pellety-chto-eto/#> (дата обращения: 10.01.2018).

## Работа № 8

### Изучение технологий производства биогаза и конструкций биогазовых установок

#### Цель работы

Ознакомиться с технологией производства биогаза и конструкциями биогазовых установок.

#### Задания к работе

1. Изучить фазы образования биогаза.
2. Ознакомиться с существующими методами получения энергии из биомассы.
3. Ознакомиться с классификацией биогазовых установок.
4. Ознакомиться с конструкцией, техническими характеристиками и принципом работы биогазовой установки ZORG 150T.

#### Общие сведения

##### Биомасса как источник энергоресурсов [1, 2]

Биомассой принято называть все то, из чего состоят растения и животные. Химический состав биомассы может различаться в зависимости от ее вида. Обычно растения состоят из 25 % лигнина и 75 % углеводов или сахаридов. Углеводородная фракция состоит из множества молекул сахаридов, соединенных между собой в длинные полимерные цепи. К наиболее важным категориям углеводов можно отнести целлюлозу. Лигниновая фракция состоит из молекул несакхаридного типа. Природа использует длинные полимерные молекулы целлюлозы для образования тканей, обеспечивающих прочность растений. Лигнин представляет собой «клей», который связывает молекулы целлюлозы между собой.

Двуокись углерода из атмосферы и вода из грунта участвуют в процессе фотосинтеза с получением углеводов (сахаридов), которые и образуют «строительные блоки» биомассы. Таким образом, солнечная энергия, используемая при фотосинтезе, сохраняется в химической форме в биомассовой структуре. Если мы сжигаем биомассу эффективным образом (извлекаем химическую энергию), то кислород из атмосферы и углерод, содержащийся в растениях, вступают в реакцию с образованием двуокиси углерода и воды. Процесс является циклическим, потому что двуокись углерода может вновь участвовать в производстве новой биомассы.

Биомасса как аккумулятор большого количества энергии может отдавать ее при различных химических и биохимических процессах в виде теплоты при сгорании, в виде газообразного метана, жидкого метанола, твердого древесного угля.

Биомасса, используемая в качестве топлива, характеризуется плотностью и содержанием влаги, углерода. Растительная биомасса имеет значительную влажность в момент ее сбора, и сушка ее, как правило, обязательна. При длительном хранении даже без специальной сушки растительная масса приходит в равновесное состояние, становится практически сухой. Влажность ее составляет 10–15 %. Углеродные топлива оцениваются по уровню восстановления энергии. В процессе превращения биомассы в углекислый газ и воду выделяется энергия – около 450 кДж на моль углерода. Присутствие влаги в биомассе значительно снижает полезный выход тепловой энергии, так как испарение воды требует около 2,3 МДж/кг. Плотность биомассы оказывает значительное влияние на затраты при транспортировке, особенно если утилизация происходит вдали от источников производства.

#### **Фазы образования биогаза**

Биогаз возникает при ферментации органических веществ, таких как навозная жижа, навоз, жидкое навозное удобрение, растения, пищевые отходы. Он возникает в природе повсюду, где нет доступа кислорода: в болотах и топях, а также в пищеварительном тракте при пережевывании. Состав образующегося биогаза представлен в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Состав биогаза

Вещество	Химическая формула	Содержание, %
Метан	$\text{CH}_4$	40–75
Углекислый газ	$\text{CO}_2$	25–55
Водяной пар	$\text{H}_2\text{O}$	0–10
Азот	$\text{N}_2$	< 5
Кислород	$\text{O}_2$	< 2
Водород	$\text{H}_2$	< 1
Сероводород	$\text{H}_2\text{S}$	< 2
Аммиак	$\text{NH}_3$	< 1

Теплота сгорания 1 м<sup>3</sup> биогаза соответствует, в зависимости от содержания метана, 6,4 кВт·ч. Из этого количества можно произве-

сти, в зависимости от эффективности когенерационной установки, до 2 кВт·ч электрической энергии и 2 кВт·ч тепловой энергии (за вычетом тепловой энергии при процессе).

В естественных условиях в присутствии влаги, тепла, кислорода биомасса разлагается под действием аэробных бактерий, причем углерод, содержащийся в биомассе, сгорает (разлагается) до углекислого газа. Если биомасса находится в условии недостаточного поступления кислорода из окружающей среды, то могут развиваться анаэробные бактерии. Под их действием углерод биомассы разделяется между полностью восстановленным метаном и полностью окисленным углекислым газом.

Интенсивность действия анаэробных бактерий обуславливается рядом факторов, среди которых главным является постоянство температуры. Выделяют три уровня температуры, при которых эффективность действия определенного вида анаэробных бактерий наиболее высока: низкий, средний, высокий (рис. 8.1).

