

УДК 662.997.534

**Обозов А.Дж.***д.т.н., профессор, член-корреспондент НАН Кыргызской Республики***Толмушев А.Э.***ст. преп. Кыргызского госуд. техн. универ. им. И.Раззакова, Кыргызская Республика*

## ТАРМАКТЫК КҮН ФОТОЭЛЕКТРДИК СТАНЦИЯСЫ

*Бул жумушта тармактык күн фотоэлектрдик станциясы изилдөөнүн предмети болуп саналат. Изилдөөнүн максаты болуп Кыргыз Республикасынын электр энергетика системасынын иштөө өзгөчөлүктөрүн талдоо эсептелинет. Изилдөөлөрдө фотоэлектрдик станциялардын электр чынжырларынын схемаларын талдоо жана тармактар системаларынын анализдик усулдары колдонулган. Изилдөөнүн жыйынтыгында экологиялык жактан таза энергиянын кайра жаралуучу булактарын пайдаланууга өтүү зарылчылыгы негизделинет. Электр менен жабдуу системасынын алсыз жактары жана кемчиликтери көрсөтүлгөн. Энергиянын кайра жаралуучу пайдалануу менен тармактарды куруунун жаңы принциптери баяндалган. Түзүлгөн үзгүлтүксүз электр менен жабдуу блогунун эксперименталдык изилдөөлөрүнүн натыйжалары келтирилген. Тармактык фотоэлектр станциясын эсептөөнүн, долбоорлоонун жана эксплуатациялоонун натыйжалары каралган. Анын практикалык иштеши боюнча маалыматтар берилген.*

**Негизги сөздөр:** фотоэлектр станциясы; энергия; кубаттудук; радиация; аккумулятор; энергиянын кайра жаралуучу булактары; электр энергиясы; экология.

## СЕТЕВАЯ СОЛНЕЧНАЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ

*В данной работе предметом исследования является сетевая солнечная фотоэлектрическая станция. Цель исследования – проанализировать особенности функционирования энергосистемы Кыргызской Республики. В исследованиях использовались методы анализа схем фотоэлектрических установок и анализа сетевых систем. В результате исследования обоснована необходимость перехода на использование экологически чистых возобновляемых источников энергии. Показаны слабые места и недостатки существующей системы электроснабжения. Излагаются новые принципы построения сетей с использованием генерации возобновляемых источников энергии. Представлены результаты экспериментальных исследований созданного блока бесперебойного питания. Обсуждаются результаты расчета, проектирования и функционирования сетевой фотоэлектрической станции. Представлены данные по ее практической эксплуатации.*

**Ключевые слова:** фотоэлектрическая станция; энергия; мощность; радиация; аккумулятор; возобновляемые источники энергии; электрическая энергия; экология.

## GRID SOLAR PHOTOVOLTAIC POWER PLANT

*In this paper, the subject of study is a grid-connected solar photovoltaic installation. The purpose of the study is to analyze the features of the functioning of the energy system of the Kyrgyz Republic. The studies used photovoltaic circuit analysis and network system analysis techniques. As a result of the study, the need to switch to the use of environmentally friendly renewable energy sources is substantiated. The weaknesses and shortcomings of the existing power supply system are shown. New principles for building networks using the generation of renewable energy sources are outlined. The results of experimental studies of the created uninterruptible power supply unit are presented. The results of calculation, design and operation of a network photovoltaic station are discussed. Data on its practical operation are presented.*

**Key words:** photovoltaic station; energy; power; radiation; battery; renewable energy sources; electrical energy; ecology.

