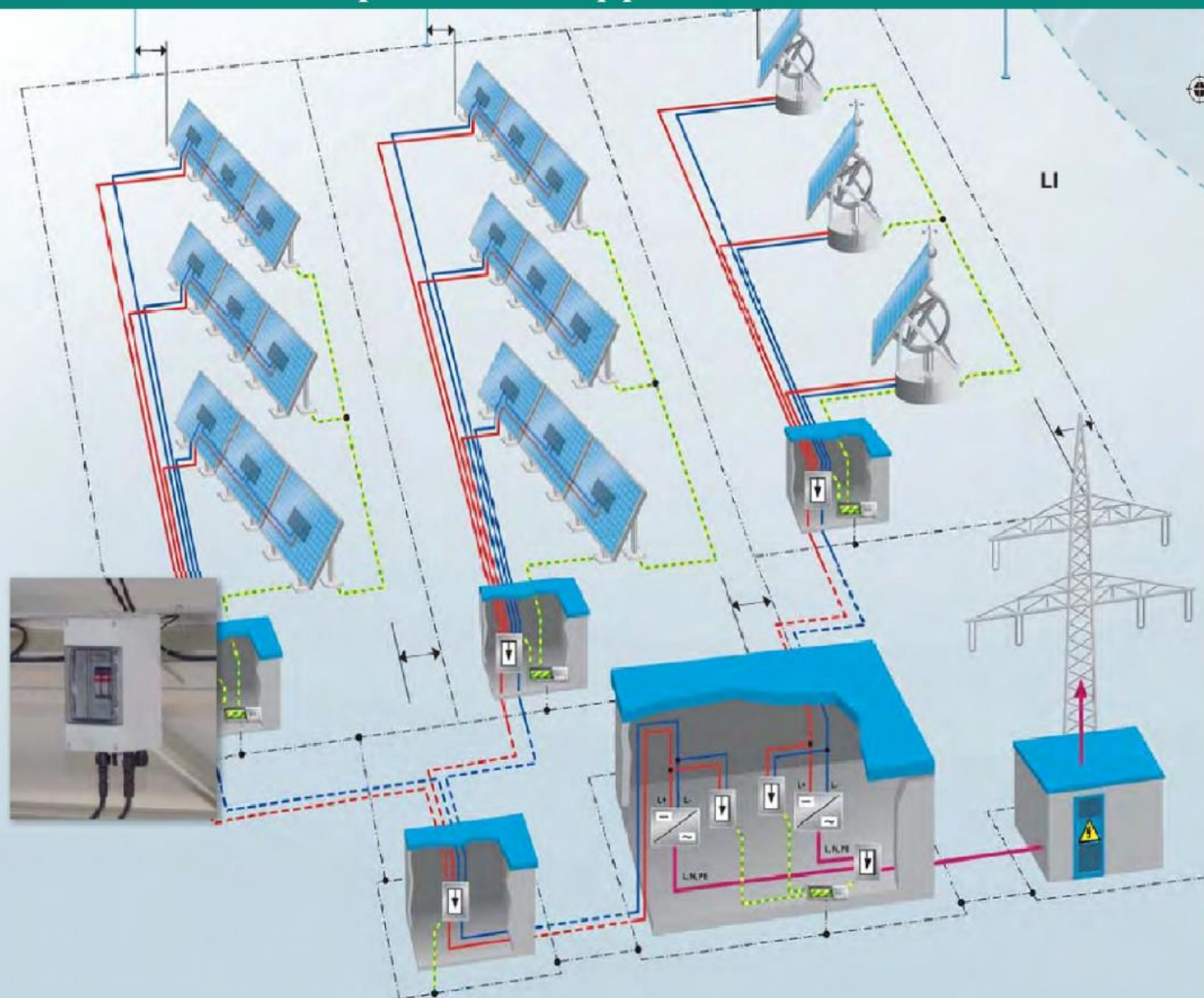


Повышение энергетической эффективности жилых зданий



А.Б. Дюсьмикеев

# ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ И МЕСТ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫМИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПАНЕЛЯМИ

Проектирование энергоэффективных инженерных систем

**Повышение энергетической эффективности жилых зданий**

**А.Б. Дюсьмикеев**

**ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ  
ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ И МЕСТ  
ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫМИ  
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПАНЕЛЯМИ**

**Проектирование энергоэффективных инженерных систем**

Минск  
2016

**Дюсьмикеев А.Б.**

**Энергообеспечение инженерных систем и мест общего пользования солнечными фотоэлектрическими панелями: проектирование энергоэффективных инженерных систем.- / А.Б. Дюсьмикеев/. – Минск,2016- 45с.**

Солнечная энергетика все больше внедряется в различных отраслях экономики и используется различными потребителями, включая жилой сектор. На сегодняшний день использование солнечной энергии в жилом секторе пока не предполагает замену традиционных источников энергии, а лишь позволяет получить экономию энергии на привод электрических устройств и приборов общего пользования. На реализацию этой возможности ориентируется настоящее пособие.

Пособие представляет собой учебный материал в качестве раздела курса лекций «Проектирование строительных конструкций с учетом энергоэффективных инженерных систем», который предлагается для включения в учебные программы профильных вузов.

В издании представлены базовые материалы, которые необходимы для проектирования солнечных электростанций (далее СЭС) для целей энергообеспечения жилых зданий. Рассматриваются вопросы размещения, монтажа и установки, разновидности металлических конструкций и систем для монтажа СЭС.

Предлагаемое пособие основано на технических отчетах, справочниках и руководствах и предназначено для повышения квалификации специалистов по проектированию и строительству в области промышленного и гражданского строительства, а также студентов электротехнических, энергетических, проектных специальностей.

© Минск,2016

© Дюсьмикеев А.Б.,2016

## Оглавление

Введение.....	3
1. Основные принципы монтажа солнечных панелей.....	4
1.1 Ориентация и углы установки солнечных панелей .....	4
1.2 Производительность энергии фотоэлектрической системы в зависимости от типа монтажной конструкции .....	5
2. Виды конструкций для наземного монтажа солнечных панелей.....	10
2.1 Трекерная система слежения за солнцем.....	11
2.2 Ориентация по солнцу .....	14
2.3 Трекерная система для крупных станций .....	15
3. Конструкции для монтажа солнечных панелей на крышах.....	17
4. Нестандартные системы монтажа солнечных панелей для поддержки современных архитектурных решений .....	19
4.1 Мобильные конструкции для солнечных панелей.....	19
4.2 Фотоэлектрические модули, интегрированные в ограждающие конструкции зданий.....	20
4.3 Фотоэлектрические модули как часть ограждающей конструкции здания .....	21
4.4 Добавленные и интегрированные фотоэлектрические панели.....	22
4.5 Установка тонкопленочных солнечных элементов .....	27
4.6 Деревья-электростанции в скором будущем .....	33
4.7 Гибридные солнечные коллекторы .....	35
5. Проектирование солнечной электростанции как элемента энергообеспечения многоквартирного энергоэффективного жилого дома в г.Гродно.....	37
5.1 Общие положения.....	37
5.2 Описание системы .....	37
5.3 Основные элементы системы .....	38
Приложения .....	40

## Введение

Солнечная энергетика все больше внедряется в различных отраслях экономики и используется различными потребителями, включая жилой сектор. За последние десять лет стоимость PV-панелей сократилась в четыре раза, и солнечная энергия становится доступной для ее использования в этом секторе. В ряде стран, например, в США, на долю энергообеспечения жилых зданий приходится уже более 20% всех установленных в стране солнечных панелей.

На сегодняшний день использование солнечной энергии в жилом секторе пока не предполагает замену традиционных источников энергии, а лишь позволяет получить экономию энергии на привод электрических устройств и приборов общего пользования. На реализацию этой возможности ориентируется проект ПРООН-ГЭФ «Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь». Настоящее пособие представляет собой учебный материал в качестве раздела курса лекций «Проектирование строительных конструкций с учетом энергоэффективных инженерных систем», который предлагается проектом ПРООН-ГЭФ для включения в учебные программы профильных вузов.

В издании представлены базовые материалы, которые необходимы для проектирования солнечных электростанций (далее СЭС) для целей энергообеспечения жилых зданий. Рассматриваются вопросы размещения, монтажа и установки, разновидности металлических конструкций и систем для монтажа СЭС.

Предлагаемое пособие основано на технических отчетах, справочниках и руководствах, подготовленных проектом ПРООН-ГЭФ (<http://www.effbuild.by/>), и предназначено для повышения квалификации специалистов по проектированию и строительству в области промышленного и гражданского строительства, а также студентов электротехнических, энергетических, проектных и строительных специальностей.

# 1. Основные принципы монтажа солнечных панелей

## 1.1 Ориентация и углы установки солнечных панелей

Установка фотоэлектрических модулей происходит на специальных конструкциях, которые обеспечивают их оптимальную ориентацию на солнце и надёжное крепление к разным типам поверхностей на местах установки: наземные фундаменты, крыши, а также вертикальные поверхности.

Для максимальной производительности энергии фотоэлектрические модули должны быть смонтированы таким образом, чтобы солнечные лучи падали на рабочую поверхность модуля под углом  $90^\circ$ . Добиться данного требования для солнечных установок возможно только при использовании специальных поворотных конструкций с двухосевой системой слежения за солнцем – трекерных систем (см. ниже). Такие солнечные установки, кроме явных преимуществ в максимальном использовании солнечной энергии, являются достаточно дорогими устройствами, потребляют, хоть и незначительно, но постоянно энергию, требуют большую по площади площадку для установки по сравнению с фиксированными конструкциями. Поэтому обычно идут на компромисс в производительности системы и стоимости конструкции, и в основном в фотоэлектрических системах используют стационарные конструкции.

Такие конструкции ориентируют на юг, с незначительными отклонениями по азимуту (см. диаграмму), а также устанавливают с фиксированным, или изменяемым углом наклона.

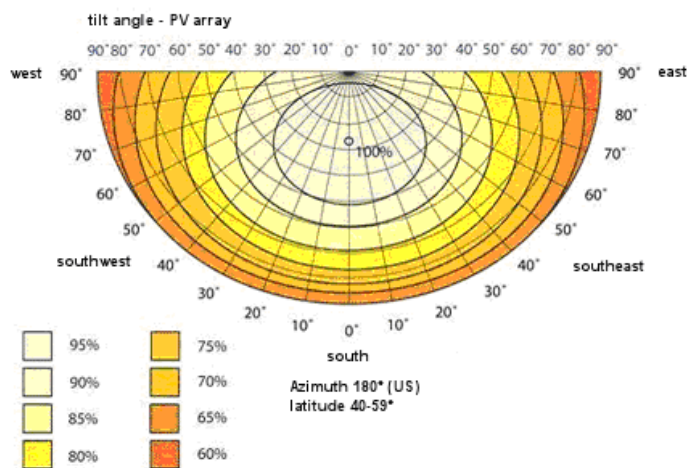


Рисунок 1.1



## 1.2 Производительность энергии фотоэлектрической системы в зависимости от типа монтажной конструкции

Оптимальный угол наклона солнечных панелей зависит от широты местности, а также может быть изменен в зависимости от того, какой оптимизации в производстве энергии необходимо добиться. Так, он может быть уменьшен от оптимального значения, если фотоэлектрическая система работает в летний период (летний оптимум), увеличен, если фотоэлектрическая система эксплуатируется в основном в осенне-зимний период, или принят средним по значению, если фотоэлектрическая система предназначена для круглогодичной эксплуатации.

