

УДК 631.3:621.311.2

Ш.М.МИРЗАБЕКОВ, ассистент (ТГТУ)
г.Ташкент

СОЛНЕЧНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ МОЩНОСТЬЮ 100 МВт В САМАРКАНДЕ

Развитие солнечной энергетики в Узбекистане

Климатические и географические условия Узбекистана позволяют активно использовать энергию солнца для получения электрической и тепловой энергии в промышленных масштабах. Валовой потенциал солнечной энергии Узбекистана оценивается в 50973 млн. тонн нефтяного эквивалента, что составляет 99,7% от суммарного валового потенциала всех исследованных к настоящему времени на территории республики ВИЭ, технический потенциал – 176,8 млн. т.н.э. (98,6% от суммарного технического потенциала ВИЭ) [11].

В настоящее время в Нуратинском районе Навоийской области действует солнечная электростанция мощностью 100 МВт; 292 000 солнечных панелей. 268 га земли. Более 600 инверторов. Более 1000 км различных кабелей. Таковы технические характеристики первой солнечной электростанции в Узбекистане, Навои Нур. Объект стоимостью 110 миллионов долларов был введен в эксплуатацию в третьем квартале этого года; Узбекистан – страна, находящаяся в сильной зависимости от ископаемых видов топлива при небольшом проценте производства гидроэнергии.

Общая производительность электричества составила 52,7 ТВт/ч в 2020г. Общая установленная мощность составляет 15168,9 МВт на 40 электростанциях, включая 11 теплоэлектростанций (ТЭС) общей мощностью 13115 МВт и 29 гидроэлектростанций (ГЭС) общей мощностью 1476,6 МВт.

В энергоструктуре Узбекистана доминируют теплоэлектростанции с использованием ископаемого топлива, 85% из них используют природный газ, 8% - тяжелое дизельное топливо и 7% - уголь.

Проектирование и технология

Производственная мощность с освоением по годам

В декабре 2021 года в Самаркандской области планируется построить и ввести в эксплуатацию солнечную фотоэлектрическую установку мощностью 100 МВт [12].

Технология и оборудование

Обоснование выбора технологии и оборудования, схемы технологического процесса, преимущества и недостатки, надежность оборудования и гарантии поставщика

Выбор технологии. Солнечная энергетика – направление нетрадиционной энергетики, основанное на непосредственном использовании солнечного излучения для получения энергии в каком-либо виде. Солнечная энергетика использует природный источник энергии и является экологически чистой, то есть не производящей вредных отходов.

Поток солнечного излучения, проходящий через площадку в 1 м^2 , расположенную перпендикулярно потоку излучения на расстоянии одной астрономической единицы от центра Солнца (на входе в атмосферу Земли), равен 1367 Вт/м^2 (солнечная постоянная). Из-за поглощения, при прохождении через атмосферу Земли, максимальный поток солнечного излучения на уровне моря (на экваторе) – 1020 Вт/м^2 . Однако, следует учесть, что среднесуточное значение потока солнечного излучения через единичную горизонтальную площадку, как минимум в три раза, меньше (из-за смены дня и ночи и изменения угла солнца над горизонтом), причем зимой в умеренных широтах это значение в два раза меньше, поэтому возможная выработка энергии уменьшается из-за глобального затемнения – уменьшения потока солнечного излучения, доходящего до поверхности Земли[1].

При проектировании солнечной электростанции в Самаркандской области принята технология получения электроэнергии из кристаллических фотоэлектрических модулей с фиксированным наклоном. Принятие такого решения позволит специалистам Республики Узбекистан на практике изучить все преимущества и недостатки такой технологии. Технология получения электроэнергии от фотоэлектрических преобразователей с фиксированным наклоном, является первым этапом использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и по сравнению с другими ВИЭ является наименее затратным. В настоящее время по технологии с применением фиксированного наклона выполнено более 90 % солнечных электростанций с фотоэлектрическими панелями.