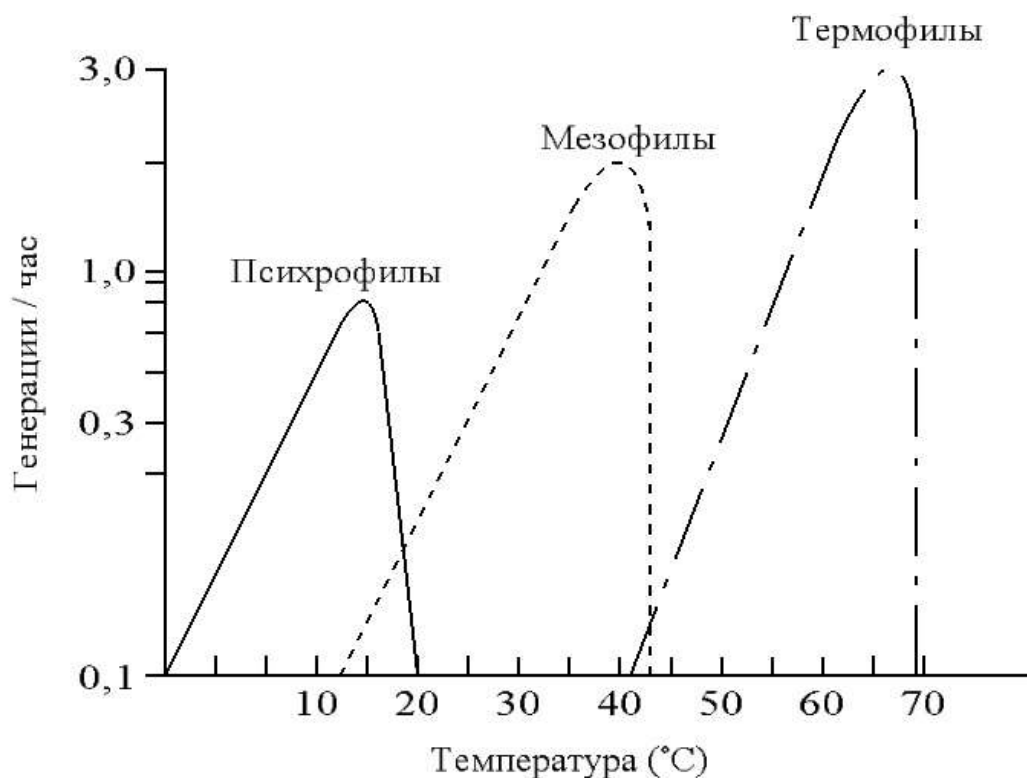


Рисунок 8.1 – Режимы сбраживания биомассы

При низком уровне температур (до 20 °C) происходит психрофильное брожение. Жизнедеятельность этих групп бактерий происходит в теплое время года. Примером психрофильного брожения мо-



жет служить разложение биомассы в трясине болот с образованием болотного газа, который есть не что иное, как биогаз.

При среднем уровне температур (30–40 °С) развивается мезофильная группа бактерий. Оптимальным считается значение температуры 32–34 °С.

Высокий (45–85 °С) уровень температур обуславливает термофильное брожение. Оптимальной здесь считается значение температуры в пределах 52–55 °С.

Мезофильное и термофильное брожение не может идти без дополнительных затрат энергии на поддержание заданной температуры процесса. Анаэробные бактерии очень болезненно отзываются не только на величину, но и резкое изменение температуры. Повышение температуры приводит к увеличению скорости выхода биогаза, следовательно, к уменьшению времени полного разложения биомассы. Так, увеличение температуры процесса на 5 °С удваивает скорость выхода биогаза.

Образование биогаза можно разделить на четыре фазы (рис. 8.2):

1. Гидролизная фаза. Во время протекания гидролизной фазы в результате жизнедеятельности бактерий устойчивые субстанции (протеины, жиры и углеводы) разлагаются на простые составляющие (аминокислоты, глюкоза, жировые кислоты).

2. Кислотообразующая фаза. Далее эти составляющие разлагаются на другие органические вещества (кислоты: уксусная, пропионовая, масляная; спирты, альдегиды) и соединения:  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , а также  $\text{N}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$ . Этот процесс протекает до тех пор, пока развитие бактерий не замедлится под воздействием образованных кислот.

3. Ацетогенная фаза. Под воздействием ацетогенных бактерий из образованных кислот вырабатывается уксусная кислота.

4. Метаногенез. Уксусная кислота разлагается на метан, углекислый газ и воду (уксусная кислота  $\rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ). Водород и углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ) преобразуются в метан и воду ( $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ).

Полученный таким образом биогаз можно использовать в качестве топлива в энергетических установках.



Рисунок 8.2 – Этапы разложения анаэробного преобразования

### Существующие методы получения энергии из биомассы

Практически все виды сырой биомассы достаточно быстро разлагаются, поэтому немногие пригодны для долговременного хранения. Из-за относительно низкой энергетической плотности транспортировка биомассы на большие расстояния нецелесообразна. Поэтому в последние годы значительные усилия были предприняты для поисков оптимальных методов ее использования.

Методы получения энергии из биомассы основаны на следующих процессах:

1. Прямое сжигание биомассы – для непосредственного получения тепла. Основное требование к биотопливу: высокая теплотворная способность, низкая влажность и зольность.

2. Термохимическое преобразование для получения обогащенного топлива. Процессы этой категории включают пиролиз, газификацию и сжижение. Пиролиз – разложение биомассы под действием высокой температуры при полном или частичном отсутствии кислорода. При этом образуются газы, жидкости, масса и древесный уголь. Изменение составных компонентов зависит от вида биомассы, ее влажности, температуры и способа ведения процесса. Если пиролиз производится с единственной целью – получить горючий газ, то процесс этот называют газификацией биомассы. Горючий газ (в основ-

ном водород и угарный газ с малыми добавками метана), получаемый при этом, имеет теплоту сгорания 4–8 МДж/м<sup>3</sup>.

3. Биологическое преобразование. Такие естественные процессы, как анаэробное сбраживание и ферментация, приводят к образованию полезного газообразного или жидкого топлива.

Спиртовая ферментация – продукт спиртовой ферментации этиловый спирт, или этанол – летучее жидкое топливо, которое можно использовать вместо бензина. Его получают также при помощи химического синтеза. В начале текущего столетия этанол в значительном количестве получали путем брожения. В качестве исходного сырья использовалась биомасса с высоким содержанием сахара и крахмала. Высокие цены на эти продукты вынудили постепенно отдать предпочтение химическому синтезу, при котором сырьем стала служить нефть. Однако рост цен на нефть вновь заставил обратиться к спиртовому брожению.

Анаэробная переработка – биомасса под действием определенных групп микроорганизмов в отсутствие кислорода может разлагаться на метан, углекислый газ и попутные газы. Смесь эта и есть биогаз. Он обладает высокой теплотворной способностью. Для получения биогаза, кроме биомассы растительного происхождения, широко применяют отходы животноводства, физиологические отходы человека, промышленные и бытовые отходы органического происхождения.

Наибольшее распространение получило анаэробное сбраживание биомассы с целью получения метана. Как отмечалось выше, «метановое сбраживание» происходит при разложении органических веществ в результате жизнедеятельности двух основных групп микроорганизмов. Одна группа микроорганизмов, обычно называемая кислотообразующими бактериями, или бродильными микроорганизмами, расщепляет сложные органические соединения (клетчатку, белки, жиры и др.) в более простые. При этом в сбраживаемой среде появляются первичные продукты брожения – летучие жирные кислоты, низшие спирты, водород, окись углерода, уксусная и муравьиная кислоты и др. Эти менее сложные органические вещества являются источником питания для второй группы бактерий – метанообразующих, которые превращают органические кислоты в требуемый метан, а также углекислый газ и др.