Приведенный ниже график показывает влияние регулировок угла наклона на производительность. Бирюзовая линия показывает количество энергии, которую можно получать каждый день, если **установка солнечных** панелей произведена на фиксированный оптимальный угол наклона. Красная линия показывает количество солнечной энергии, которую можно получить при регулировании угла наклона четыре раза в год. Фиолетовая линия показывает количество солнечной энергии в день, если **солнечные панели** установлены на зимний угол. Для сравнения, зеленая линия показывает энергию, которую вы получили бы от двухосевой трекерной системы слежения, которая всегда ориентирует панели прямо на солнце. Цифры даны для 40 ° широты

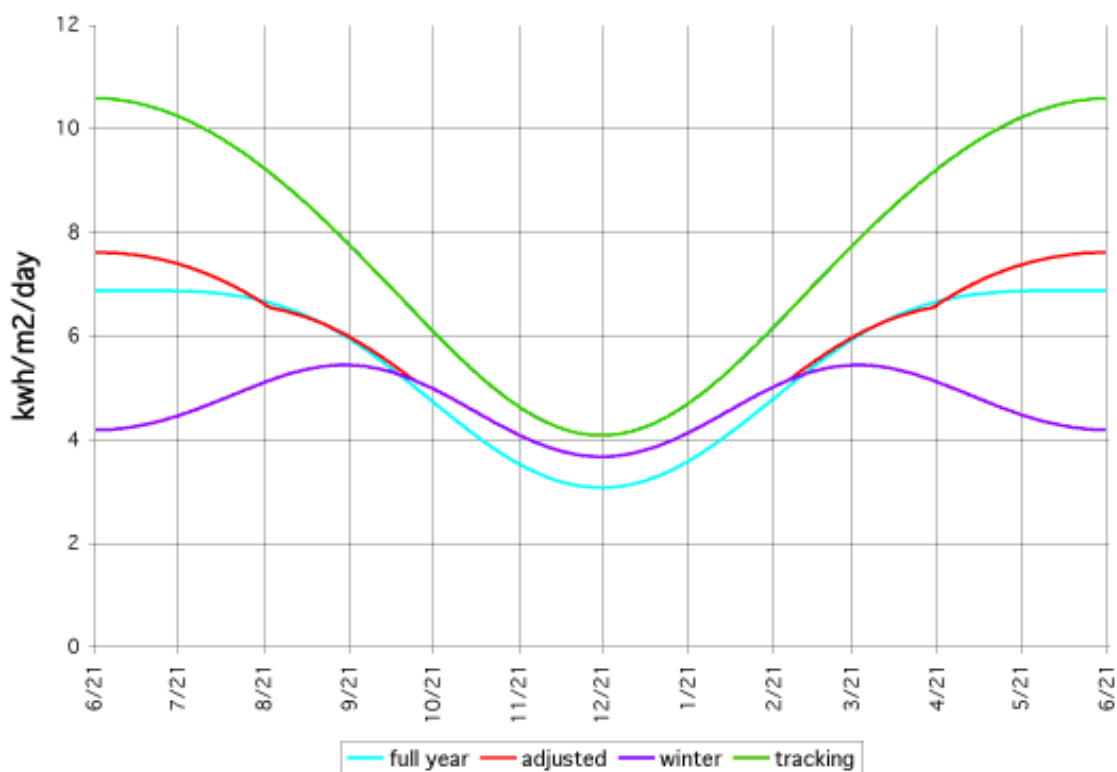


Рисунок 1.2

Широта	Летний угол	Зимний угол	% от оптимального (2-осевого трекера)
25 °	2,3	41,1	76%
30 °	6,9	45,5	76%
35 °	11,6	49,8	76%
40 °	16,2	54,2	75%
45 °	20,9	58,6	75%
50 °	25,5	63,0	74%

При регулировании угла наклона солнечных панелей четыре раза в год на широте между 25 ° и 50° лучшими углами наклона будут:

- для лета числовое значение широты умножить на 0,92, и вычесть 24,3 градуса.
- для весны и осени числовое значение широты умножить на 0,98, и вычесть 2,3 градуса.
- для зимы числовое значение широты умножить на 0,89, и добавить 24 градуса.

Широта	Летний угол	Весенний/осенний угол	Зимний угол
25 °	-1,3	22,2	46,3
30 °	3,3	27,1	50,7
35 °	7,9	32,0	55,2
40 °	12,5	36,9	59,6
45 °	17,1	41,8	64,1
50 °	21,7	46,7	68,5

Оптимальное время для изменения угла наклона на летний период – 18 апреля, на осенний период – 24 августа, на зимний период – 7 октября, на весенний период – 5 марта.

В зимний период солнечные панели, при зимнем угле наклона, будут ориентированы достаточно эффективно, захватив от 81 до 88 процентов энергии по сравнению с трекерной системой. Такой угол наклона является хорошим решением в тех местах, где зимой нагрузка больше, чем летом. Весной, летом и осенью эффективность будет ниже (74-75% весной / осенью, и 68-74% летом), потому, что в эти сезоны солнце проходит большой участок неба, и фиксированная панель не может захватить быть направлена на него под углами, приближающимися к 90 °, значительную часть дня. Это как раз



время года, в котором трекерные системы слежения дают наибольший эффект.

Заметим, что зимой угол примерно на  $5^\circ$  круче, чем то, что обычно рекомендуется. Причина в том, что в зимнее время, большая часть солнечной энергии приходится на полдень, так что фотоэлектрические модули следует ориентировать почти прямо на солнце в полдень. Угол доработан, чтобы получить наиболее полную энергию в течение дня.

Если конструкция фотоэлектрических систем позволяет регулировать угол наклона каждый месяц, то для расчета его значения на широте  $L$  принимаются такие величины.

**С весеннего равноденствия до осеннего равноденствия –**

угол равен широте  $L$  на 22 марта и 22 сентября (равноденствие)

угол равен  $(L - 5^\circ)$  на 3 апреля и 9 сентября (в т. ч. ближайшие 2 недели разницы)

угол равен  $(L - 10^\circ)$  на 17 апреля и 26 августа (в т. ч. ближайшие 2 недели разницы)

угол равен  $(L - 15^\circ)$  на 1 мая и 12 августа (в т. ч. ближайшие 2 недели разницы)

угол равен  $(L - 20^\circ)$  на 22 мая и по 22 июля (в т. ч. ближайшие 2 недели разницы)

угол равен  $(L - 23.5^\circ)$  на 22 июня (летнее солнцестояние)

**С осеннего равноденствия до весеннего равноденствия –**

угол равен широте  $L$  на 22 марта и 22 сентября (равноденствие)

угол равен  $(L + 5^\circ)$ , на 6 октября и 7 марта (в т. ч. ближайшие 2 недели разницы)

угол равен  $(L + 10^\circ)$  на 19 октября и по 22 февраля (в т. ч. ближайшие 2 недели разницы)

угол равен  $(L + 15^\circ)$ , на 3 ноября и 8 февраля (в т. ч. ближайшие 2 недели разницы)

угол равен  $(L + 20^\circ)$  на 23 ноября и 23 января (в т. ч. ближайшие 2 недели разницы)

угол равен  $(L + 23.5^\circ)$  на 22 декабря (зимнее солнцестояние)

Углы наклона для некоторых широт, в зависимости от времени года, представлены на графике

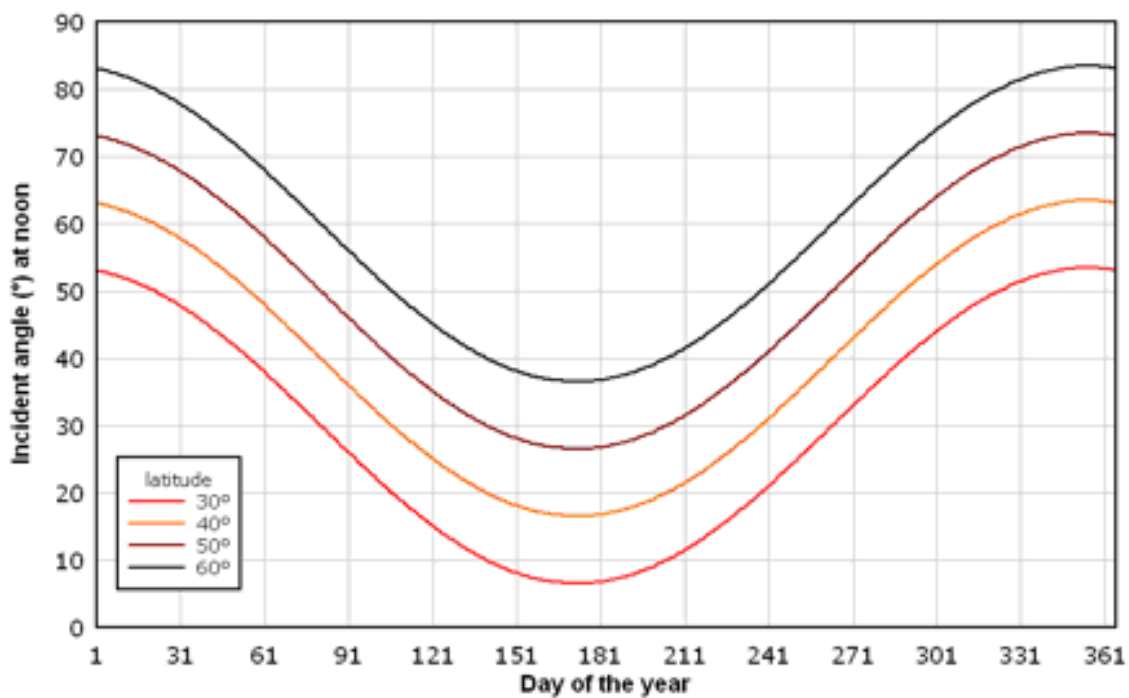


Рисунок 1.3

При расположении конструкций солнечных панелей в несколько рядов, кроме правильной ориентации и угла наклона, очень важным является правильно выбрать расстояние между рядами, чтобы не происходило взаимного затенения поверхности модулей. Для средней полосы, при оптимальном фиксированном угле наклона, зачастую используется простая формула  $d = 3w$ , где  $d$  - расстояние между рядами, и  $w$  – высота панели под оптимальным углом наклона.

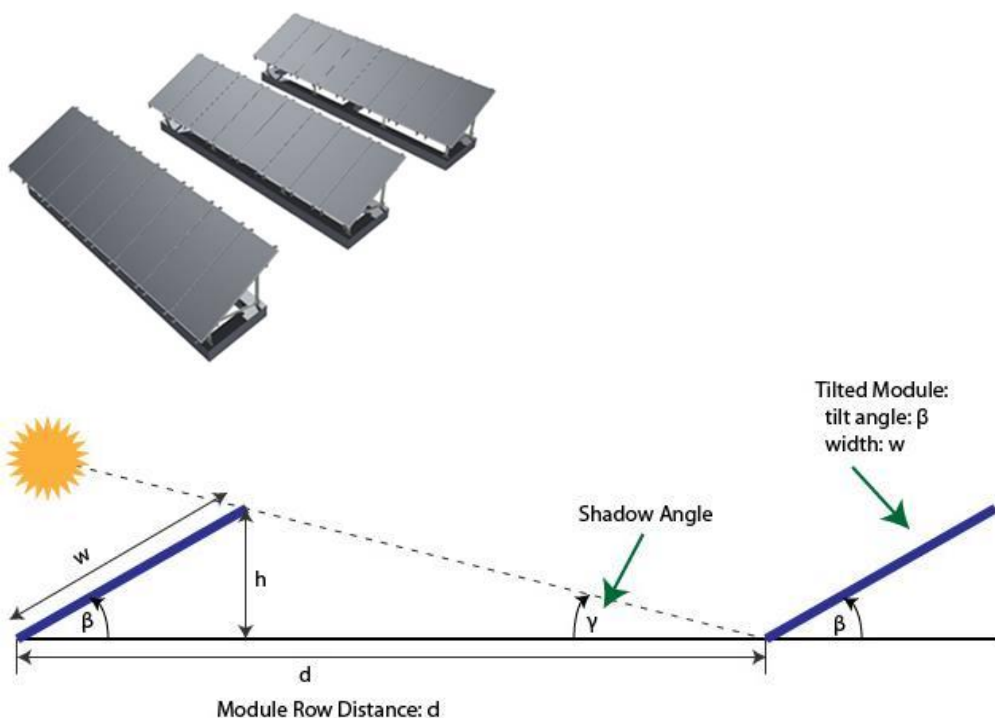


Рисунок 1.4

При углах наклона, близких к  $30^\circ$ , коэффициент использования площадки под фотоэлектрическую систему составляет 33%.

Приведенные данные являются обзорными, собраны из разных источников, и немного отличаются по значению, так как рассчитывались по разным методикам. Основная задача - дать представление о том, насколько оптимально может работать фотоэлектрическая система в зависимости от ориентации и угла наклона солнечных панелей.