Фотоэлектрические преобразователи (модули) с фиксированным наклоном имеют свои преимущества:

- не имеют движущихся частей, что упрощает обслуживание, снижает его стоимость и увеличивает срок службы при незначительном снижении эксплуатационных характеристик;
- эффективно используют прямое и рассеянное (диффузное) солнечное излучение;
- требуют средней квалификации обслуживающего персонала;
- пригодны для создания установок любой мощности.

К особенностям фотоэлектрических панелей относится то, что их поверхность необходимо регулярно очищать от пыли и других загрязнений. При выполнении станций такого типа, при их площади в несколько квадратных километров это требует определенных трудозатрат[2].

Эффективность фотоэлектрических элементов падает при их нагреве.

Для приобретения первоначального опыта проектирования, строительства и эксплуатации следовало выполнить проектирование пионерной станции меньшей мощности, но, ввиду наличия необходимых условий для строительства станции 100 МВт и с целью развития альтернативных источников энергии руководством РУз принято решение о реализации проекта данной станции. По результатам реализации данного проекта будет дан ответ по существу на множество вопросов, на которые не могут ответить иностранные специалисты, так как климатические условия в других странах отличаются от условий нашего региона. Конкретные фактические данные о параметрах эксплуатации и влияющих климатических и производственных факторах могут быть получены в результате мониторинга в процессе реализации проекта, т.к. станция является пионерной и аналогов, даже меньшей производительности, в пределах Узбекистана не имеет. Необходимо отметить и еще одну негативную особенность фотоэлектрических панелей, т.к. необходимо в дальнейшем подумать об утилизации вышедших из строя панелей[3-4].

Технологическая схема и оборудование.

Проектная установленная (пиковая) электрическая мощность фотоэлектрической станции составляет 115 МВт. Особенность работы фотоэлектрической станции заключается в периодической выдаче электрической мощности в энергосистему. Предварительная годовая производительность фотоэлектрической станции – кристаллической с фиксированным наклоном составляет по версии АБР 157 - 158 ГВт·ч или 1 567 - 1 580 эквивалент в часах (пик).

Срок работы станции по предварительной информации составляет не менее 25 лет (согласно заключения миссии АБР «Samarkand 100 MWe PV», версия от 10.06.2012 г.).

Среднегодовая суточная работа станции и выработка электроэнергии производится в течение 7 часов, в светлое время суток, в ночное время станция не работает и выдачу электрической мощности в энергосистему не производит.

Проектом предусмотрено сервисное обслуживание станции в ночное время и энергообеспечение собственных нужд станции (освещение, отопление и кондиционирование, бытовые электроприборы, компьютеры, сооружения водоподготовки и прочее при необходимости) из энергосистемы.

Сведения по производительности станции приведены по информации (Заключение миссии АБР «Samarkand 100 MWe PV», версия от 10.06.2012 г.). Для оценки выработки электроэнергии использованы значения источников информации: спутниковая и метеостанции.

Годовая выработка электроэнергии приведена на рисунке 1.2, где рассматриваются основные, максимальные, минимальные объемы месячной расчётной выработки, относящейся к различным источникам[5-7].

Для формирования фотоэлектрической секции (стринга) принимаем сборку из 20 модулей 240 Вт размером 992×1 640 мм. Секция размером 3,28×10 м будет состоять из двух рядов вертикально расположенных фотоэлектрических панелей и мощность такой секции будет составлять 4,8 кВт.

Из этих секций формируется блок мощностью 1 МВт. Из одномегаваттных блоков собирается гелиополе из 106 блоков (дивизионов) общей мощностью 115 МВт (пик), состоящее из 479 000 панелей (23 850 секций).