В этом сложном комплексе превращений участвует великое множество микроорганизмов, по некоторым данным, до тысячи ви-

дов, но главные из них все-таки метанообразующие бактерии. При этом метанообразующие бактерии значительно медленнее размножаются и более чувствительны к изменениям окружающей среды, чем кислотообразующие микроорганизмы-бродильщики, поэтому вначале в сброживаемой среде накапливаются летучие кислоты, а первую стадию метанового сброживания называют кислотной. Потом скорости образования и переработки кислот выравниваются, так что в дальнейшем разложение субстрата и образование газа идут одновременно. И, естественно, от условий, которые создаются для жизнедеятельности метанообразующих бактерий, зависит интенсивность газовой выделения.

### **Классификация биогазовых установок**

Биогазовые установки предназначены для экологически чистой безотходной переработки органических отходов с получением газообразного топлива – биогаза. Еще более замечателен второй продукт биоустановки – органические удобрения. Органические удобрения, получаемые после сброживания сырья, сертифицированы и внесены в Государственный реестр разрешенных к применению агрохимикатов. Сочетание микробиологической культуры и переработанной методом метанового сброживания органики дает право говорить о биоорганическом удобрении нового поколения, высокая эффективность которого связана с присутствием в нем биогенных стимуляторов естественного происхождения. Применение таких удобрений позволяет повышать плодородие почв, получать сельхозпродукцию высокого качества без применения химических веществ.

Установки для производства биогаза из органических отходов обычно подразделяют на четыре основных типа:

- без подвода тепла и без перемешивания сброживаемой биомассы;
- без подвода тепла, но с перемешиванием сброживаемой биомассы;
- с подводом тепла и с перемешиванием биомассы;
- с подводом тепла, с перемешиванием биомассы и со средствами контроля и управления процессом сброживания.

На рисунке 8.3 представлена классификация биоэнергетических установок.

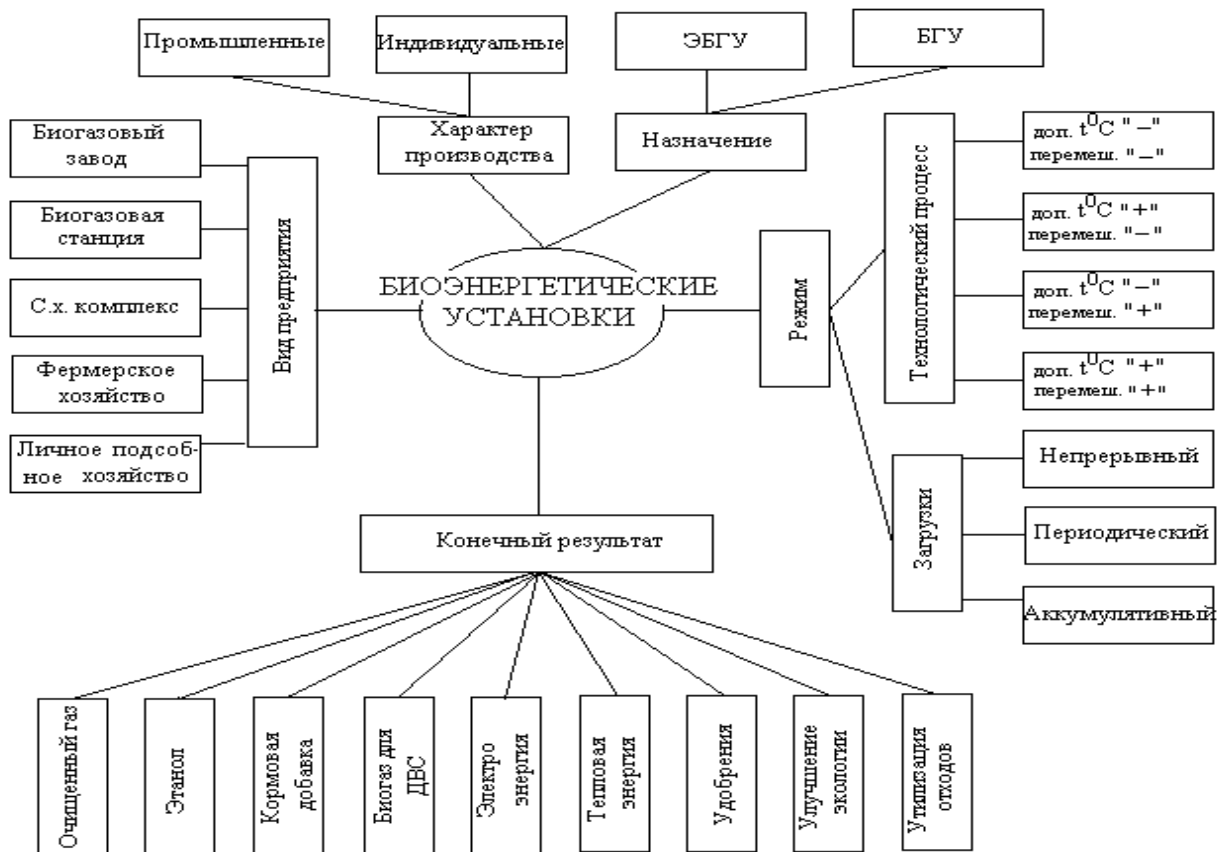


Рисунок 8.3 – Классификация биоэнергетических установок

Принципиальная схема простейшей биогазовой установки изображена на рисунке 8.4.

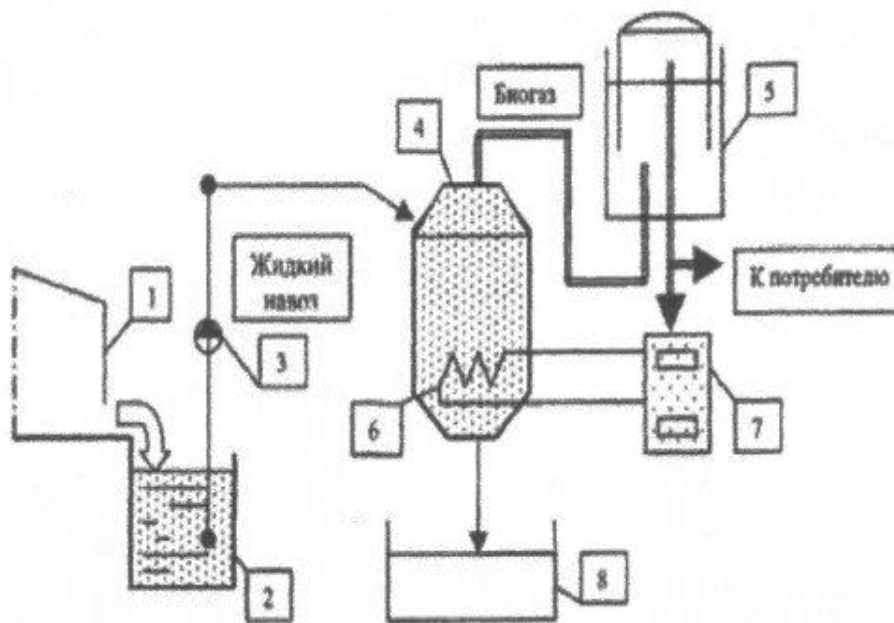


Рисунок 8.4 – Технологическая схема биогазовой установки:  
 1 – ферма; 2 – навозоприемник; 3 – насос; 4 – метантенк; 5 – газгольдер;  
 6 – теплообменник; 7 – котел; 8 – навозохранилище