## 2. Виды конструкций для наземного монтажа солнечных панелей

Для наземного монтажа солнечных панелей конструкции изготавливаются из оцинкованного железного профиля, собранного в единую конструкцию для крепления одного или группы из нескольких модулей в вертикальной, или горизонтальной плоскости. Такие конструкции устанавливают на бетонный фундамент.

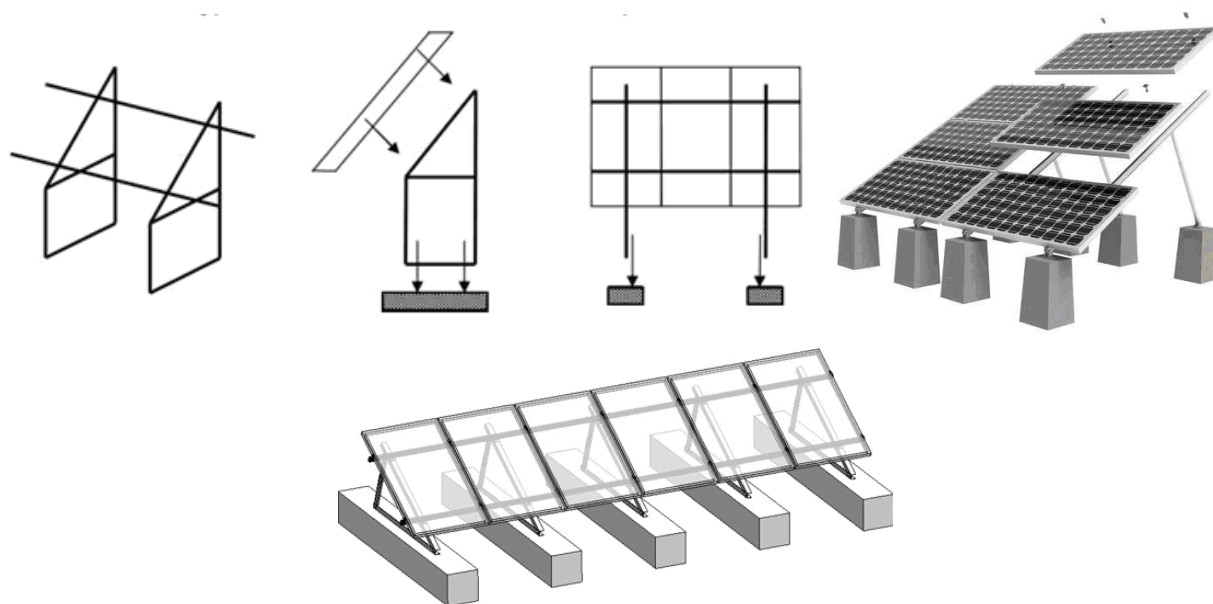


Рисунок 2.1



Рисунок 2.2 – Система автономного электроснабжения мощностью 750 Вт: центральная библиотека в Марьиной Горке, Пуховичский р-н

## 2.1 Трекерная система слежения за солнцем

Кроме стационарных конструкций для установки фотоэлектрических модулей на земле, существуют также поворотные в одной, или двух плоскостях конструкции для систем слежения за солнцем – трекерные системы. Использование трекеров позволяет максимально эффективно сориентировать активную поверхность солнечных панелей и значительно увеличить производительность энергии в сравнении с фиксированным размещением на неподвижных металлоконструкциях – до 30 – 40%.

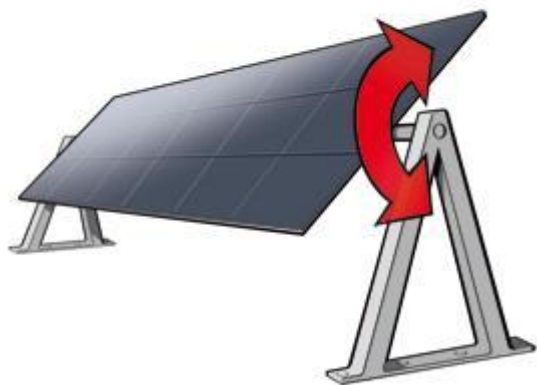
**Одноосные** солнечные трекеры следят за солнцем от восхода до заката, при его движении в течении дня с востока на запад.

Ось может быть ориентирована таким образом, что панель стоит под постоянным к горизонту углом (трекер с полярной осью вращения) или угол относительно горизонта меняется (называется трекером с горизонтальной осью вращения). Горизонтальная ось вращения более подходит для местности в небольших широтах (местах, находящихся ближе к экватору), в то время трекеры полярной осью больше подходят для больших широт.



*Рисунок 2.3 — Одноосный трекер с полярной осью вращения*

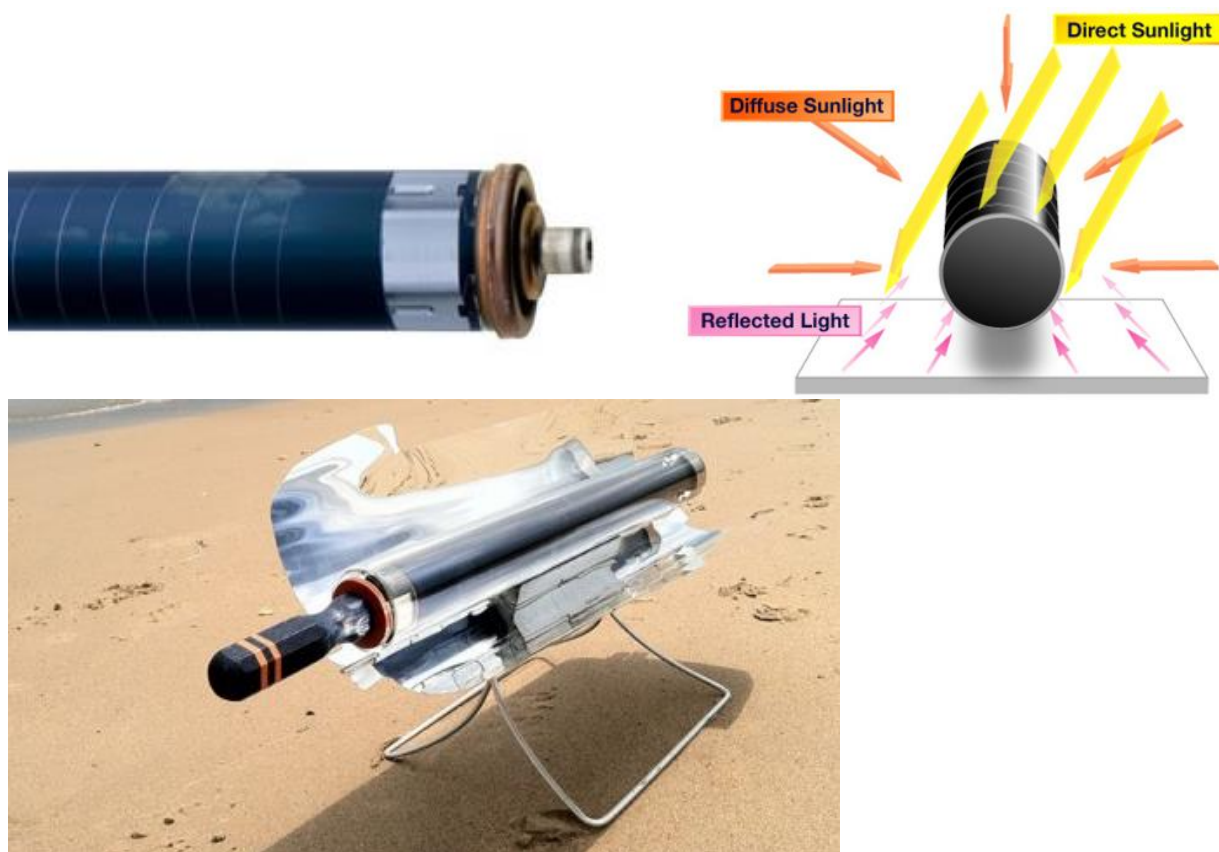
Преимущество одноосных трекеров в том, что они являются менее сложными и, таким образом, более дешевыми. В местах, расположенных ближе к экватору, где траектория движения Солнца по небу изменяется не сильно в течение дня, одноосные трекеры являются особенно эффективными.



*Рисунок 2.4 — Одноосевой трекер с горизонтальной осью вращения*

Одноосевые горизонтальные трекеры также структурно более прочные, и, следовательно, менее вероятно, что они будут повреждены во время ураганов и штормов.

В дополнение к обычным вариантам одноосевых, была разработана новая технология солнечных фотоэлектрических под названием Трубоччатые солнечные панели, где форма фотопреобразователей цилиндрическая, позволяя элементам поглотить максимальное количество световой энергии.



*Рисунок 2.5*



## Двухосевые солнечные трекеры:

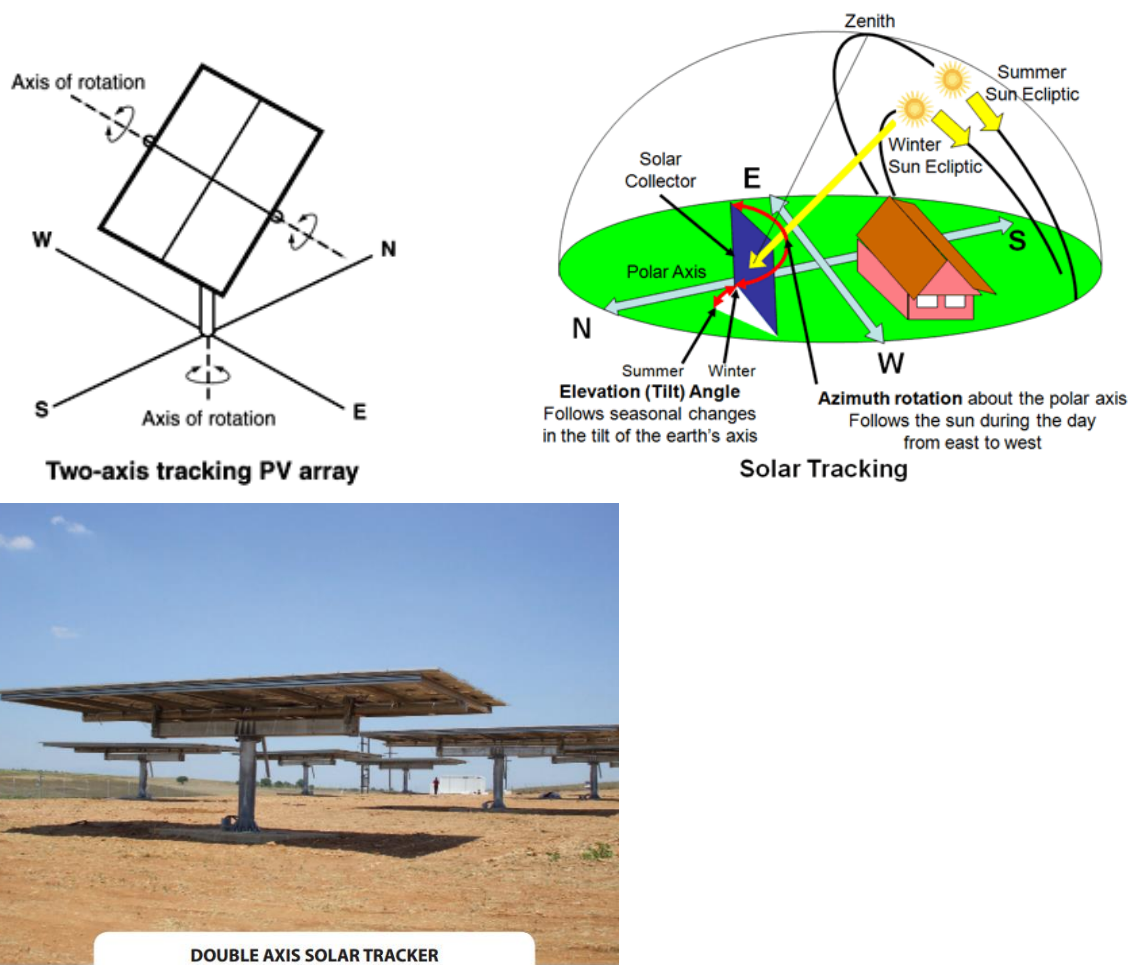


Рисунок 2.6

Итак, рассмотрим строение солнечного трекера. Типичная система состоит из:

- базовой конструкции (неподвижная наземная часть трекера);
- подвижной части (имеет одну или две оси вращения, электрический привод, редукционный блок);
- системы управления трекером, интерфейса для соединения с ПК;
- инвертора для преобразования низковольтного тока от солнечных панелей в ток, который используется двигателем;
- системы крепления фотоэлектрических модулей.