Интенсивное развитие человеческого общества, население которого к 2050 годам, ожидается порядка 9 млрд. человек [1], определяет жизненную необходимость уже сегодня просматривать возможности обеспечения их всеми необходимыми условиями для нормальной

жизни. Это и обеспечение продуктами питания, питьевой водой, чистым воздухом, теплом и светом. Однако уже сегодня более 800 млн. человек в мире не имеют доступа к пресной воде, к 2030 году ожидается нехватка чистой воды [2], изменение же климата приводит к глобальным природным катастрофам, в особенности в вопросе охраны окружающей среды и загрязнения атмосферного воздуха [3]. В этих условиях одним из первостепенных вопросов встает вопрос поиска экологически чистых технологий выработки энергии, так как использование для этого традиционных топлив как нефть, уголь, мазут и так далее оказывает пагубное влияние на окружающую среду [4]. В связи с этим в последние десятилетия интенсивные исследования в поисках новых экологически чистых источников энергии для замещения традиционного углеводородного топлива.

Как показывает практика последних лет одним из наиболее привлекательных и перспективных направлений является использование экологически чистых возобновляемых источников энергии солнца, ветра, биомассы, гидравлической энергии рек и так далее [5].

Успешное развитие этого направления определило судьбу будущей энергии многих стран мира. Кыргызская республика не является в этом смысле исключением. Несмотря на то, что она является одной из благополучных стран с точки зрения экологии, республика имеет свои определенные особенности и причины, побуждающие ее активно вовлекать ВИЭ в энергетический комплекс страны.

К особенностям энергетики Кыргызской Республики следует отнести практическое отсутствие собственных традиционных углеводородных топлив как уголь, нефть, газ, которые страна вынуждена импортировать из соседних стран [6].

Наличие огромного гидроэнергетического потенциала страны способствовало активному развитию гидроэнергетики, благодаря которому более 85% электроэнергии производится за счет гидроэнергетических станций (ГЭС) [7]. С одной стороны, это способствовало возможности использовать экологически чистую гидроэнергию для выработки электричества, с другой стороны зависимость только от одного источника не способствовало поступательному и объективному развитию гидроэнергетического комплекса. Резко континентальный климат республики и однобокое развитие энергетической отрасли последних лет привели ее еще к одной из особенностей функционирования топливно-энергетического комплекса, к большой неравномерности потребления электроэнергии. Потребление в зимний период в ряде случаев превышает потребление в весенне-осенний период в 2 более раз [8], что ставит в сложное положение решение вопросов управления, диспетчеризации, передачи и распределения электроэнергии, что в свою очередь затрагивает вопросы надежности и безопасности работы отрасли.

Наличие этих и других особенностей потребовало необходимость кардинального пересмотра стратегии будущего развития энергетики республики с учетом современных мировых тенденций и новых инновационных технологий, использования экологически чистых возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Анализ состояния топливно-энергетического комплекса Кыргызской Республики показывает, что с момента приобретения страной независимости (30 лет) практически развитие и строительство новых мощностей не осуществлялось. На рисунке 1 приведена диаграмма роста установленных мощностей электрических станций. Как видно за период независимости (30 лет), из имеющихся мощностей порядка 4000 МВт были введены лишь 18% тогда как в Советский период только за 20 лет с 1970 по 1991 гг. введено порядка 62% мощностей [9].

Потери электроэнергии в сетях достигло в среднем 12%. Результаты расчетов, показывающие снижение доходов энергокомпаний в зависимости от этих потерь при имеющихся тарифах приведены в таблице 1.