Такая установка может работать в непрерывном режиме загрузки. Из приемного устройства 2 свежий навоз попадает в метантенк 4. Суточное поступление навоза и время выдержки его в метантенке обеспечивают нормальное заполнение метантенка биомассой. Выделяющийся в процессе брожения биогаз собирается в верхней части метантенка и через патрубок поступает в газгольдер 5. Перегоревший шлам отсасывается насосом в приемное устройство 8.

Сейчас на основе резервуара биореактора, имеющего форму параллелепипеда, объем которого разделен перегородкой, разработана и надежно действует **двухкамерная биогазовая установка проточного типа**, где субстрат направляется сначала в одну часть резервуара (бродильную камеру), а затем самотеком поступает в другую часть (камеру дображивания). Для повышения эффективности работы такая установка снабжена перемешивающим устройством в бродильной камере, нагревателем, шнеком для удаления крупных включений в осадке.

Все большее распространение получают **траншейные биогазовые установки**. Возьмем, например, траншейную установку из ФРГ. Здесь прямо из помещения, где содержат животных, навоз, разведенный водой, идет в биореактор, в котором сбраживается. В установке предусмотрены механическое перемешивание субстрата и грейфер для погрузки сброженного навоза.

В странах Юго-Восточной Азии обычно используют **эластичные реакторы**. Подобные реакторы (емкости) делают из плотной прорезиненной ткани или синтетической пленки. Для организации работы таких биореакторов их приходится либо заглублять в грунт, либо помещать внутри достаточно прочного «кругового» ограждения.

### **Конструкция, технические характеристики и принцип работы биогазовой установки ZORG 150T**

Данная биогазовая станция способна принять до 150 тонн навозных стоков КРС в сутки влажностью 94–95 % (см. табл. 8.2). Такое количество навоза производится молочной фермой 1 500 дойных коров. Биогазовая станция будет производить биогаз в объеме 3 715 м<sup>3</sup>/сутки с содержанием метана 55 %. Возможна установка дополнительного модуля теплоэлектростанции электрической мощностью 330 кВт и тепловой мощностью 395 кВт.

Кроме энергоносителей биогазовая станция будет производить качественные биоудобрения в количестве 14 т/сутки твердых влажностью 70 % и 130 т/сутки жидких биоудобрений влажностью 99 %.

Таблица 8.2 – Технические характеристики биогазовой станции

Характеристика		Ед. изм.	Значение
1	Производительность по сырью, вл. 94 %	т/сутки	150
2	Выход биогаза	м <sup>3</sup> /сутки	3 715
3	Потребляемая электрическая мощность	кВт	20
4	Потребляемая тепловая мощность (при 15 °С)	кВт	200
5	Количество и объем реакторов	шт. × м <sup>3</sup>	1 × 2 400
6	Обслуживающий персонал	человек	1
7	Занимаемая площадь	га	0,5
8	Выход твердых биоудобрений (70 % влажность)	т/сутки	14
9	Выход жидких биоудобрений (99 % влажность)	т/сутки	130

Визуализация процессов, происходящих в биогазовой установке, показана на рисунке 8.5.

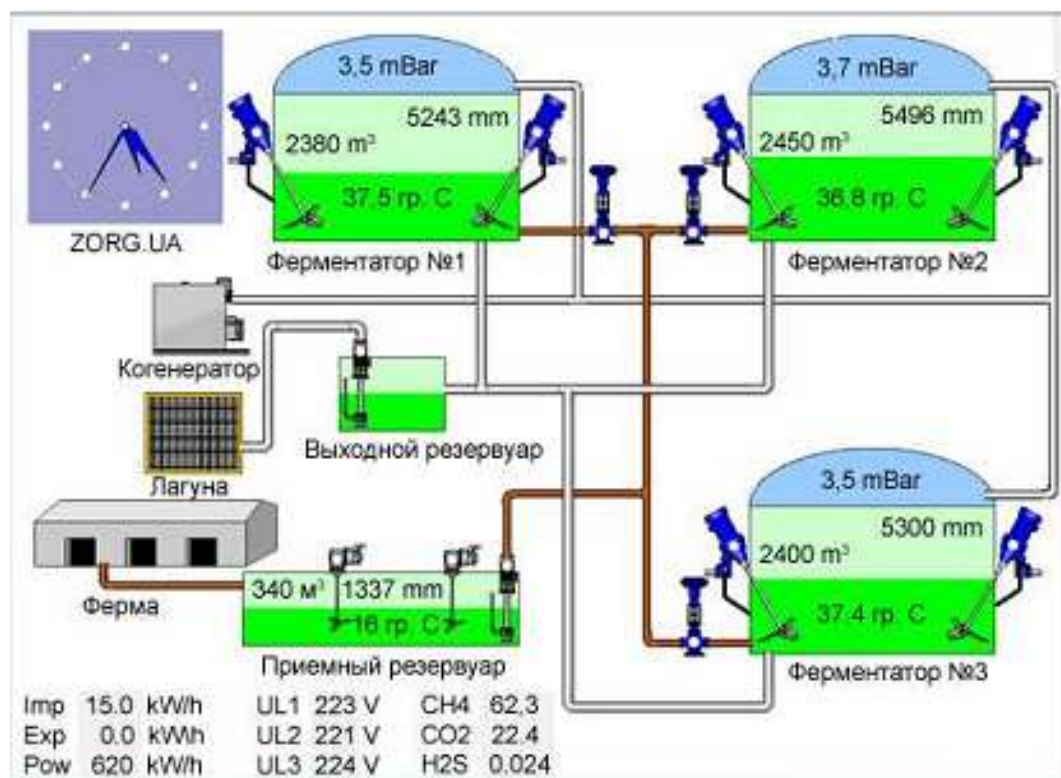


Рисунок 8.5 – Визуализация процессов в биогазовой установке

### Принцип работы биогазовой установки ZORG 150T

Жидкие биоотходы перекачиваются на биогазовую установку фекальными насосами по трубопроводу навозоудаления. Канализационная насосная станция (КНС) находится в специальном технологическом помещении. Жидкие отходы попадают не прямо в реактор,

а в предварительную емкость. В этой емкости происходит гомогенизация массы и подогрев до необходимой температуры.