Опционально трекеры могут включать:

- систему защиты (громоотвод, защита от перегрузок, прибор для измерения скорости ветра, система защиты от ураганов и т. д.);
- систему удаленного доступа;
- систему навигации (определение географических координат, высоты над уровнем моря для совершенного слежения за солнцем).



## 2.2 Ориентация по солнцу

Трекер может ориентироваться по солнцу тремя способами:

**Способ 1 – вручную.** Примитивный, самый надежный – оператор выполняет сезонную ориентацию трекера вручную. Этот способ наименее эффективен, но отсутствие измерительной аппаратуры и минимум подвижных частей делают его максимально надежным. Неполадки в механических частях возникают редко.

**Способ 2 – фотодатчики.** Способ распространенный, ненадежный. Заключается в сочетании двух-трех фотоэлектрических датчиков, расположенных под углом  $45^\circ$  относительно плоскости панели, то есть под углом  $90^\circ$  относительно друг друга. Размещение датчиков показано на рисунке ниже. Датчики размещены в оболочках таким образом, чтобы воспринимался лишь узкий луч света. Когда плоскость солнечной панели перпендикулярна солнечному свету, то на каждый датчик попадает одинаковый луч, следовательно, напряжение на всех датчиках одинаково. Когда солнце смещается, то напряжение на датчиках начинает отличаться, и система управления включает привод, пока тот не откорректирует положения панели так, чтобы напряжение датчиков снова было одинаковым. Принцип работы системы несложный, но совсем не надежен.

Система управления с фотодатчиками имеет два существенных недостатка: во-первых, датчики часто загрязняются, в результате чего перестают работать, требуют калибровки. Вторым недостатком является то, что система не работает в пасмурную погоду. Механические неполадки — довольно частое явление для данного типа привода.

**Способ 3 – программный.** Автономная система управления солнечными панелями программируется согласно циклам движения солнца. Система наиболее надежная среди использующих электрические приводы, почти не требует вмешательства операторов. Изменения программы выполняются быстро, при необходимости удаленно. Именно такие системы обычно используются в промышленных солнечных электростанциях.

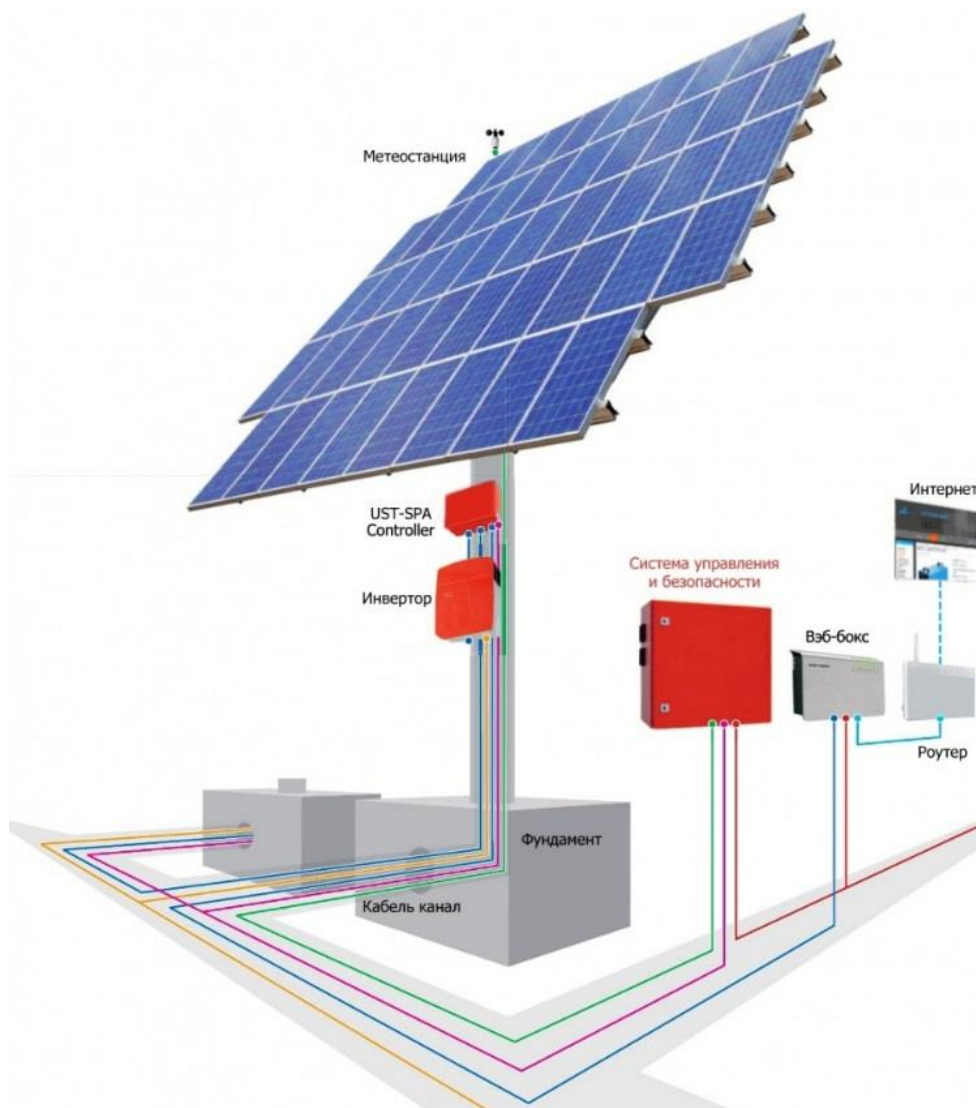
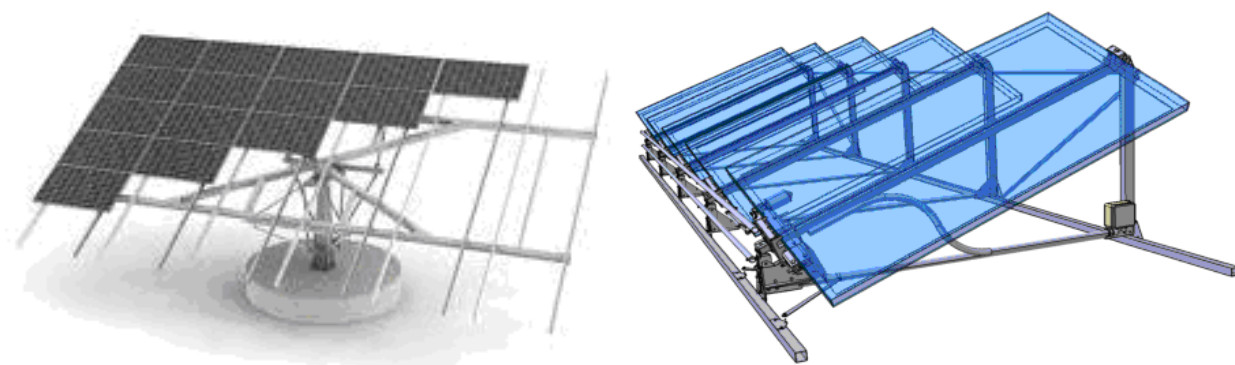


Рисунок 2.7

### 2.3 Трекерная система для крупных станций

Для увеличения КПД фотоэлектрических преобразователей трекеры используются довольно редко, в основном тогда, когда площадь расположения солнечных панелей очень ограничена, требуется максимальная генерация тока. Могут использоваться одно- и двухосевые трекеры. Соотношение стоимости и эффективности трекеров определяет оптимальную мощность размещаемых на них фотомодулей, которая может составлять от единиц до десятка киловатт.



*Рисунок 2.8*

Конструктив трекера должен обеспечивать способность выдерживать сильные ветровые нагрузки при его работе в составе энергосистемы. С увеличением размеров рабочей поверхности полезной нагрузки увеличивается парусность комплекса. Вес полезной нагрузки тоже имеет значение. Поэтому проектировщикам часто приходится в своих решениях перераспределять нагрузки на трекер, увеличивая габариты системы. Надёжность при этом является определяющим фактором.



*Рисунок 2.9*

### 3. Конструкции для монтажа солнечных панелей на крышах

Для монтажа фотоэлектрических модулей на плоских крышах используют конструкции из алюминиевого профиля с опорными элементами из нержавеющей стали. На таких конструкциях монтируют панели в один, или несколько ярусов, ориентируя в горизонтальной или вертикальной плоскости.

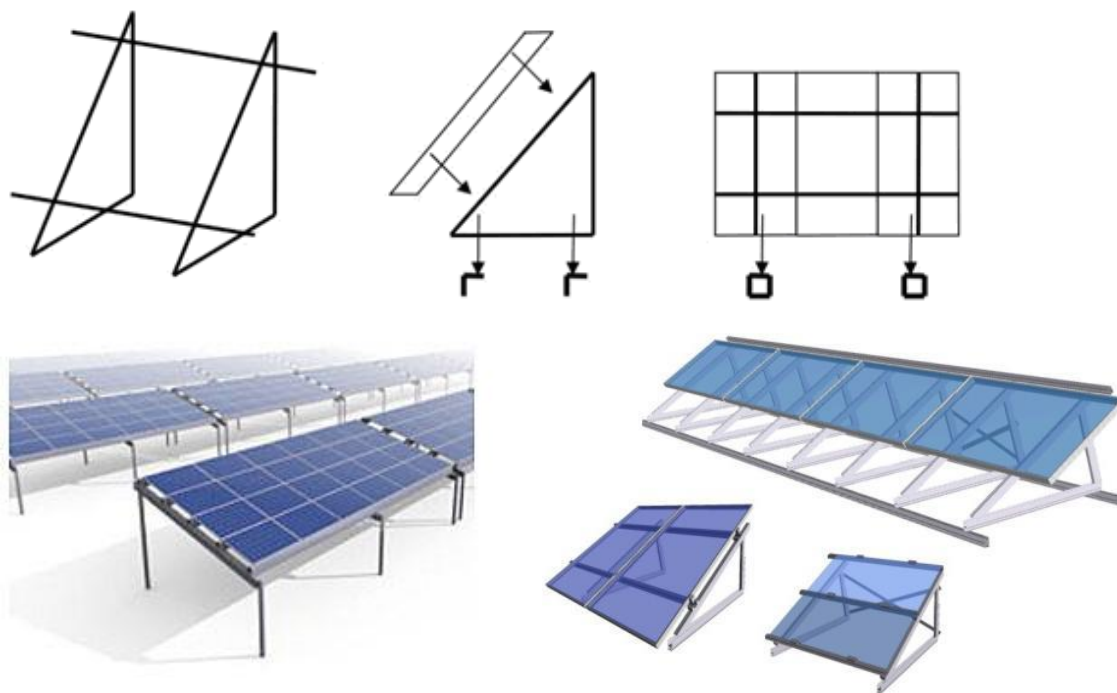


Рисунок 3.1



Рисунок 3.2 – Установка по производству электрической энергии из возобновляемых источников энергии (солнце) мощностью 10 кВт по адресу: г. Брест, ул. Луцкая

На наклонных крышах, ориентированных на юг по азимуту и углу наклона, близкому к оптимальному, монтаж солнечных панелей происходит на алюминиевых профилях, закрепленных на опорных элементах в/на кровле.