Фотоэлектрические панели вырабатывают постоянный ток, который необходимо преобразовать в переменный для выдачи мощности в энергосистему. Для преобразования постоянного тока фотоэлектрических панелей в переменные синусоидальные формы необходим инвертор. Инверторы – полупроводниковые преобразовательные энергетические установки мощностью 1 000 кВт переменный ток от которых поступает на повышающий трансформатор 0,4/10 кВ мощностью 1,6 МВА.

Блоки мощностью по 1 МВт, в количестве 106 шт, подключаются к ячейкам

КРУ-10 кВ ПС 220/10-10 кВ, на которой установлены два повышающих трансформатора по 125 МВА с расщепленными обмотками и созданы четыре секции шин 10 кВ, которые резервируют друг друга.

Выдача мощности фотоэлектрической станции, согласно проекту АО САЭСП (вариант III) осуществляется на напряжении 220 кВ.

ОРУ 220 кВ выполняется по схеме четырехугольника с четырьмя элегазовыми выключателями и с комплектами разъединителей, трансформаторов тока, трансформаторов напряжения и ограничителей перенапряжений у трансформаторов.

Подстанция выполняется по типу КТПБ (комплектная трансформаторная подстанция блочная). Схема электрическая принципиальная представлена в Приложении № 3.

Южнее площадки гелиополя солнечной фотоэлектрической станции (СФЭС) проходит ВЛ 220 кВ Согдиана – Сувли (АС-500), в которую предлагается осуществить врезку двух одноцепных линий от ПС СФЭС, одна из которых будет иметь длину 5 км, а вторая 4 км, при условии размещения ПС 220/10-10 кВ на южном торце площадки строительства станции, что значительно снижает затраты на подключение СФЭС к энергосистеме[8].

При врезке СФЭС в ВЛ 220 кВ ПС Согдиана – ПС Сувли со стороны СФЭС на ВЛ 220 кВ ПС Согдиана – СФЭС и СФЭС – ПС Сувли предусматриваются: направленная высокочастотная защита (НВЧ); трехступенчатая

направленная дистанционная защита (ДЗ); четырехступенчатая направленная токовая защита от замыканий на землю (ТНЗНП); токовая отсечка (ТО); УРОВ, АПВ с контролем синхронизма.

Со стороны ПС Согдиана существующая высокочастотная защита заменяется на: направленную высокочастотную защиту (НВЧ).

Со стороны ПС Сувли существующие защиты заменяются на: направленную высокочастотную защиту (НВЧ); трехступенчатую направленную дистанционную защиту (ДЗ); четырехступенчатую направленную токовую защиту от замыканий на землю (ТНЗНП); токовую отсечку (ТО) [9].

Со стороны ПС Согдиана и ПС Сувли сохраняются существующие АПВ и УРОВ.

Выше перечисленные данные по защитах ВЛ 220 кВ и их сметная стоимость заложена в проекте «Схема выдачи мощности солнечной фотоэлектрической станции в Самаркандской области», выполненной АО «Средазэнергопроект» и приведены в нашем проекте как ссылочный материал.

Высокочастотные каналы связи, релейная защита и противоаварийная автоматика по проводам ВЛ 220 кВ, а также телемеханизация СФЭС рассмотрены в выше перечисленном проекте АО САЭСП.

Управление ПС 220/10-10 кВ осуществляется с общеподстанционного пункта управления (ОПУ), который размещается на территории подстанции, в контейнерном исполнении размером 5×7 м. В ОПУ размещаются устройства защиты, управления и сигнализации; аппаратура и оборудование высокочастотной связи.

Для обеспечения нормальной работы собственных нужд фотоэлектрической станции необходимо электроснабжение, которое обеспечивается комплектной трансформаторной подстанцией типа ГКТП с двумя трансформаторами по 1000 кВА 10/0,4 кВ, которая располагается около основной нагрузки собственных нужд станции, т.е. около ВПУ.

Для первоначального запуска станции и в качестве резервного (аварийного) электроснабжения принят дизель-генератор мощностью 400 кВт в контейнерном исполнении.