Из емкости гомогенизации биомасса поступает в реактор. Реактор является газонепроницаемым, полностью герметичным резервуаром из железобетона. Эта конструкция теплоизолируется слоем утеплителя. Толщина утеплителя рассчитывается под конкретные климатические условия. Перемешивание биомассы внутри реактора производится наклонными и погружными мешалками.

Для оптимальной работы ферментатора и производства биогаза необходима эффективная циркуляция субстрата внутри ферментатора. Наклонные мешалки разработаны специально для работы в агрессивных условиях. С помощью перемешивания не образовывается корка, что позволяет биогазу легко выходить на поверхность, а субстрат не осаждается.

Мешалка с электрическим приводом разработана для работы во взрывоопасной среде класса 1 и класса 2. Все детали мешалки, включая изоляционную мембрану (газонепроницаемую) для трубки привода, защищены от ультрафиолетового излучения. Винтовая мешалка монтируется с внешней стороны стены ферментатора. Устройство фиксируется и герметизируется в стене при помощи специальной пластины или рамы. Герметизирующая мембрана применяется для герметизации кардана относительно пластины вращающейся мешалки, что позволяет снимать мешалку, не вынимая винта из ферментатора.

Погружная мешалка устанавливается на мачту для перемещения с помощью крепления двигателя для регулировки высоты устройства. Благодаря роликовым направляющим мешалка может спокойно погружаться и подниматься без трения, даже если кабель тянется под небольшим углом. Погружная мешалка выполнена в форме водонепроницаемого моноблока, приводящего в движение трехлопастной винт.

Внутри реактора поддерживается фиксированная для микроорганизмов температура. Температура в реакторе мезофильная – около 37 °С. Подогрев реактора ведется теплоносителем. Температура воды на входе в реактор 60 °С. Температура воды после реактора около 40 °С. Система подогрева (это сеть трубок, находящихся внутри стенки реактора, либо на ее внутренней поверхности).

Если биогазовая установка комплектуется когенерационной установкой, то теплоноситель от охлаждения генератора используется для подогрева реактора. Температура воды после генератора 90 °С.



Теплая вода с температурой 90 °С смешивается с водой 40 °С и поступает в реактор с температурой 60 °С. В зимний период биогазовой установке требуется до 50–70 % вторичной тепловой энергии, отведенной от теплоэлектрогенератора. В летний – около 10 %.

Среднее время гидравлического отстаивания внутри реактора 30–40 дней. На протяжении этого времени органические вещества внутри биомассы метаболизируются (преобразовываются) микроорганизмами. Период брожения определяет объем реактора.

Всю работу по сбраживанию отходов проделают анаэробные микроорганизмы. В биореактор микроорганизмы вводятся один раз при первом запуске. Дальше никаких добавок микроорганизмов и дополнительных затрат не требуется. Введение микроорганизмов производится добавлением свежего навоза. В навозе микробы присутствуют и попадают в него еще из кишечника животных. Эти микроорганизмы полезны и не приносят вреда человеку или животным. К тому же реактор – это герметичная система. Поэтому реакторы, а точнее их назвать ферментерами, располагаются в непосредственной близости от фермы или производства.

На выходе имеем два продукта: биогаз и биоудобрения (компостированный и жидкий субстрат).

Биогаз сохраняется в емкости для хранения газа – газгольдере. Здесь в газгольдере выравниваются давление и состав газа. Система газгольдера имеет двухслойную конструкцию. Внешний купол-чехол из PVC со специальными добавками имеет стойкость к ультрафиолетовому излучению и атмосферным осадкам. Внутренняя мембрана, которая непосредственно контактирует с биогазом, выполнена из материала PEHD. Внутренний купол натягивается под действием вырабатываемого биогаза. Между внешним и внутренним куполом закачивается воздух для создания сверху давления на нижний купол, а также для придания формы внешнему. Давление биогаза внутри газгольдера составляет от 200 до 500 Па.

Герметичность в узле крепления купола и газгольдера к стене ферментатора обеспечивает пневматический замок. В состав пневматического замка входит специальный профиль – замок для крепления, трубки для крепления мембраны в замке, компрессор для создания давления в пневмозамке, грузики (натяжители, уплотнительная лента и клей для герметизации).

Для безопасной работы газгольдера установлен предохранительный клапан избыточного давления. В комплект поставки газгольдера входят смотровые акриловые окна и патрубки для отвода биогаза.

Запас объема газгольдеров на несколько часов. Газовая система включает в себя вентилятор, конденсатоотводчик, десульфуратор.

Из газгольдера идет непрерывная подача биогаза в газовый теплоэлектрогенератор. Здесь уже производится тепловая и электрическая энергия.

Всей системой управляет система автоматики. Система контролирует работу насосной станции, мешалок, системы подогрева, газовой автоматики, генератора. Для управления достаточно всего одного человека два часа в день. Этот человек ведет контроль с помощью обыкновенного компьютера. Переброшенная масса – это биоудобрения, готовые к использованию. Жидкие биоудобрения отделяются от твердых с помощью сепаратора и сохраняются в емкости для хранения биоудобрения. Этот субстрат (аммиачная вода в основном используется как удобрение из-за высокой концентрации аммиака ( $\text{NH}_4$ )). Твердые удобрения хранятся на специальном участке. Из емкости хранения жидких удобрений насосами масса перекачивается в бочки – прицепы и вывозится на свои поля или на продажу.