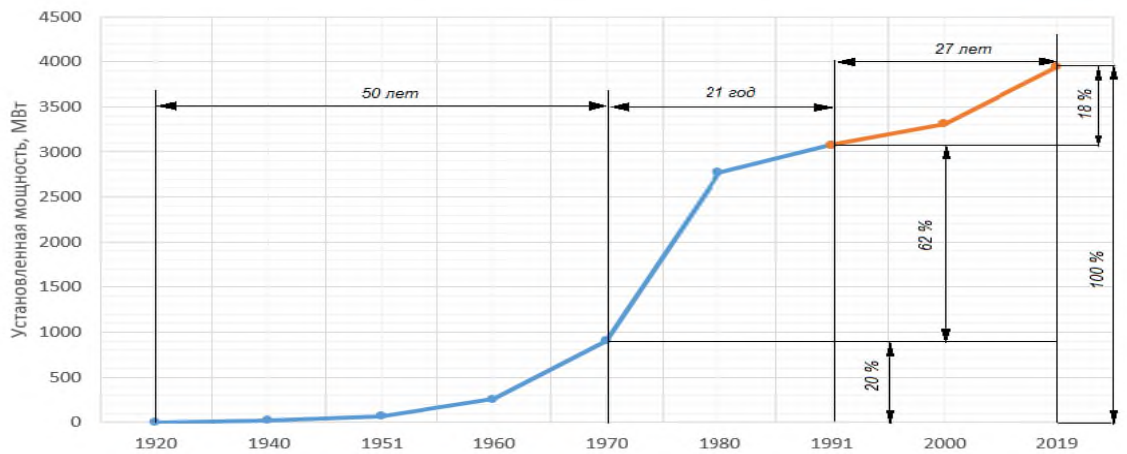


Рисунок 1 – Динамика наращивания установленных мощностей.

Таблица 1 – Расчёт потерь электроэнергии и доходов энергокомпаний в зависимости от потерь в сетях

Проценты потерь, %	Потери эл. энергии, млрд. кВт·ч	Финансовые потери компаний, млн. сом		
		0,77 сом	2,16 сом	2,24 сом
1	2	3	4	5
1	0,147	113	317	329
2	0,294	226	635	658
3	0,441	339	952	987
4	0,588	452	1264	1316
5	0,735	565	1586	1645
6	0,882	678	1903	1974
7	1,029	791	2220	2303
8	1,176	9,04	2537	2632
9	1,323	1017	2854	2961
10	1,47	1130	3171	3290
11	1,617	1243	3488	3619
12	1,764	1356	3805	3948

Из анализа табличных данных можно видеть, что снижение потерь до уровня современных мировых систем (5-6%) может обеспечить получение дополнительной энергии потребителями порядка 882 млн кВт\*ч в год, что может составить получение дополнительного дохода от 678 до 1974 млн сомов в год в зависимости от тарифа.

Широкое использование современных технологий ВИЭ, как показывает практика, позволит в значительной степени избежать этих недостатков так как предусматривает создание принципиально новую структуру энергосетей и совершенно иную систему энергообеспечения потребителей, основанную на новых принципах их построения. Это в первую очередь создание так называемых «Smart Grid - умных сетей», использования

новейших IT-технологий в управлении и других новых систем, повышающих надежность и безопасность сетей.

Это приведет не к строительству крупных и мощных генерирующих станций с последующей транспортировкой и распределением энергии, а созданию маломощных станций ВИЭ, объединенных в микросети. Микросети затем подключаются к глобальным электрическим сетям, что обеспечивает отсутствие дорогостоящих транспортирующих сетей.

Наличие маломощных генерирующих станций, работающих на ВИЭ, обеспечивают не только поставку выработанной энергии потребителю но и обеспечивают получение энергии обратно из сети в случае нехватки своей генерирующей мощности. Другими словами сети приобретают способность транспортировать электроэнергию в обе стороны, что не присуще современным системам электроснабжения.

На рисунке 2 приведена структура схемы электроснабжения потребителей, работающей в комбинации с генерирующими станциями на ВИЭ.