Инверторы 1 МВт и сухие трансформаторы по 1,6 МВА, расположенные в одном контейнере со своей системой освещения, управления и пожарной защитой, поставляемой в комплекте.

Вся кабельная продукция на постоянном токе, которая участвует в соединениях панелей, прокладывается по конструкциям крепления фотоэлектрических панелей и переходы защищаются при помощи защитных кожухов.

Кабели высоковольтные из сшитого полиэтилена предлагается проложить в кабельных каналах для контроля и технического обслуживания при

эксплуатации.

Размещение инверторов и трансформаторов выполняется таким образом, чтобы компактно проложить кабели силовые в кабельном канале и подключить их в КРУ-10 кВ к своему выключателю.

В начале кабельный канал меньшего сечения, т.е. 900×900 мм и далее с увеличением числа кабелей сечение кабельного увеличиваем до 1 200×1 200 мм.

В кабельном канале одна сторона конструкций занята для силовых кабелей, а противоположная сторона предусматривается под контрольные кабели.

Кабельные каналы проложены с севера на юг вдоль трансформаторов в сторону ПС 220/10-10 кВ.

Необходимость кабельных каналов – это обеспечение удобства обслуживания в процессе эксплуатации, что невозможно при прокладке кабелей в траншее.

Согласно требованиям по охране важных объектов по периметру солнечной станции выполняется охрannое освещение, совместно со средствами видеонаблюдения.

Для защиты от грозовых перенапряжений блочных инверторов и трансформаторов необходимо на крыше контейнера установить молниеотвод и выполнить систему заземления, сопротивление которого должно быть не более 4 Ом. Система защитного заземления выполняется у всех сооружений, где установлены потребители электроэнергии и при необходимости внутри этих помещений монтируется контур заземления. Система заземления выполняется забивкой металлических стержней диаметром 16 мм и длиной 5 м по внешнему контуру здания. Количество металлических стержней для контура заземления будет определено при рабочем проектировании.

На подстанции 220/10-10 кВ выполняется система защитного заземления с забивкой стержней и на территории выполняется сетка выравнивающая потенциал для исключения попадания персонала под шаговое напряжение и сопротивление её должно составлять 0,5 Ом [10].

Преимущества и недостатки технологии.

Основным преимуществом технологии является производство электрической энергии без использования традиционных видов топлива и минимум влияния объекта на экологию.

Конструктивная особенность станции – зависимость выдачи электрической мощности в энергосистему от уровня солнечной радиации в течении светового дня с суммарным максимумом мощности 1 567 - 1 580 часов в год (пик).

**Воздействие технологии на окружающую среду.
Характеристика и объем вредных выбросов и сточных вод при эксплуатации, мероприятия по предупреждению загрязнения окружающей среды**

Благодаря использованию восстанавливаемой солнечной энергии проект будет иметь значительные экологические преимущества по воздействию на атмосферный воздух в сравнении с другими видами производства энергии, такими, как производство энергии путем использования ископаемых видов топлива (газ, уголь, мазут). Это будет способствовать экономии топлива и сокращению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (оксидов азота, серы, углерода, бенз(а)пирена и дополнительно золы и угольной пыли при сжигании угля, мазутной золы – при сжигании мазута), а также парниковых газов.

Для сравнения приводятся сведения по выбросам от топливосжигающих станций в сравнении с полным отсутствием таковых от солнечной станции аналогичной мощности.