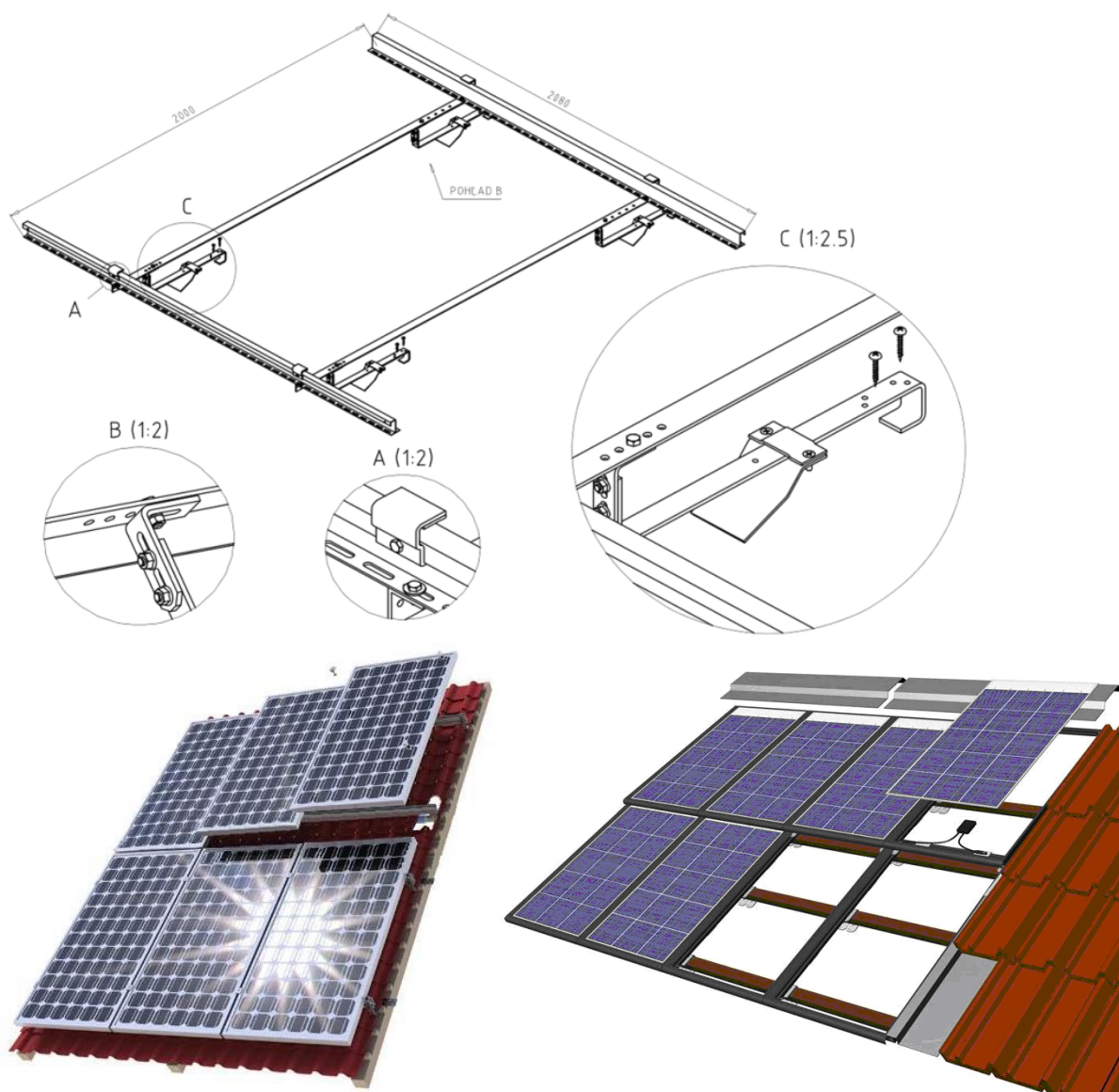


Рисунок 3.3



Рисунок 3.4 — Увеличение мощности коммерческой СЭС до 19 кВт \*ч. на крыше гостиничного комплекса д. Азино, Витебская обл.

## 4. Нестандартные системы монтажа солнечных панелей для поддержки современных архитектурных решений

### 4.1 Мобильные конструкции для солнечных панелей

Конструкции под фотоэлектрические модули для мобильного применения должны обладать возможностью оперативно разворачиваться и ориентировать модули на солнце, а также быть достаточно компактными для транспортировки. Их изготавливают из алюминиевого профиля, с крепежными элементами из нержавеющей стали, применяя поворотные узлы, позволяющие изменять геометрию конструкции и ориентацию всей системы, или отдельных элементов.



*Рисунок 4.1*

На такие конструкции накладываются определенные ограничения, связанные с массогабаритными характеристиками всей системы, а также условий её транспортирования и приведения в рабочее состояние.

Итак, как было рассмотрено выше, производительность фотоэлектрических систем напрямую зависит от того, насколько правильно произведена установка солнечных панелей и подобраны конструкции под них. Выбор и расчет конструкции для фотоэлектрической системы является таким же важным элементом для получения максимального выхода энергии от нее, как и остальные элементы системы – фотоэлектрические модули и инверторы.

## **4.2 Фотоэлектрические модули, интегрированные в ограждающие конструкции зданий**

Активное использование источников возобновляемой энергии способствует все более широкому применению солнечных элементов в облицовке здания. Фотоэлектрические модули (PV), интегрированные в ограждающие конструкции здания, принимают на себя новые функции, не ограничиваясь лишь производством электроэнергии. Одновременно растут и становятся более жесткими требования, предъявляемые к этим системам.

Фотоэлектрические модули предлагаются в виде плоских или гибких поверхностей с ячеистой или многослойной структурой. Их можно встраивать в любую часть оболочки здания, и благодаря своим характеристикам (размеры, гибкость, форма и внешний вид) они могут являться элементом дизайна. Фотоэлектрические модули используют с традиционными для архитектуры материалами – стеклом и металлом, – причем как в непрозрачном, так и в полупрозрачном варианте.

Большая часть фотоэлектрических модулей разрабатывается как исключительно вспомогательные элементы, призванные лишь производить энергию. Типоразмеры модулей оптимизируются для сбора энергии и облегчения процесса сборки, а вопросам их интеграции в архитектуру и конструкцию здания уделяется крайне мало внимания. По этой причине их монтаж и эксплуатация вызывают много вопросов. Основным источником проблемы является недостаточно высокая компетентность производителей фотоэлементов, связанная, как правило, с отсутствием соответствующих стандартов.

Фотоэлектрические модули должны разрабатываться в соответствии с определенными технологическими требованиями и вместе с тем должны совмещать в себе функции ограждающей конструкции (чтобы их можно было легко вмонтировать в кровлю, фасад, парапет и т. д.), быть надежными и безопасными. Встраиваемый модуль должен отвечать более высоким требованиям, нежели традиционный (с точки зрения теплового и механического сопротивления). Это крайне важно особенно в современных условиях, когда стандарты, регулирующие данный вопрос, отсутствуют. Цель нашей работы – помочь производителям и проектировщикам с проведением испытаний для изготовления новых прототипов модулей фотоэлектрических систем, которые было бы возможно интегрировать в ограждающие конструкции новых или существующих зданий.



### 4.3 Фотоэлектрические модули как часть ограждающей конструкции здания

Насущная проблема в сфере фотоэлектрических систем заключается в том, что, с одной стороны, рынок требует экономичных решений с использованием фотоэлектрических систем (стоимость модуля на ватт пиковой нагрузки), а с другой стороны, производители должны самостоятельно разрабатывать новое оборудование, затрачивая на это значительные суммы.

Теоретически фотоэлектрические системы можно использовать на любом участке ограждающей конструкции здания, который подвергается воздействию прямых солнечных лучей. Обычно их размещают на кровле, фасадах и солнцезащитных козырьках. Для монтажа фотоэлектрических систем применяются три метода: добавление фотоэлектрических модулей, замена части ограждающих конструкций и интеграция модулей в ограждающие конструкции. При их использовании следует учитывать особенности ограждающих конструкций, архитектуру, а также энергетические характеристики здания. К примеру, модуль из полупрозрачного двустороннего стекла при использовании его на застекленном фасаде должен также выполнять функции изолирующего элемента с требуемыми характеристиками тепловой изоляции, регулирования инсоляции, защиты от бликов и т. д.

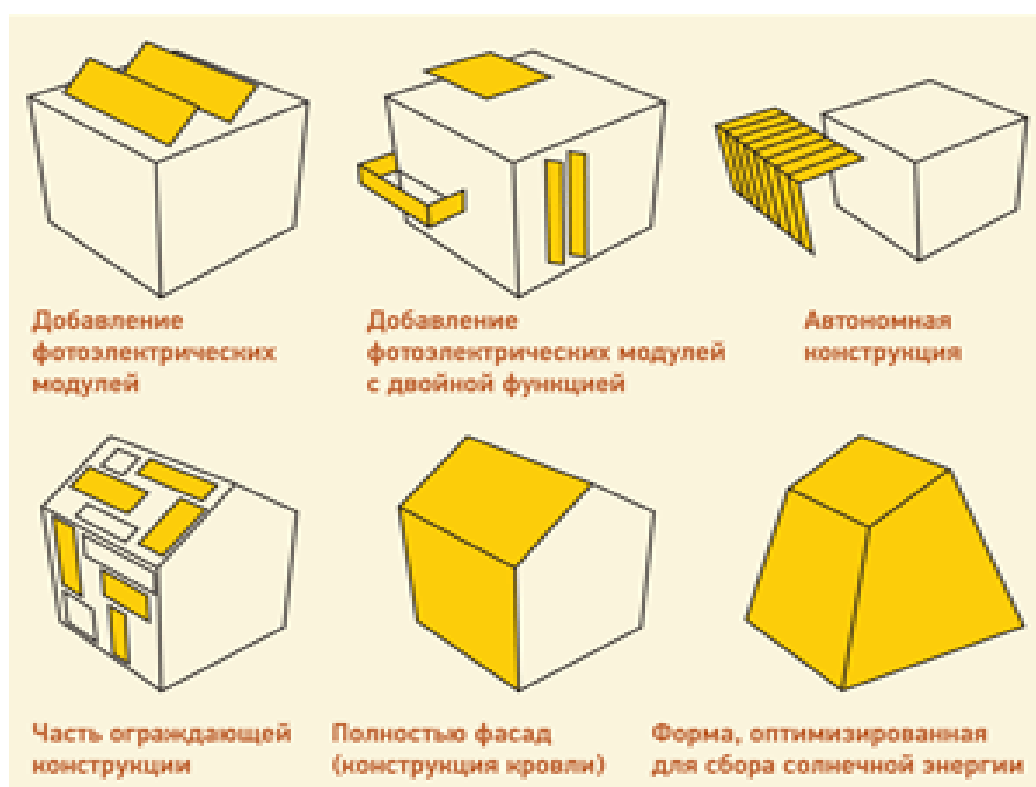


Рисунок 4.2

#### 4.4 Добавленные и интегрированные фотоэлектрические панели

Существует два основных варианта применения фотоэлектрических панелей в здании:

- добавление фотоэлектрических панелей поверх ограждающей конструкции здания (building added photovoltaics, BAPV);
- замена частей ограждающих конструкций здания встраиваемыми фотоэлектрическими панелями (building integrated photovoltaics, BIPV).



*Рисунок 4.3 – Здание оперы, Осло (Норвегия); проект Snohetta. Общий вид снаружи и элемент полосы из двустороннего стекла, являющейся фотоэлектрическим модулем*

Если говорить об элементах, монтируемых поверх ограждающих конструкций, BAPV, то обычно для этих целей применяют традиционные фотоэлектрические модули с соответствующими системами монтажа. BAPV-модули включают в себя широкий спектр фотоэлектрических элементов, устанавливаемых на фасаде здания, а также ряд традиционных фотоэлектрических систем для монтажа на кровле – обычно после завершения строительства. К фотоэлектрическим модулям обычно не выдвигаются специальные требования, поскольку они не несут каких-либо дополнительных функций для здания. Достаточно проведения лишь ряда испытаний ИЕС с небольшими корректировками.

При этом фотоэлектрические модули, призванные заменить традиционные элементы ограждающих конструкций здания, должны компенсировать все функции удаляемого элемента. Это означает, что модуль, встраиваемый в ограждающие конструкции, BIPV должен удовлетворять большему числу требований, чем стандартный фотоэлектрический модуль. Стандарты, регулирующие этот вопрос, в настоящее время отсутствуют. По этой

причине система должна соответствовать нескольким нормативам: стандарту по электротехническим требованиям (см. Директиву по низковольтному оборудованию 2006/95/IEC или стандарты CENELEC), а также стандартам по строительным изделиям (см. Директиву ЕС по строительным изделиям CPD 89/106/EEC, например EN ISO 12543).