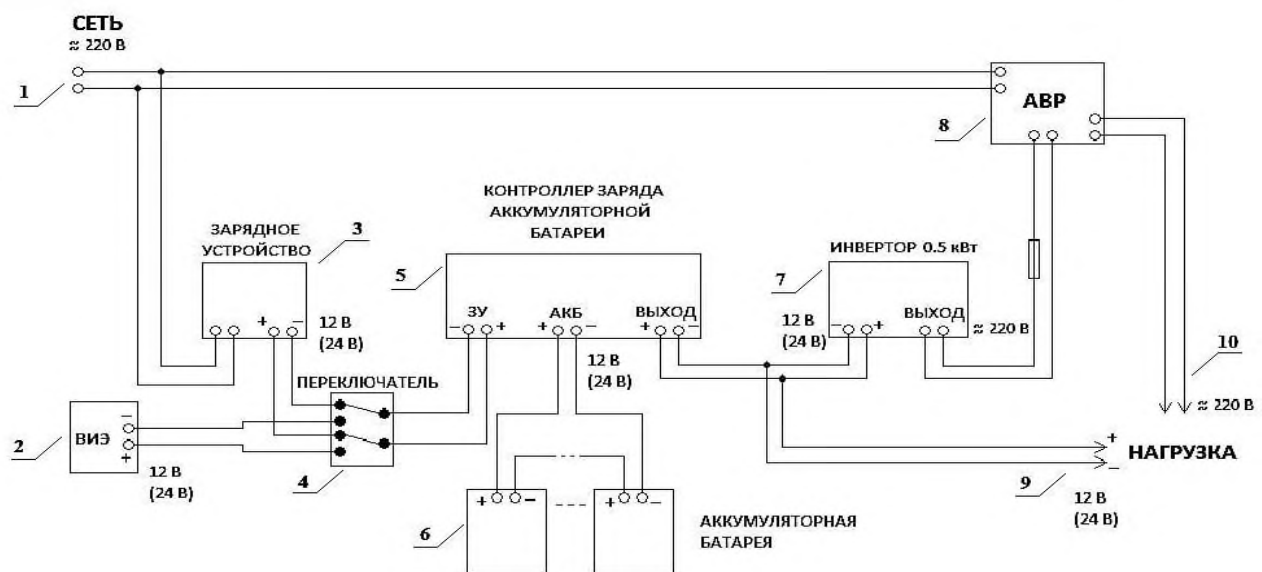


Рисунок 2- Структурная схема сети с генерирующими станциями на ВИЭ.

Такие схемы имеют ряд преимуществ в сравнении с традиционными системами электроснабжения. Это меньшая стоимость получаемой электро-энергии, высокая надежность, малая инерционность, меньшие капитальные вложения, принципиально новое строение сетей, низкие потери, использование принципа интеллектуальных сетей с обратной связью. Использование принципа интеллектуальных сетей требует разработки и создания соответствующего оборудования, обеспечивающего эффективное управление и оптимальную работу сети. В зависимости от конфигурации и выполняемой функции система предусматривает наличие различных управляющих устройств, обеспечивающих высокую бесперебойную поставку электроэнергии потребителю при достаточно большой

неравномерности ее выработки. Одним из таких устройств является так называемый автономный блок бесперебойного питания (АББП).

Нами был разработан такой АББП, который может быть использован как для автономных потребителей, так и для сетевых фотоэлектрических станций (ФЭС) [10]. На рисунке 3 приведена структурная схема АББП. АББП обеспечивает наиболее рациональное функционирование ФЭС в зависимости от режима работы, потребителей и поступающей солнечной радиации, а также при необходимости позволяет переходить на режимы автономного питания потребителя с использованием аккумуляторных батарей или на режим подачи электроэнергии непосредственно в сеть в случае такой необходимости. Так например если приоритетом для автономного потребителя является питание от солнечной энергии но ее не достаточно для питания всех подключенных устройств, то АББП обеспечивает возможность дополнительного питания от сети, в этом случае энергия от аккумуляторов подается в нагрузку только в случае нехватки солнечной энергии. Также может быть выбран приоритет распределения солнечной энергии, когда необходимо в первую очередь заряжать аккумуляторы или подать питание на нагрузку. Или же, например, приоритет отдается источнику заряда, тогда в первую очередь от солнечной энергии заряжаются аккумуляторы, а остальная часть заряда происходит от сети при нехватке солнечной энергии. В тоже время возможен заряд аккумулятора от солнца и сети одновременно.



- 1-сеть; 2-генерирующий источник, работающей на ВИЭ; 3-зарядное устройство;  
 4- автоматический переключатель; 5-контроллер заряда; 6-аккумуляторная батарея;  
 7-инвертор; 8-блок автоматического ввода резерва; 9 – сеть постоянного тока;  
 10-сеть общая.