Таблица 1

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от топливосжигающих ТЭС мощностью 100 МВт

Показатель	Солнечная ЭС	Топливосжигающие ТЭС		
		Природный газ	Уголь	Мазут
Расход топлива	-	117,967 млн. м ³	110,948 тыс. т	343,938 тыс.т
Выбросы вредных веществ, т/год, в т.ч.	-	767,75161	22 375,0514	4 958,7663
Оксиды азота, в т.ч.	-	480,681343	403,15651	384,101372
Диоксид азота	-	384,545075	322,52521	307,281097
Оксид азота	-	62,4885746	52,410346	49,9331783
Диоксид серы	-	0,88711184	12 381,768	4 131,7035
Оксид углерода	-	319,830849	2025,2787	415,716077
Мазутная зола	-	-	-	37,5280
Пентаоксид ванадия	-	-	-	16,6045
Зола угольная	-	-	7 593,0691	-
Выбросы парниковых газов (CO ₂), т/год	-	223 865,98	499 054	341 165

Таблица 2

DIgSILENT PowerFactory 15.2.7						
Число подстанций-20, Кол-во Шин-322, Кол-во Терминалов-502, Кол-во число Линий 310, число 2-обм. Т.-74, число 3-обм. Т.-70, Число синх. Машин-84, Число асинх. Машин-0, Кол-во Нагрузок-190, Число поперечных КУ-29, Кол. SVS-1.						
	Активная мощность, МВт		Реактивная мощность, МВт		Полная мощность, МВт	
	а) до включения СЭС 100 МВт	б) в узел Самарканд подключена СЭС 100 МВт	а) до включения СЭС 100 МВт	б) в узел Самарканд подключена СЭС 100 МВт	а) до включения СЭС 100 МВт	б) в узел Самарканд подключена СЭС 100 МВт

Продолжение таблицы 2

Генерация	12337,69	12333,21	5098,57	5086,31	13349,68	13340,86
Из внешней сети	-	-	-565,24	-604,57	565,24	604,57
Нагр. P(U)	12005,32	12005,32	5192,98	5192,98	13080,32	13080,32
Нагр. P(Un)	12005,32	12005,32	5192,98	5192,98	13080,32	13080,32
Двиг. Нагр.	49,80	49,80	8,34	8,34	50,49	50,49
Потери	281,75	277,27	-2362,18	-2413,42	-	-
Заряд. Мощ-ть ЛЭП	-	-	-5606,70	-5603,64	-	-
Компенсация инд.	-	-	2058,85	2058,51	-	-
Компенсация емк.	-	-	-364,66	-364,66	-	-
Уст. Мощ-ть генерации	21452,24	21342,24	-	-	-	-
Вращающийся резерв	5874,90	5779,38	-	-	-	-