*Рисунок 4.4 – Размещение модуля поверх конструкции. Каждый модуль можно испытывать отдельно, т. к. их работа не связана друг с другом*



*Рисунок 4.5 – Фотоэлектрическая установка, все элементы которой являются частью кровли здания (Ферма в Морисвиле)*





*Рисунок 4.6*

Однако если соответствие стандартам IEC гарантируется производителем фотоэлектрического модуля и указывается в его паспорте, то строительные требования до сих пор не включены в процедуру сертификации и маркировки модулей. Для единообразия стандартов CENELEC запустил проект «prEN 50XXX: Фотоэлектрические элементы зданий» (CLC/TC 82), который основан на работе Технического комитета по электротехнической стандартизации и целью которого является «подготовка европейских стандартов для систем и элементов преобразования солнечной энергии в электрическую, а также для всех составляющих единой фотоэлектрической системы». В проекте стандарта определено несколько категорий его применения, которые подразделяются в соответствии с обязательными требованиями Директивы ЕС по строительным изделиям: механическая прочность и надежность, пожаробезопасность, санитарно-гигиенические и экологические требования, безопасность эксплуатации, защита от шума, энергоэкономичность и теплозащита.

Для ликвидации этого пробела и помощи производителям фотоэлектрических систем в вопросе сертификации качества продукции Швейцарский центр испытаний фотоэлектрических модулей разрабатывает VIPV-методику, которая должна охватывать все законодательные требования ЕС. Прежде всего, интегрированные фотоэлектрические модули не должны рассматриваться как автономные элементы; они являются частью

ограждающей конструкции здания (к примеру, черепица на кровле). Результаты проводимых испытаний должны убедить домовладельцев в том, что встроенные в кровлю фотоэлектрические модули, например «солнечная черепица», восполняют функции ограждающей конструкции по механической прочности, пожарной безопасности и герметичности всей системы. Крайне важную роль играют также элементы крепежа, для которых тоже необходимо проводить специальные испытания. Испытание на прочность «солнечной черепицы». В стандарте IEC 61215 описан процесс испытания фотоэлектрических модулей, встраиваемых в кровлю здания (таких как «солнечная черепица»). Для этого под нагрузкой 2 400 Па (в соответствии со стандартом IEC) испытывался не только модуль, но также и системы крепежа, зажимных приспособлений и монтажных конструкций. Для проведения эксперимента вся конструкция была помещена в камеру для испытаний на нагрузку. На конструкции модуля, крепежных и зажимных приспособлениях было размещено до шести датчиков, фиксирующих отклонение по вертикали с погрешностью до 0,5 мм.



*Рисунок 4.6 – Пример испытания на прочность для модулей «солнечной черепицы»*

Испытания всей конструкции в реальных условиях указывают на слабые места оборудования и проблемы крепления модулей друг с другом и с ограждающей конструкцией.

Встраиваемые фотоэлектрические модули (BIPV) являются электрическими установками, поэтому они должны соответствовать стандартам по электрическим системам. Кроме этого, поскольку данные модули являются в то же время элементом ограждающей конструкции здания, они должны соответствовать требованиям строительных стандартов. Стандарт prEN 50583 призван объединить существующие требования, а также ликвидировать пробелы в нормативной документации.

На южной стене Научно-исследовательского центра в Невшателе (Швейцария) появился солнечный фасад. Интегрированные в него солнечные панели сделаны по экспериментальной технологии, разработанной компанией Meyer Burger. Фасад создан с использованием технологии высокоэффективных гетеропереходов для солнечных панелей (HJT) и «умной» системы соединения панелей SmartWire (SWCT).



*Рисунок 4.7 – BIPV-фасад в Швейцарии*

Фотоэлектрический фасад отличается элегантным дизайном своих модулей. Благодаря практически невидимым соединительным элементам солнечные модули фасада образуют почти однородную поверхность на протяжении 633 кв. м. Всего на реализацию этого проекта ушло 18 месяцев, а финансированием строительства занимались власти города, энергоснабжающая компания Viteos и научный центр CSEM. Инновационные технологии позволили добиться высокой энергоэффективности фасада и гарантировали максимальный выход энергии даже при очень высоких температурах.

По словам специалистов из Meyer Burger, интегрированные в здание солнечные панели (BIPV) становятся строительным материалом, который прекрасно впишется в архитектурную стилистику любого здания. А применение в них новых технологий высокоэффективных гетеропереходов и умной системы соединения панелей SmartWire (SWCT) позволит увеличить производительность солнечных панелей в различных климатических зонах.

Новейшие солнечные панели, созданные с применением этих технологий, станут доступны для массового потребителя в Швейцарии уже в середине 2016 года.

#### **4.5 Установка тонкопленочных солнечных элементов**

Конкурентоспособность солнечной энергетики определяется, главным образом, двумя наиболее значимыми факторами: во-первых – это эффективность преобразования солнечной энергии в электричество, а во-вторых, - конечно же, цена. Однако, занимающие ведущее положение на мировом рынке, панели из кристаллического кремния, несмотря на наметившуюся тенденцию к повышению эффективности, далеко не дешевы. Причем, основная часть их стоимости приходится на долю кремния. Наземные солнечные панели до некоторых пор не могли соперничать с традиционными источниками энергии, кроме, разве что, удаленных от центральных сетей мест, где реальной альтернативы солнечной энергии просто нет. Рост цен на поликристаллический кремний, ограничения поставок, недостаточные оптические характеристики, ограниченность захвата солнечного спектра и другие менее значимые недостатки кремниевых моно- и поликристаллических элементов привели ученых к необходимости поиска более надежных и эффективных материалов для солнечных элементов, а также создания новых усовершенствованных технологий для их производства.

Тонкопленочные технологии, являющиеся на сегодняшний день наиболее перспективными в солнечной энергетике, позволили существенно снизить затраты на производство. Разработано несколько типов тонкопленочных фотоэлементов, как находящихся на стадии исследований и экспериментов, так и успешно применяемых в различных областях человеческой деятельности.

Наиболее известные из них – это:

- аморфный кремний (a-Si: H);
- теллурид/сульфид кадмия (CTS);
- медно-индиевый или медно-галлиевый диселенид (CIS or CIGS), тонкопленочный кристаллический кремний (c-Si film);
- нанокристаллические сенсibilизированные красителем электрохимические фотоэлементы (nc-dye).



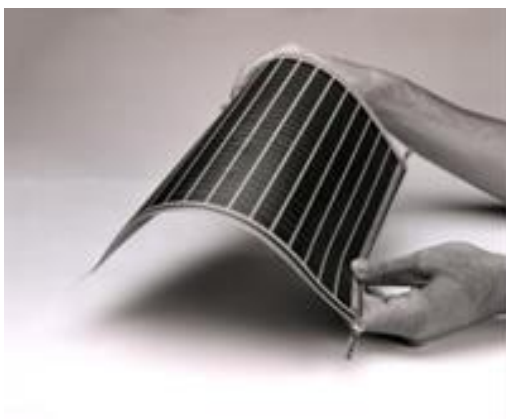


Рисунок 4.8

Специалистами компании Flisom была предложен и разработан инновационный тип светочувствительной пленки для солнечных панелей, позволяющий предположительно снизить себестоимость генерируемого электрического тока до 0,5 долларов за ватт, что почти в два раза ниже себестоимости электроэнергии, производимой при сжигании углеводородного топлива. Данная разработка основана на применении в качестве полупроводника не чистого кремния, а селенида меди-индия-галлия (copper indium gallium selenide, CIGS), нанесенного на гибкую поверхность. Тонкопленочный элемент такого состава получается при распылении меди, индия и галлия с последующей обработкой парами селена.

Гибкость и тонкослойность открыли для солнечных панелей новые сферы применения. Тонкопленочные элементы могут быть встроены в различные электронные приборы, строительные конструкции и даже ткани. По прогнозам специалистов, развитие тонкопленочных технологий в солнечной индустрии приведет всего через 10 лет к завоеванию почти 50% всего энергетического рынка.

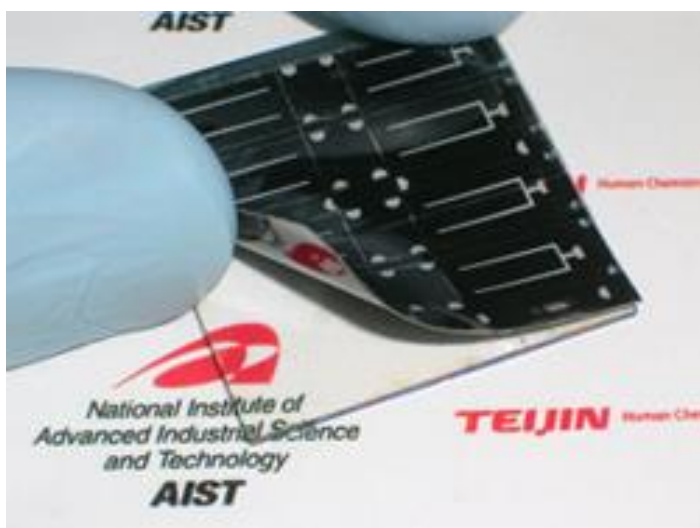


Рисунок 4.9

В сравнении с применяемыми видами солнечных панелей тонкопленочные обладают рядом преимуществ:

- нанесение таких элементов возможно на поверхности любой конфигурации – стеклянные фасады зданий, оконные стекла зданий и автомобилей, что делает их уже готовыми источниками электроэнергии;
- меньшая материалоемкость приводит к сокращению финансовых затрат;
- способность воспринимать рассеянное солнечное излучение с большей эффективностью, чем объемные кремниевые панели позволяет применять их в местах с низкой инсоляцией;
- затемнение и нагрев тонкопленочных модулей оказывают на них меньшее негативное влияние, чем на кристаллические объемные модули.

Кремниевые тонкопленочные элементы занимают сегодня около 80 % объема мирового рынка тонкопленочных солнечных ячеек, около 18 % принадлежат пленкам на основе теллурида кадмия и лишь 2 % занимают тонкопленочные элементы из селенида меди-индия-галлия.

Уже сейчас понятно, что будущее солнечной энергетики за тонкопленочными технологиями. Исследования и разработки в области тонкопленочных солнечных элементов направлены на усовершенствование существующих и создание новых технологий, упрощающих эксплуатацию, повышающих КПД и снижающих затраты на производство.

Сравнительная характеристика объемных кремниевых панелей (КПД 20-25 %) и тонкопленочных панелей из аморфного кремния (КПД 10 %), теллурида кадмия (КПД до 16 %) и селенида меди-индия-галлия (КПД до 20%) доказывает явное преимущество тонкопленочных солнечных панелей на основе селенида меди-индия-галлия, так как выработка 1000 Вт электроэнергии такой панелью достигается пленкой площадью в 9-11 кв. метров, тогда как для пленки из теллурида кадмия для генерирования такого же количества энергии требуется 12-17 кв. метров, а для кремниевой – 14-20 кв. метров.



*Рисунок 4.10*

Хорошо освоенным и практичным способом производства тонкопленочных солнечных панелей является способ, связанный с применением закаленного стекла, что обусловлено его прозрачностью для солнечного излучения и, в то же время, прочностью. В одном из вариантов фотоэмульсионная пленка размещается внутри стекла триплекса. Тонкопленочные стеклянные солнечные панели особенно популярны в архитектуре зданий, автомобилестроении и индивидуальном домостроении. Светодиодные триплексы, камеры слежения, уличные осветительные приборы, садовые фонтаны, фонари и пр. – идеальные сферы применения тонкопленочных элементов. Такие стеклянные солнечные панели в темное время суток работают от аккумуляторов, заряжающихся днем энергией солнца от солнечной панели.



*Рисунок 4.11*

Уже не менее 10 компаний в мире выпускают прозрачные солнечные панели, которые можно вставлять в окна зданий вместо обычного стекла. Конечно, электроэнергии они вырабатывают пока еще недостаточно в сравнении с обычными солнечными панелями, однако, если такими окнами-панелями оснастить высотное здание, то резервный генератор для аварийных ситуаций будет в таком случае лишним.