### **Порядок выполнения работы**

1. Изучите фазы образования биогаза и существующие методы получения энергии из биомассы.
2. Изучите конструкцию, технические характеристики и принцип работы биогазовой установки ZORG 150T.
3. По исходным данным, заданным преподавателем (вид животных или птиц, их количество и способ содержания), подберите на сайте [www.zorg.ru](http://www.zorg.ru) или на других сайтах или в других источниках по биогазовым установкам соответствующие по производительности установки.
4. Изучите особенности, достоинства и недостатки выбранной установки. Обоснуйте выбор той или иной установки.

### **Содержание отчета**

1. Название и цель работы.
2. Принципиальная схема выбранной биогазовой установки.
3. Основные характеристики выбранной биогазовой установки.

## **Контрольные вопросы**

1. Что такое биомасса?
2. Каков состав биогаза?
3. При каких диапазонах температур происходят разные виды брожения биомассы?
4. Как процесс образования биогаза можно представить в виде отдельных фаз?
5. Какие известны методы получения энергии из биомассы?
6. Для чего проводят гомогенизацию биомассы и ее подогрев перед подачей в реактор?
7. Какая температура в реакторе биогазовой установки?
8. Для чего предназначен газгольдер?
9. Какие микроорганизмы осуществляют работу по сбраживанию отходов в биогазовой установке?
10. Для чего в составе биогазовой установки предусмотрена когенерационная установка?

## **Литература**

1. Шерьязов, С.К. Использование возобновляемых источников энергии в сельском хозяйстве: учеб. пособие / С.К. Шерьязов, О.С. Пташкина-Гирина; ЧГАА. – Челябинск, 2013. – 280 с.
2. Амерханов, Р.А. Оптимизация сельскохозяйственных энергетических установок с использованием возобновляемых видов энергии / Р.А. Амерханов. – М.: КолосС, 2003. – 523 с.
3. Биогазовые установки [Электронный ресурс] // Официальный сайт ЗОРГ БИОГАЗ АГ. – URL: [http:// www.zorg.ua/?lang=ru](http://www.zorg.ua/?lang=ru) (дата обращения: 10.01.2018).

## **Работа № 9**

### **Расчет технико-экономических показателей систем солнечного горячего водоснабжения сельскохозяйственных потребителей**

#### **Цель работы**

Освоить методику и произвести расчет себестоимости тепловой энергии систем солнечного горячего водоснабжения сельскохозяйственных потребителей.

#### **Задания к работе**

1. Ознакомиться с общими сведениями, расчетными формулами и методикой расчета в электронных таблицах Excel.
2. Выполнить расчет основных экономических показателей и себестоимости кВт·ч тепловой энергии от системы солнечного горячего водоснабжения с помощью разработанных электронных таблиц.
3. Определить области рационального использования систем солнечного горячего водоснабжения сельскохозяйственных потребителей в зависимости от возможных вариантов цен на оборудование, годовых эксплуатационных расходов, тарифов на электроэнергию в разных районах Красноярского края и регионов Сибири.

#### **9.1. Общие вопросы экономической оценки использования ВИЭ**

Для эффективного горячего водоснабжения сельского жилого дома необходимо обосновать оптимальную структуру системы горячего водоснабжения, обеспечивающую минимальную стоимость тепловой энергии у потребителя. Использование возобновляемого источника энергии характеризуется экономической эффективностью и конкурентоспособностью по сравнению с традиционной системой горячего водоснабжения. Поскольку возобновляемая энергия используется совместно с традиционным источником, эффективность ССГВ характеризуется стоимостью энергии, получаемой от совместного использования солнечной энергии и традиционного источника энергии (электрической энергии, угля, газа, дров и т. п.).

Для эффективного горячего водоснабжения потребителя необходимо минимизировать все возможные затраты. При этом, согласно целевой функции, стоимость тепловой энергии, вырабатываемой системой горячего водоснабжения, должна быть минимальной. Важно определить оптимальную долю потребной энергии, которую может замещать возобновляемый источник.

Доля потребной энергии, замещаемой возобновляемым источником, зависит от стоимости потребляемой энергии от возобновляемых ( $C_v$ ) и традиционных ( $C_m$ ) источников энергии. В свою очередь, целесообразность использования возобновляемой энергии зависит от стоимости энергии, получаемой традиционным путем

$$C_v \leq C_m. \quad (9.1)$$

Цены на энергоносители зависят от наличия энергоносителя в данной местности. Поэтому условия использования ВИЭ зависят как от местных климатических условий, так и от социально-экономических условий развития региона.

Экономический эффект в системе солнечного горячего водоснабжения с резервированием от традиционного источника энергоснабжения ожидается за счет снижения стоимости энергии [2, 3]

$$\text{ЭК} = I_{\text{год.внеш.}} - I_{\text{год}}^{\text{ССГВ}}, \quad (9.2)$$

где  $\text{ЭК}$  – величина годового экономического эффекта, руб.;

$I_{\text{год.внеш.}}$  – затраты на энергоснабжение от внешнего источника, руб.;

$I_{\text{год}}^{\text{ССГВ}}$  – затраты при использовании системы солнечного горячего водоснабжения с резервированием от традиционного источника энергоснабжения, руб.

Для достижения ожидаемого экономического эффекта необходимо, чтобы дополнительные капиталовложения в ССГВ окупались в установленные сроки. Тогда в качестве экономической характеристики следует рассматривать и срок окупаемости дополнительных капиталовложений на использование ВИЭ

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{ССГВ}}}{\text{ЭК}}, \quad (9.3)$$

где  $K_{\text{ССГВ}}$  – капиталовложения в ССГВ, руб.

Экономический эффект подсистемы ВИЭ может быть определен как выручка от сэкономленного топлива или как экономия в оплате за теплоноситель за год работы ССГВ, за вычетом издержек на их эксплуатацию.

Экономический эффект зависит от вида ССГВ и площади СК.

## 9.2. Определение технико-экономических показателей ССГВ

Установки горячего водоснабжения сельских жилых домов с использованием солнечной энергии не претендуют на полное замещение энергозатрат на горячее водоснабжение, поэтому, как правило, применяются совместно с установками на традиционном топливе. Несмотря на множество методик оценки эффективного использования солнечной энергии, до сих пор отсутствует единый подход к определению эффективности таких систем.