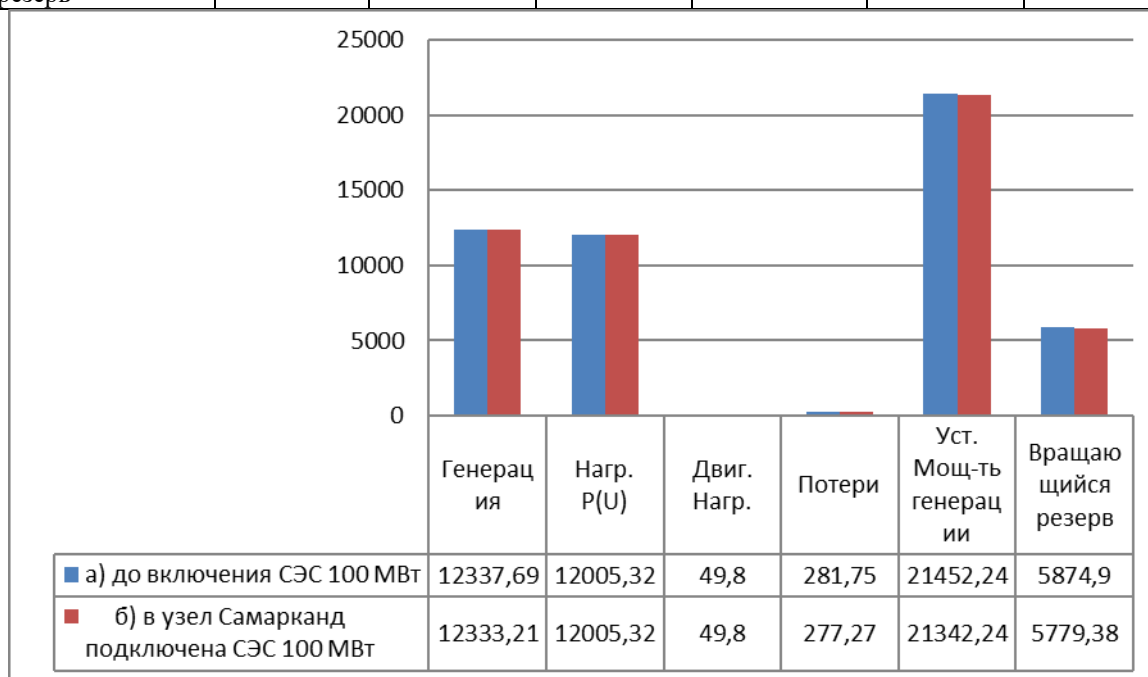


Рис.1.

На рисунке приведены результаты расчетов DIgSILENT Power Factory для случаев б) в узел Самарканд подключена СЭС 100 МВт и а) до включения СЭС 100 МВт. При включении 100 МВт СЭС общие потери по ОЭС снизились с $\Delta P_1=277,27$ МВт до $\Delta P_2=281,75$ МВт, разница составила $\Delta \Delta P=4,48$ МВт.

Список литературы:

1. Т. Насыров, А. Васиков, Ж.К. Бьярн, Л. Завьялова, П. Позычанюк. Перспективы развития возобновляемой энергетики в Узбекистане. Публикация ПРООН, Узбекистан. 2007. 95с.

-
2. Р.Р. Исаев. Внедрение гибридных солнечно – ветровых систем электропитания для развития ИКТ в предгорных населенных пунктах и региона. Центр научно – технических и маркетинговых исследований УзАСИ. Ташкент. 2007.
 3. Р.А. Захидов, Н.Р. Авезова, А.И. Анарбаев, Е.И. Киселева, У.А. Таджиев. Энергосберегающее оборудование малой мощности, производимое в Узбекистане на основе нетрадиционных технологий генерирования энергии с использованием возобновляемых источников энергии. Ташкент. 2010.
 4. Х.К. Зайнутдинова. Маркетинг солнечной энергии в Узбекистане. Ташкент. 2011.
 5. Н. Друзь, Н. Борисова, А. Асанкулова, И. Раджабов, Р. Захидов, У. Таджиев. Положение дел по использованию возобновляемых источников энергии в Центральной Азии. Перспективы их использованию и потребности в подготовке кадров. Обзор. ЮНЕСКО SC/2010/PI/H/1. Алматы. 2010. с.73-140.
 6. Развитие альтернативной энергии – фактор сильной социальной защиты. Ташкент – 2013.
 7. Аллаев К.Р. Энергетика мира и Узбекистана. Аналитический обзор. – Т.: Издательство «Молия», 2007. – 388 с.
 8. Мирзабаев А.М., Исаков А.Ж., Мирзабеков Ш.М., Махкамов Т.А., Кодиров Д. // Problems of integration of the photovoltaic power stations with the grid systems: Paper ID 68 «1st International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering 2020» October 14th-16th 2020 Tashkent, Uzbekistan.
 9. Мирзабаев А.М., Канонеров В.П., Махкамов Т.А., Сытдыков О.Р., Мирзабеков Ш.М. Фотоэлектрическая установка для электроснабжения базовых станций сотовых компаний.// Гелиотехника. 2018, №1, с. 47-51.
 10. O.R. Sitdikov., A.M. Mirzabaev., T.A. Mahkamov., Sh. Mirzabekov Patterning aspects of small solar power development in Uzbekistan //E3S Web of Conferences 139, 01010(2019).