Так, например, самое высокое здание в США чикагский 110-этажный небоскреб Уиллис-тауэр может стать солнечной электростанцией. Предполагается остеклить фасады здания стеклянными панелями, аккумулирующими солнечную энергию. Еще в ноябре 2010 года на 56 этаже здания были установлены 2 оконные фотоэлектрические панели, разработанные израильской компанией Pythagoras Solar. Окна-панели представляют собой своеобразный сэндвич из двух слоев обычного стекла и слоя фотоэлементов между ними, чередующегося с призмами. Такие окна свободно пропускают рассеянный свет и обеспечивают видимость, а прямые солнечные лучи, попадая на призмы, отражаются на фотоэлементы. Каждое такое окно имеет мощность равную 120 Вт, сопоставимую с мощностью обычной солнечной панели, устанавливаемой на крыше. В летнее время оконные фотоэлектрические панели сокращают поступление тепла в здание, что уменьшает расходы на кондиционирование. При остеклении восточного и западного фасадов Уиллис-тауэра новыми оконными системами, суммарная вырабатываемая мощность достигнет 2 МВт, что эквивалентно мощности, генерируемой средней электростанцией.

Полупрозрачные солнечные тонкопленочные панели встраивают в автомобильные люки компании Audi и Volkswagen. Количества генерируемой ими энергии достаточно пока лишь для работы вентилятора в салоне автомобиля, стоящего, к примеру, на заливаемой солнцем автопарковке, или GPS-навигатора.

Основными производителями тонкопленочных солнечных панелей являются Германия, Япония, США и Китай.

Как уже отмечалось, наиболее перспективным видом тонкопленочных фотоэлементов являются пленки на основе диселенида меди-индия-галлия (CIGS). Самыми распространенными методами получения такой пленки является напыление или распыление меди, индия и галлия одновременно либо поочередно и последующая обработка полученной пленки парами селена. Основной проблемой при массовом производстве является получение однородного состава на больших площадях элемента. Методы осаждения

пленок CIGS из паровой фазы основан на использовании дорогостоящих вакуумных камер и электронных пушек. Наиболее дешевы методы ионного распыления и высоковакуумного напыления, однако при использовании этих методов возникают другие проблемы, например, пленкой покрывается не только подложка, но и вся камера.

Недостаток поставок индия также может затормозить производство CIGS, так как основной областью применения индия являются в настоящее время плоскопанельные дисплеи.

Таким образом, приоритетными направлениями исследований на пути создания оптимального метода нанесения CIGS должны стать получение однородности и снижение себестоимости за счет усовершенствования материалов и технологий.

Прогрессивным методом нанесения CIGS является метод печати, используемый такими ведущими производителями в этой отрасли как International Solar Electric Technology, Nanosolar и другие. Метод печати основан на использовании суспензии частиц оксидов металлов. Варьируя такими характеристиками суспензии, как, например, вязкость, зависящими от размера самих частиц, их концентрации и др., возможно получать, так называемые, «чернила» для печати, наиболее подходящие к конкретному методу печати – от трафаретной печати до струйного осаждения. Подложки при использовании методов печати могут быть из самых разнообразных материалов: металлической фольги, стекла и пластика. Коэффициент использования материалов в этих методах достигает 90 % и выше, причем используемое оборудование является более дешевым, чем при вакуумных процессах. Однородность при использовании этого метода также существенно повышается. Все это говорит о перспективности невакуумных методов получения CIGS. КПД недавно созданной фирмой Nanosolar солнечной панели CIGS, полученной методом печати равнялся 14%. панели же, полученные методом осаждения из паровой фазы, обладали эффективностью 18,8 %, однако, не надо забывать, что процесс осаждения протекал на очень дорогостоящем оборудовании. Серийно выпускаемые в настоящее время аморфные кремниевые панели имеют КПД 9,8 %.



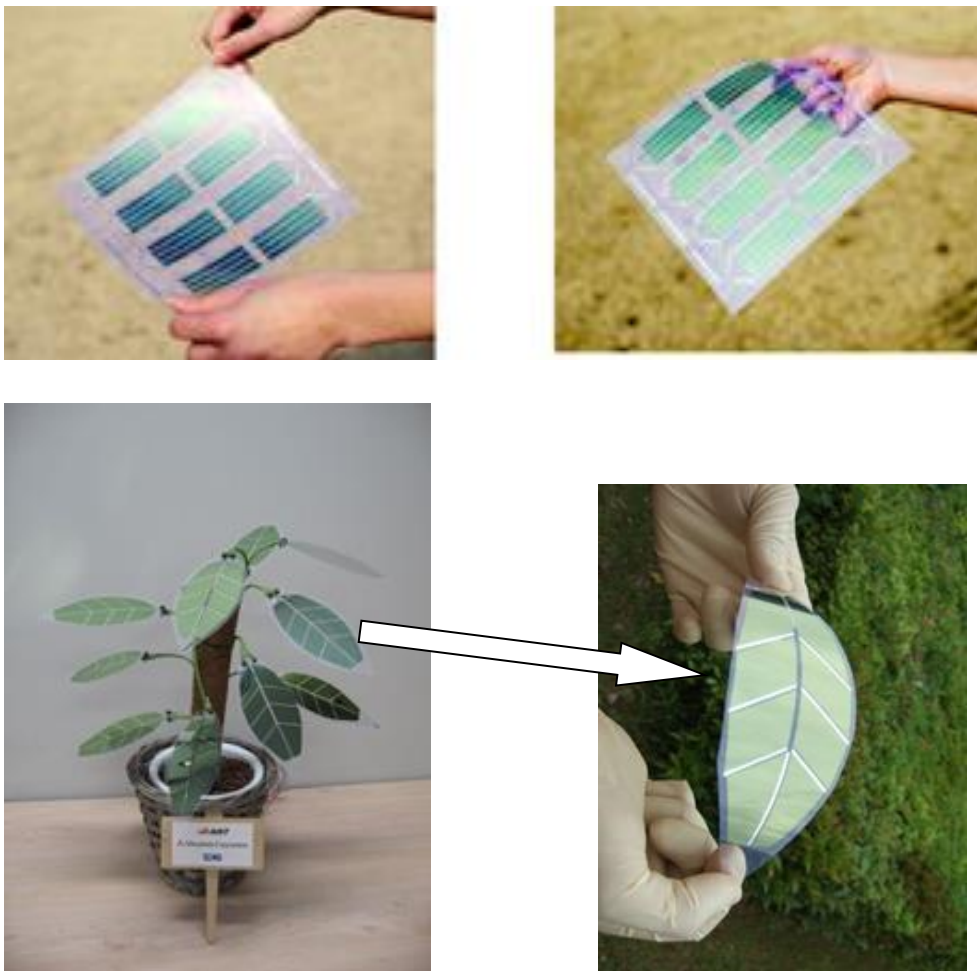


Рисунок 4.12

Новая разработка стэнфордских ученых позволит повысить эффективность солнечных тонкопленочных элементов. Это тонкопленочные солнечные элементы, сенсibilизированные красителем. Панель фотоэлемента, сенсibilизированного красителем, представляет собой пластину из стекла или металла, покрытую фоточувствительной краской. КПД этих недавно появившихся на рынке тонкопленочных панелей составляет приблизительно 11%. Ученые из Стэнфорда использовали специальный металлический отражатель, позволивший повысить эффективность такой панели до 20%. Отражатель представляет собой покрытие из тонкой серебряной пленки с наноразмерными выемками: выемки способствуют улавливанию большего количества света внутри солнечной ячейки, повышая тем самым КПД на 5-20%.

#### 4.6 Деревья-электростанции в скором будущем

Национальным институтом промышленных исследований и технологий Японии, корпорацией Mitsubishi и компанией Tokki был создан новый тип тонкопленочных солнечных панелей. Рабочий слой такой панели не превышает 1 мм, основную же часть панели составляет пластиковая подложка, выполняющая защитные функции. Эти, так называемые, органические тонкопленочные солнечные панели, включают в себя: пластиковую подложку, фталоцианиновый (пигментный) слой и слой фуллеренов. Объединив 8 таких солнечных элементов в модуль, имеющий форму листа растения площадью 60 см<sup>2</sup>, ученые продемонстрировали возможности новой технологии.



*Рисунок 4.13*

Новым этапом, открывающим совершенно новые сферы применения, стала разработка технологического концерна 3М, создавшего надежное, не пропускающее воду полимерное покрытие для ультратонких солнечных элементов и обладающее значительным ресурсом (до 20 лет). Фторполимерная пленка толщиной всего в 23 микронметра, что составляет одну сотую часть толщины стеклянного покрытия, в перспективе заменит стеклянные покрытия, применяемые в традиционных солнечных элементах. Несмотря на низкую себестоимость, водонепроницаемость и долговечность, стекло — это тяжелый, твердый и хрупкий материал. Поэтому транспортировка солнечных элементов с защитным стеклянным покрытием сопряжена с определенными проблемами и требует соответствующих затрат. При использовании новой фторполимерной пленки эти проблемы отпадают сами собой. Каркас, в который вставляются солнечные элементы, также становится не нужен, что сильно облегчает общий вес солнечных модулей. Солнечные элементы с ультратонким покрытием можно монтировать прямо в крышу здания, не боясь перегрузок.

Обтянутые пластиковой пленкой солнечные элементы уже производятся. Примером могут служить солнечные панели, встроенные в палатки или рюкзаки. Однако покрытие для этих элементов оставляет желать лучшего: такие панели недостаточно изолированы от влаги, что сравнительно быстро выводит из строя тонкослойные элементы, да и ресурс их невелик.



*Рисунок 4.14*

Квадратный метр нового фторполимерного покрытия пропускает всего 0,5 миллиграмма влаги, устойчив к высоким температурам и разрушающему действию ультрафиолета, что и является причиной столь долгого срока службы.

Особенно важно это открытие для ультратонких элементов CIGS – смеси меди, индия, галлия и селена с более высоким КПД (на 50 %), чем элементов из аморфного кремния. Материал CIGS-полупроводников гораздо чувствительнее к избытку влаги, чем аморфный кремний. Фотоэлементы CIGS вполне возможно выпускать на металлических или пластиковых лентах, однако при отсутствии более подходящего материала для покрытия, использовали стекло. Новое полимерное покрытие можно будет использовать при производстве не только фотоэлементов CIGS, но и кадмиево-теллуридовых и органических солнечных элементов.

#### **4.7 Гибридные солнечные коллекторы**

Гибридные солнечные коллекторы способны вырабатывать электроэнергию и тепловую энергию одновременно. Данный солнечный коллектор представляет собой объединение фотоэлектрической панели и теплового солнечного коллектора и сокращенно называется PVT панель.

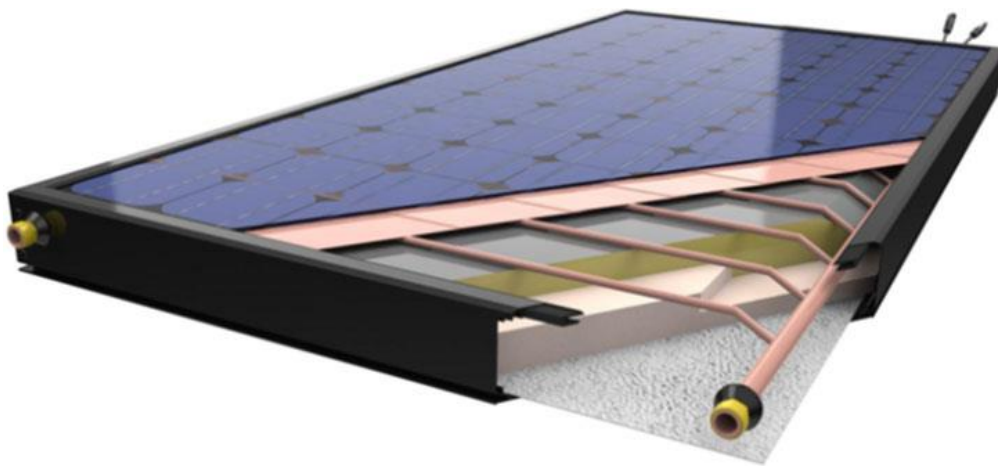


Рисунок 4.15

Такой симбиоз позволяет **в два раза сократить площадь установки** при необходимости использования одновременно солнечных коллекторов и фотоэлектрических модулей на одном здании.

В теории такое решение кажется очень эффективным и позволяющим решить ряд проблем. Однако на практике не всегда удастся добиться максимальной эффективности гибридного солнечного коллектора PVT.