Для системы комбинированного горячего водоснабжения необходимо определить стоимость энергии, вырабатываемой ССГВ. Она зависит от эксплуатационных затрат на установку горячего водоснабжения, которые складываются в основном из отчислений на реновацию, текущий ремонт и обслуживание

$$I_{ССГВ} = I_{ам.} + I_{тр.обсл.} + I_{зн.} + I_{сн.} + I_{пр.}, \quad (9.4)$$

где  $I_{ам.}$  – амортизационные отчисления на реновацию, руб.;

$I_{тр.обсл.}$  – затраты на текущий ремонт и обслуживание, руб.;

$I_{зн.}$  – составляющая затрат на заработную плату, руб.;

$I_{сн.}$  – составляющая затрат на энергию на собственные нужды, руб.;

$I_{пр.}$  – прочие затраты, необходимые на содержание обслуживающего персонала, охрану труда и прочее, руб.

Амортизационные отчисления на реновацию обычно выражают в процентах от суммарных капиталовложений и в общем случае определяют по формуле

$$I_{ам} = \alpha_{ам} \cdot K_{ССГВ}, \quad (9.5)$$

где  $\alpha_{ам}$  – норма амортизации, %.

Долю амортизационных отчислений на реновацию определяют исходя из срока службы энергоустановок. При отсутствии точных данных срок службы для ССГВ рекомендуется принимать 15–20 лет.

Затраты на текущий ремонт определяются

$$I_{тр.обсл.} = \alpha_{тр} \cdot K_{ССГВ}, \quad (9.6)$$

где  $\alpha_{тр}$  – доля отчислений на текущий ремонт. Эти затраты возможно рассчитывать как  $I_{тр} = (0,20 \dots 0,25) I_{ам}$ .

Капиталовложения  $K_{ССГВ}$  на использование солнечной энергии в общем случае складываются из затрат на приобретение оборудования

и строительные-монтажные работы. Для ССГВ капиталовложения можно определить по формуле

$$K_{ССГВ} = K_{стр} + K_{сн} + K_{ск} + K_{б} + K_{тр} + K_{куп} \quad (9.7)$$

где  $K_{стр}$  – стоимость строительные-монтажных работ, руб.;

$K_{сн}$  – стоимость сантехнических работ, руб.;

$K_{ск}$  – стоимость солнечных коллекторов, руб.;

$K_{б}$  – стоимость баков-аккумуляторов и теплообменников, руб.;

$K_{тр}$  – транспортные расходы, руб.;

$K_{куп}$  – стоимость контрольно-измерительных приборов, руб.

Ниже представлена структура затрат на ССГВ, предназначенная для горячего водоснабжения жилых домов, которые говорят о значительных резервах снижения капитальных затрат на стадии проектирования ССГВ.

#### Структура затрат на ССГВ, %

Строительные работы	Сантехнические работы	Солнечные коллекторы	Баки-аккумуляторы, теплообменники	Контрольно-измерительная аппаратура
30–40	5–7	30–50	15–18	1–3

Для проведения сравнительных расчетов величину  $K_{ССГВ}$  удобнее всего выразить через удельную стоимость СК

$$K_{ССГВ} = K_{уд} \cdot F_{ск} \cdot \gamma_{ССГВ}, \quad (9.8)$$

где  $K_{уд}$  – удельная стоимость СК, руб./м<sup>2</sup>;

$F_{ск}$  – площадь СК, м<sup>2</sup>;

$\gamma_{ССГВ}$  – коэффициент, учитывающий стоимость строительные-монтажных работ и дополнительного оборудования ССГВ ( $\gamma_{ССГВ} = 1,6$  для ССГВ с баком из обычной стали,  $\gamma_{ССГВ} = 2$  для ССГВ с баком из нержавеющей стали).

### 9.3. Методика расчета себестоимости производства тепловой энергии от ССГВ для горячего водоснабжения сельского жилого дома

Расчет количества тепловой энергии, вырабатываемой ССГВ по месяцам года,  $W_{ССГВ}$ , МДж (кВт·ч) ведется по формуле

$$W_{ССГВ} = \mathcal{E}^{\beta} \cdot n \cdot F_{СК} \cdot \eta_{ССГВ}, \quad (9.9)$$

где  $\mathcal{E}^{\beta}$  – среднемесячный дневной приход суммарного солнечного излучения на наклоненную под углом  $\beta$  поверхность СК;

$n$  – количество дней в месяце, шт.;

$F_{СК}$  – площадь СК, м<sup>2</sup>;

$\eta_{ССГВ}$  – коэффициент полезного действия ССГВ.

Дополнительная потребность в электроэнергии на горячее водоснабжение определяется

$$W_{ЭЭ} = W_{ГВС} - W_{ССГВ}, \quad (9.10)$$

где  $W_{ГВС}$  – годовая потребность в электроэнергии на горячее водоснабжение, кВт·ч.

Капиталовложения в ССГВ определяются как

$$K_{ССГВ} = K_{об} + K_m + K_{проч.}, \quad (9.11)$$

где  $K_{об}$  – стоимость оборудования ССГВ;

$K_m$  – затраты на монтаж;

$K_{проч.}$  – прочие затраты, связанные с приобретением ССГВ ( $K_m = 0,2 K_{об}$ ,  $K_{пр} = 0,1 K_{об}$ ).

Годовые затраты на эксплуатацию ССГВ определяются по формуле

$$I_{ССГВ} = I_{ам} + I_{т.р.обсл.} + I_{проч.}, \quad (9.12)$$

где  $I_{ам}$  – амортизационные отчисления, руб./год;

$I_{т.р.обсл.}$  – затраты на текущий ремонт и техническое обслуживание ССГВ.

$$I_{ам} = \frac{\alpha_{ам} \cdot K_{ССГВ}}{100}; \quad I_{т.р.обсл.} = 0,2 I_{ам}, \quad (9.13)$$

где  $\alpha_{ам}$  – норма амортизации, %.



$$\alpha_{ам} = \frac{1}{T_{сл}} 100, \quad (9.14)$$

где  $T_{сл}$  – срок службы ССГВ.  $T_{сл} = 15$  лет,  $\alpha_{ам} = 6,7\%$ .

Себестоимость тепловой энергии, получаемой от ССГВ

$$C = \frac{I_{ССГВ}}{\mathcal{E}_{ССГВ}}, \quad (9.15)$$

где  $C$  – себестоимость тепловой энергии, руб./кВт·ч;

$\mathcal{E}_{год}$  – годовая выработка тепловой энергии ССГВ, кВт·ч.