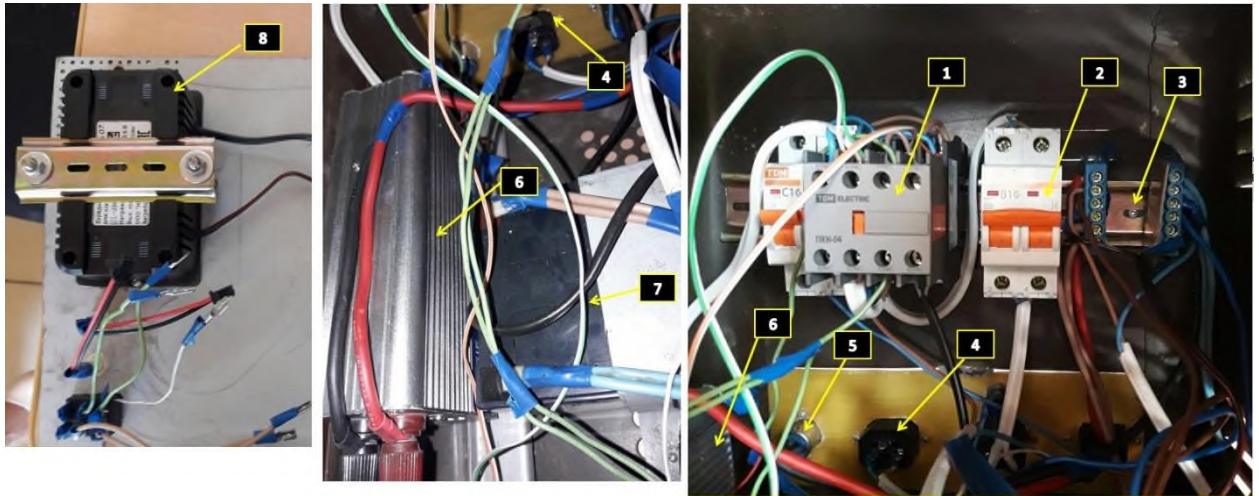
Рисунок 3 - Структурная схема блока бесперебойного питания.

АББП также осуществляет контроль за степенью заряда и разряда аккумуляторных батарей и обеспечивает переход на тот или иной режим работы ФЭС, который гарантирует наиболее эффективное питание потребителя.

Разработанная схема АББП была реализована в экспериментальном образце установки, которая приведена на рисунке 4. Созданный экспериментальный образец АББП был испытан на имитационном стенде, общий вид которого приведен на рисунке 5. При проведении



экспериментальных исследований были получены вольтамперные характеристики солнечных имитаторных батарей в зависимости от изменения интенсивности солнечной радиации.



1 – устройство автоматического ввода резерва, 2 – выключатель, 3 – разъемы, 4 – выход на нагрузку, 5 – ввод мощности от ФЭС, 6 – преобразователь, 7 – аккумулятор, 8 – зарядное устройство.

Рисунок 4 - Фрагменты элементов конструкции автономный блок бесперебойного питания.