В основном это связано с тем что в летний период температура теплоносителя не должна превышать 50 °С, поэтому работа таких систем для горячего водоснабжения весьма ограничена. А при отсутствии циркуляции теплоносителя температура на поверхности фотоэлементов повышается значительно больше, чем у обычных солнечных панелей из-за использования дополнительной теплоизоляции. Так же в гибридных PVT модулях не используется высокоселективное покрытие и поэтому тепловая производительность будет значительно меньше относительно классических солнечных коллекторов.

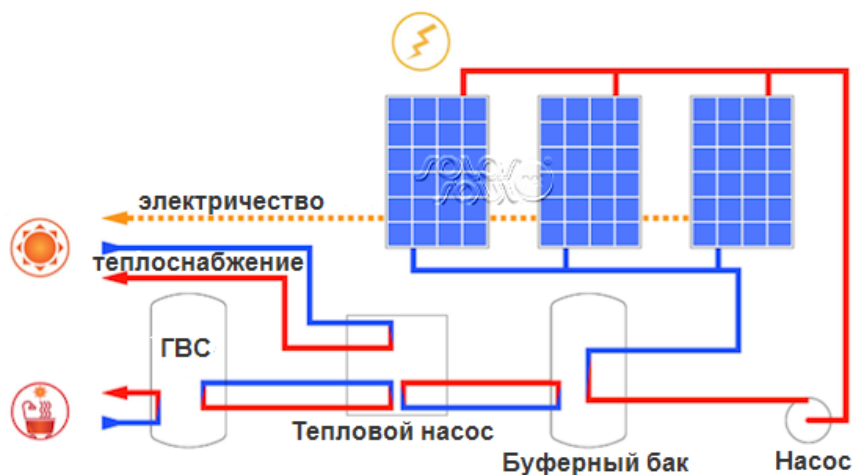


Рисунок 4.15 – Вариант применения гибридных модулей PVT



## **5. Проектирование солнечной электростанции как элемента энергообеспечения многоквартирного энергоэффективного жилого дома в г.Гродно**

### **5.1 Общие положения**

Система солнечной электростанции предназначена для установки на кровле и фасаде 10-ти этажного 120-и квартирном энергоэффективного жилого дома в г.Гродно в рамках проекта ПРООН/ГЭФ «Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь», №00077154.



*Рисунок 5.1 – Внешний вид многоквартирного жилого дома в г.Гродно*

### **5.2 Описание системы**

Здание имеет юго-западную ориентацию, при которой оптимальный угол наклона солнечных модулей на кровле, при котором снижение выработки электрической энергии относительно южной ориентации не превышает 5%, составляет 30 град. Выбором указанного угла определяется сезон максимальной выработки солнечной станции в период от весеннего до осеннего равноденствия, а именно: с 22 марта по 23 сентября календарного года. Выработка в зимний период (декабрь-январь) незначительна.

На кровле здания представлено расположение 100 солнечных модулей. На фасаде здания 196 солнечных модулей расположены вертикально.



Установленная электрическая мощность солнечной станции – 75 кВт (из них 25 кВт на кровле, 50 кВт на фасаде).

Система солнечной станции состоит из следующих основных элементов:

- солнечные модули;
- инверторы.

Солнечные модули на кровле последовательно соединены солнечным кабелем PV-1F в 5 блоков по 20 штук. Солнечные модули на фасаде здания последовательно соединены в 8 блоков по 20 штук и 2 блока по 18 штук. Каждый блок подключен к отдельному входу MPPT контроллера инвертора.

Выходы инверторов подключены к щиту силовому, который соединен с вводным распределительным устройством (ВРУ2), питающим инженерное оборудование здания. Во ВРУ2 установлен двунаправленный счетчик электрической энергии для коммерческого учета выработанной электроэнергии и учета затраченной на питание инверторов.

Применяемые инверторы оснащены встроенной (или блоком внешней) комплексной защиты от воздействия атмосферных грозовых разрядов и индуцированных импульсных скачков перенапряжения.

Металлические конструкции каркасов солнечных модулей соединяются с молниезащитной сеткой системы молниезащиты.

Для понимания принципа работы солнечной станции прилагается следующая документация (Приложение 1-4):

- Однолинейная схема присоединения к сети;
- Схема прокладки кабельных трасс на фасаде здания;
- Расположение и крепление оборудования на кровле;
- Схема с границами поставки.

### **5.3 Основные элементы системы**

Солнечные модули – 296 шт, тип модулей – поликристаллические.

Инверторная группа. Суммарная мощность инверторов для фасада – не менее 50 кВт, для кровли – не менее 25кВт.

Солнечный кабель PV-1F, включая коннекторы MC-4. Метраж кабеля и количество коннекторов определяется исходя из электрической схемы, определяемой конфигурацией применяемого оборудования.

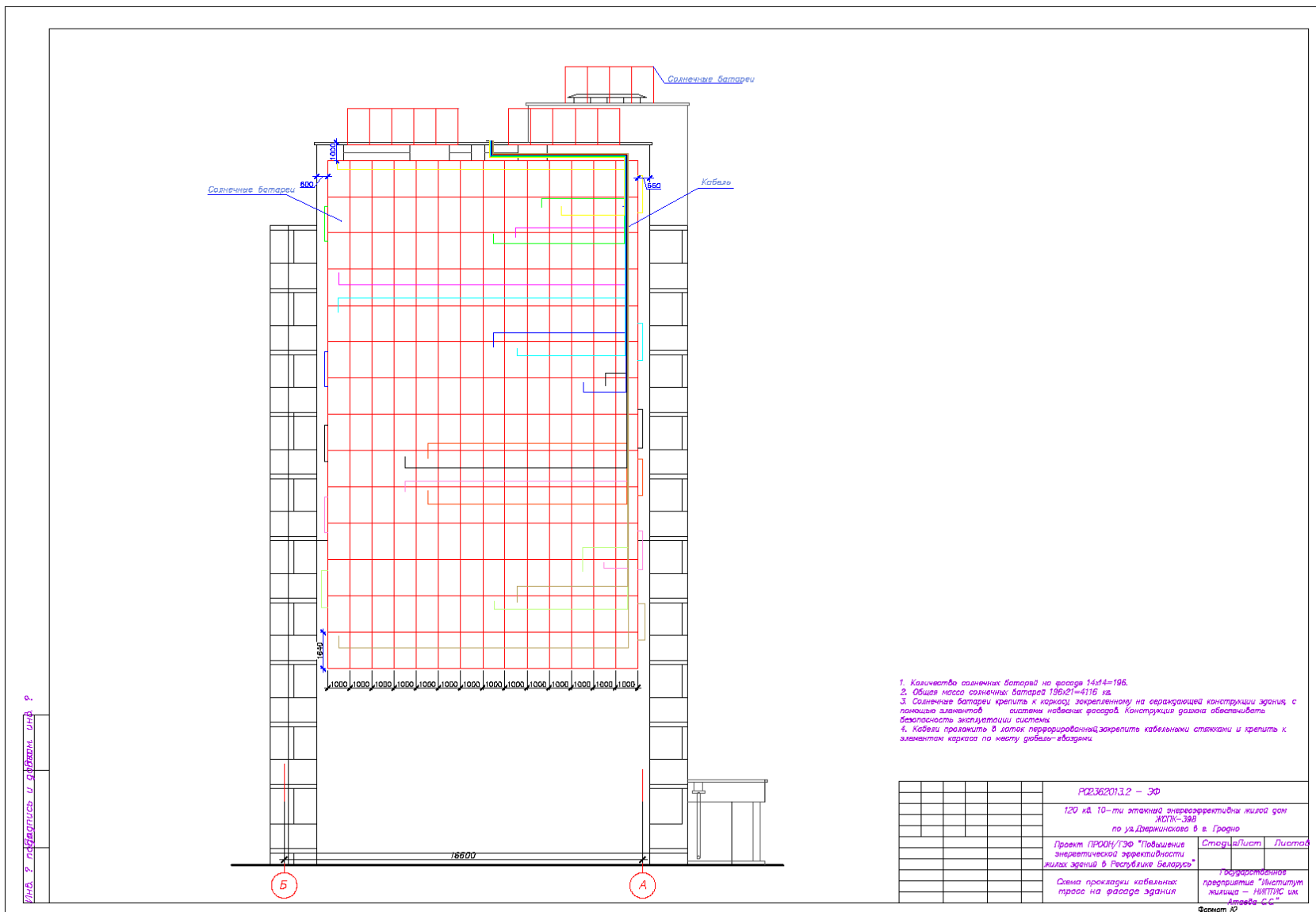
Система учета состоит из счетчика активной и реактивной электрической энергии, и системы дистанционного мониторинга. Технические требования:

- возможность учета в двух направлениях;
- возможность учета активной и полной мощности;
- многотарифность;
- интерфейс RS-485;
- совместимость с системой инверторов;
- возможность подключения к сети Интернет (GSM, wi-fi, LAN);
- организация Web-мониторинга.

## Приложения

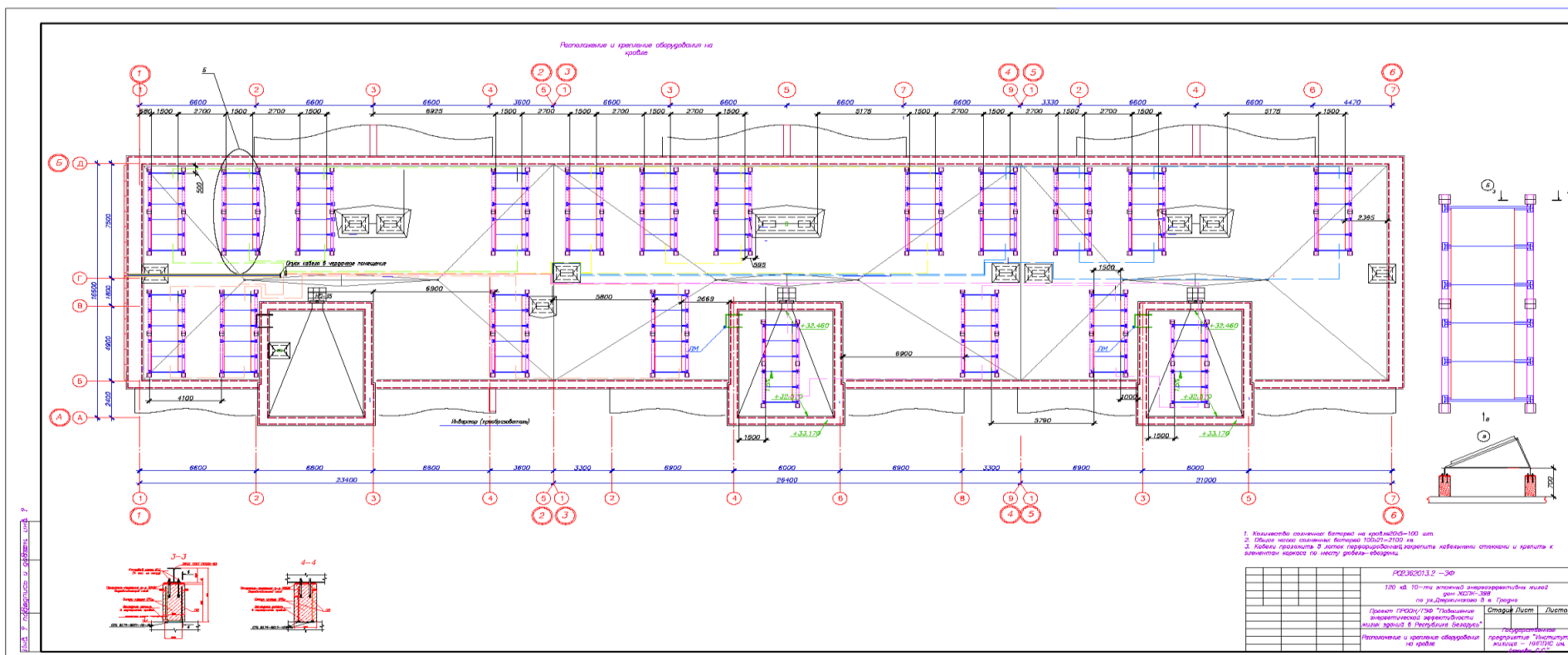
Формат А2

## **Приложение 2. Схема прокладки кабельных трасс на фасаде здания**





### **Приложение 3. Расположение и крепление оборудования на кровле**



Приложение 4. Однолинейная схема присоединения к сети