Затраты на дополнительное приобретение электроэнергии по месяцам

$$I_{доп.мес.} = \mathcal{E}_{доп.} \cdot Tar, \quad (9.16)$$

где  $\mathcal{E}_{доп.}$  – дополнительная потребность в электроэнергии, кВт·ч,

$Tar$  – тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч.

Годовые затраты по сельскому жилому дому на горячее водоснабжение при комбинированной системе

$$I_{год}^{ССГВ} = C_{ССГВ} \cdot \mathcal{E}_{ССГВ} + Tar \cdot \mathcal{E}_{доп.}, \quad (9.17)$$

где  $Tar$  – действующий тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч.

Годовые затраты по сельскому жилому дому на горячее водоснабжение от внешнего источника

$$I_{год.внеш.} = Tar \cdot \mathcal{E}_{год.}, \quad (9.18)$$

Годовая экономия затрат на горячее водоснабжение при различных значениях тарифа на электроэнергию

$$\mathcal{ЭК} = I_{год.внеш.} - I_{год}^{ССГВ}. \quad (9.19)$$

Срок окупаемости затрат на ССГВ сельского жилого дома

$$T_{ок} = \frac{K_{ССГВ}}{\mathcal{ЭК}}. \quad (9.20)$$

## **Содержание отчета**

1. Название и цель работы.
2. Освоить методику расчета себестоимости тепловой энергии систем солнечного горячего водоснабжения сельскохозяйственных потребителей.
3. Сравнение вариантов ССГВ сельских жилых домов в зависимости от возможных вариантов цен на оборудование, годовых эксплуатационных расходов, тарифов на электроэнергию в разных районах Красноярского края и регионов Сибири, выбор оптимального.
4. Выводы о целесообразности использования заданного преподавателем типа ССГВ в конкретных условиях.

## **Контрольные вопросы**

1. Как оценить целесообразность использования возобновляемой энергии для энергообеспечения сельскохозяйственных потребителей?
2. Как определить срок окупаемости дополнительных капиталовложений на использование ВИЭ?
3. Как рассчитать единовременные затраты в ССГВ сельскохозяйственных потребителей?
4. Из каких статей расходов складываются эксплуатационные затраты на ССГВ сельского жилого дома?
5. Как определить затраты на амортизацию?
6. Из чего складываются годовые затраты на эксплуатацию ССГВ?
7. Как срок окупаемости ССГВ сельского жилого дома зависит от тарифа на электрическую энергию?
8. Как определить затраты на ремонт и обслуживание ССГВ сельского жилого дома?
9. От чего зависит себестоимость тепловой энергии, вырабатываемой ССГВ?
10. Как зависит себестоимость тепловой энергии, вырабатываемой ССГВ, от годовой выработки тепловой энергии?

## Литература

1. Бастрон, А.В. Горячее водоснабжение сельских бытовых потребителей Красноярского края с использованием солнечной энергии / А.В. Бастрон, Н.Б. Михеева, Е.М. Судаев; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2016. – 132 с.
2. Шерьязов, С.К. Возобновляемые источники в системе энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей: монография / С.К. Шерьязов; Челяб. гос. агроинж. ун-т. – Челябинск, 2008. – 302 с.
3. Цугленок, Н.В. Рациональное сочетание традиционных и возобновляемых источников энергии в системе энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей / Н.В. Цугленок, С.К. Шерьязов, А.В. Бастрон; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2012. – 360 с.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате изучения дисциплины вы получили первое представление о перспективах использования возобновляемых источников энергии при энергообеспечении сельскохозяйственного производства и быта.

Вы должны освоить принципы получения энергии с помощью солнечных и биоэнергетических станций, а также установок по использованию тепловой энергии грунта; конструкции современных систем энергообеспечения сельскохозяйственного производства и быта с использованием ВИЭ; экономически выгодные и экологически безопасные режимы эксплуатации установок с использованием ВИЭ.

Предполагается, что после освоения вами современных методик расчета параметров систем энергообеспечения с использованием ВИЭ и моделирования их режимов работы на ПЭВМ вы должны научиться делать правильный выбор оборудования, использующего ВИЭ (солнечные водонагреватели, солнечные фотоэлектрические станции, биогазовые установки, теплонасосные установки, пеллетные котлы и т. д.), с учетом экономической эффективности принятых вами новых технических решений.

Изучив технологии производства электрической и тепловой энергии, а также биогаза с использованием ВИЭ, освоив принципиальные электрические и технологические схемы оборудования, вы должны, в конце концов, научиться эффективно применять его в сельскохозяйственном производстве и быте.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
ВВЕДЕНИЕ .....	5
ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ .....	9
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ (по ГОСТ 51594-2000 Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Термины и определения).....	10
ИНСТРУКЦИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА ОБУЧАЮЩИХСЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ В ЛАБОРАТОРИИ ЭНЕРГО- ОБЕСПЕЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ .....	16
Работа № 1. Изучение систем солнечного горячего водоснабже- ния с расчетом КПД солнечного коллектора .....	19
Работа № 2. Расчет системы солнечного горячего водоснабжения сельских потребителей .....	36
Работа № 3. Изучение конструкции и исследование характери- стик солнечного модуля .....	45
Работа № 4. Изучение конструкции и режимов работы фотоэлектрической солнечной электростанции.....	52
Работа № 5. Расчет систем электроснабжения сельских жилых домов с использованием фотоэлектрических солнечных электростанций .....	62
Работа № 6. Проектирование систем теплоснабжения сельских жилых домов с использованием тепловых насосов ...	74
Работа № 7. Изучение систем теплоснабжения сельских жилых домов с использованием пеллетных котлов .....	84
Работа № 8. Изучение технологий производства биогаза и конструкций биогазовых установок.....	94
Работа № 9. Расчет технико-экономических показателей систем солнечного горячего водоснабжения сельскохозяйственных потребителей .....	108
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	116

# **ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

*Учебное пособие*

*Бастрон Андрей Владимирович*

*Шерязов Сакен Койшыбаевич*

Редактор И.В. Пантелеева

Санитарно-эпидемиологическое заключение № 24.49.04.953.П. 000381.09.03 от 25.09.2003 г.

Подписано в печать 07.10.2019. Формат 60×84/16. Бумага тип. № 1.

Печать – ризограф. Усл. печ. л. 7,5 Тираж 60 экз. Заказ № 149

Редакционно-издательский центр Красноярского государственного аграрного университета  
660017, Красноярск, ул. Ленина, 117