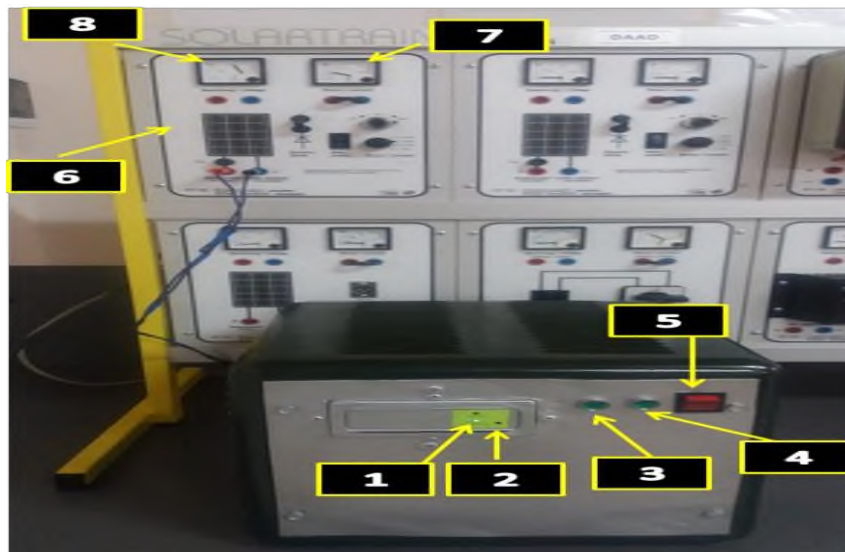


Рисунок 5 - Общий вид экспериментального стенда с имитаторами фотоэлектрических станции и автономный блок бесперебойного питания.

Как видно существенное влияние на характер изменения выходной мощности при изменении выходной мощности при изменении интенсивности солнечной радиации оказывает величина выходного тока. Увеличение интенсивности солнечной радиации приводит к существенному увеличению силы тока, тогда как величина напряжения практически не меняется (рисунок 6). Значения же изменения величины выходной мощности солнечной батареи приведены на диаграммах, представленных на рисунке 7. В силу увеличения силы тока увеличивается и выходная мощность, причем величина выходной мощности каждый раз имеет свой определенный максимум. Если проанализировать диаграмму изменения мощности

в зависимости от выходного напряжения, то можно увидеть, что ее максимальные значения представляют прямолинейную функцию при определенной постоянной величины напряжения.

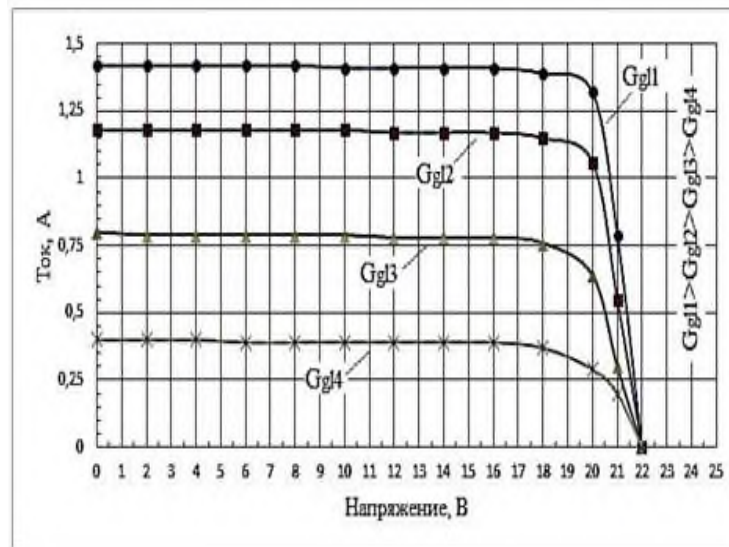


Рисунок 6- Вольтамперные характеристики СП в зависимости от интенсивности солнечной радиации.

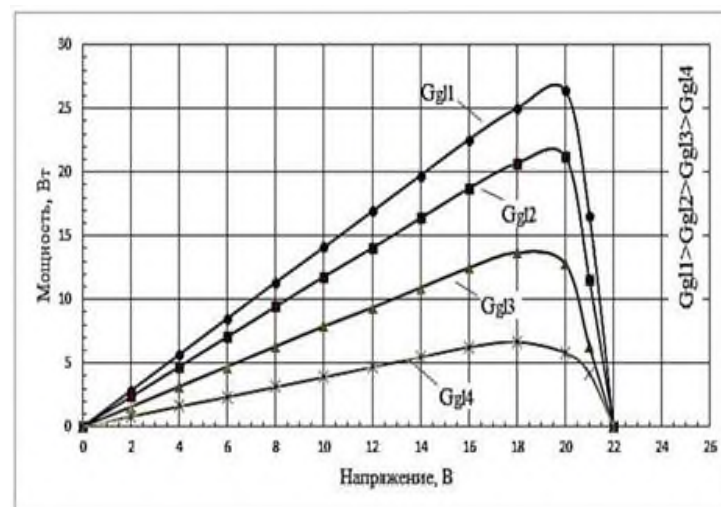


Рисунок 7- Мощностные характеристики солнечных преобразователей в зависимости от мощности нагрузки.

На рисунке 8 представлены экспериментальные кривые разряда аккумуляторных батарей в зависимости от мощности нагрузки. Как видно из диаграммы увеличения мощности потребителя при его питании только от аккумуляторных батарей существенным образом снижает ее заряд причем эта характеристика имеет явно нелинейный характер и интенсивность снижения заряда аккумулятора в первоначальный период значительно происходит более быстрый чем в последующее время работы. Таким образом, проведенный анализ особенностей работы электроэнергетической системы республики, изучение опыта разработки и использования ФЭС для электроснабжения различных типов потребителей,

синтез структурной и принципиальной схемы АББП и полученные экспериментальные исследования ФЭС с использованием имитационного стенда позволила перейти непосредственно к расчету и проектированию реальной сетевой ФЭС, обеспечивающей реализацию полученных результатов в практику. Одними из факторов, определяющих основную мощностную характеристику ФЭС являются его месторасположение, радиационные составляющие солнечной энергии, угол наклона солнечных панелей к горизонту, подбор соответствующего оборудования и технико-экономическая оценка проекта в целом.

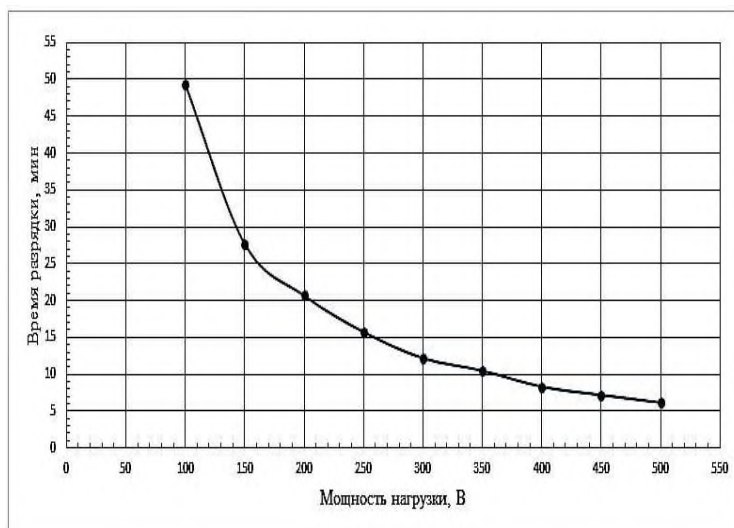


Рисунок 8 – Изменение времени разряда в зависимости от мощности нагрузки.

В рамках проекта были проведены соответствующие расчеты интенсивности солнечной радиации как среднечасовые, так и среднemesячные из расчета на  $1 \text{ м}^2$ , при широте местности  $42,8^{\circ}$  северной широты (г. Бишкек) и углов наклона панелей к горизонту  $35^{\circ}$ . На рисунке 9 приведены данные полученных расчетов.

Ожидаемая мощность ФЭС при ее расположении на кровле здания составила 81,75 кВт. Мощность была определена из возможности площади кровли на которой можно разместить солнечные панели.

Общая электрическая схема станции, принятая к реализации приведена на рисунке 10. Солнечная фотоэлектрическая станция имеет в своем составе 150 солнечных панелей мощностью 545 Вт каждая и 3 сетевые трехфазные инверторы мощностью 27 кВт каждая. Конструктивно солнечная электростанция представляет собой 3 независимые друг друга параллельно работающие фотоэлектрические системы мощностью по 27 кВт.

Каждая фотоэлектрическая система составлена из одного сетевого трехфазного инвертора Fronius ECO 27.0-3-S и трех фотоэлектрических цепей, представляющих собой последовательно соединенные солнечные панели CWT545 144PM10.

Инвертор содержит 2 MPPT трекера и на входе по постоянному напряжению и току 6 положительных клемм, 6 отрицательных клемм. На каждую пару клемм (плюсовую и минусовую) допускается подключение фотоэлектрической цепи напряжением до 1000 В. Таким образом, ограничивается максимальное количество солнечных панелей в одной фотоэлектрической цепи, зависящей от значений напряжений холостого хода солнечных панелей и определяемых при минимальных температурах окружающей среды для данной



местности в течение года. 150 панелей разделены на 9 фотоэлектрических цепей (6 фотоэлектрических цепей по 17 солнечных панелей, 3 фотоэлектрические цепи по 16 солнечных панелей). К первому и второму инверторам подключены через 3 пары положительных и отрицательных клемм 6 фотоэлектрические цепи по 17 солнечных панелей. К третьему инвертору подключены через 3 пары положительных и отрицательных клемм 3 фотоэлектрические цепи по 16 солнечных панелей. Это объясняется, тем что подключаемые к одному инвертору фотоэлектрические цепи должны иметь одинаковые напряжения на выходе.

Пиковая мощность фотоэлектрической цепи из 17 панелей составит 9,265 кВт, из 16 панелей – 8,72 кВт. В итоге на первый и второй инверторы входная мощность от солнечных панелей равна по 27,795 кВт, на третий – 26,16 кВт. Общая пиковая мощность панелей равна 81,75 кВт.

	Янв	Фев	Мар	Апр	Май	Июн	Июл	Авг	Сен	Окт	Ноя	Дек
0 - 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 - 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2 - 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 - 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 - 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5 - 6	-	-	-	-	0,4	2,4	0,9	-	-	-	-	-
6 - 7	-	-	-	4,0	32,8	47,8	34,0	10,2	0,7	-	-	-
7 - 8	-	-	10,0	70,6	140,8	161,3	140,8	105,1	54,8	7,3	0,0	-
8 - 9	2,9	23,2	96,4	190,9	279,7	303,9	287,6	262,4	208,5	112,7	34,9	3,4
9 - 10	80,6	133,1	223,7	321,4	422,7	444,1	431,7	416,0	369,4	254,7	158,2	82,2
10 - 11	184,1	241,3	340,8	433,7	536,7	553,4	546,5	538,3	496,6	369,7	263,5	179,0
11 - 12	261,7	326,3	427,0	511,1	599,4	622,6	615,0	622,4	576,3	443,1	329,1	247,0
12 - 13	307,9	384,2	480,2	548,2	626,6	642,3	646,3	655,9	612,7	480,6	363,4	281,2
13 - 14	325,3	417,9	509,5	544,5	608,4	620,0	634,5	646,6	608,7	500,1	357,9	282,3
14 - 15	289,0	412,3	494,9	496,8	556,7	569,1	589,1	592,4	544,3	428,5	297,0	240,1
15 - 16	213,2	299,4	379,0	410,7	474,2	485,0	508,0	504,1	440,0	304,8	203,8	164,9
16 - 17	113,5	192,9	261,4	305,4	367,9	384,5	397,8	382,3	310,9	181,1	91,2	71,7
17 - 18	11,8	68,2	144,3	191,7	246,2	270,8	273,7	248,5	164,2	44,0	4,8	3,1
18 - 19	-	1,4	29,6	76,2	124,6	153,4	151,8	114,5	26,4	0,0	-	-
19 - 20	-	-	-	3,9	25,4	49,3	48,1	14,7	-	-	-	-
20 - 21	-	-	-	-	-	1,7	2,3	-	-	-	-	-
21 - 22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22 - 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23 - 24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сумма	1789,8	2500,2	3396,7	4109,2	5042,5	5311,4	5308,1	5113,2	4413,6	3126,7	2103,8	1554,8

Рисунок 9 - Среднечасовые и среднемесячные значения солнечной энергии.

На выходе инвертора имеются 5 клемм: 3 фазные клеммы, 1 нулевая клемма и 1 клемма заземления. В распределительного устройства (РУ) 0,4 кВ сетевой фотоэлектрической станции (СФЭС) 3 фазы от каждого инвертора подключаются к отдельному трехполюсному автомату переменного тока.

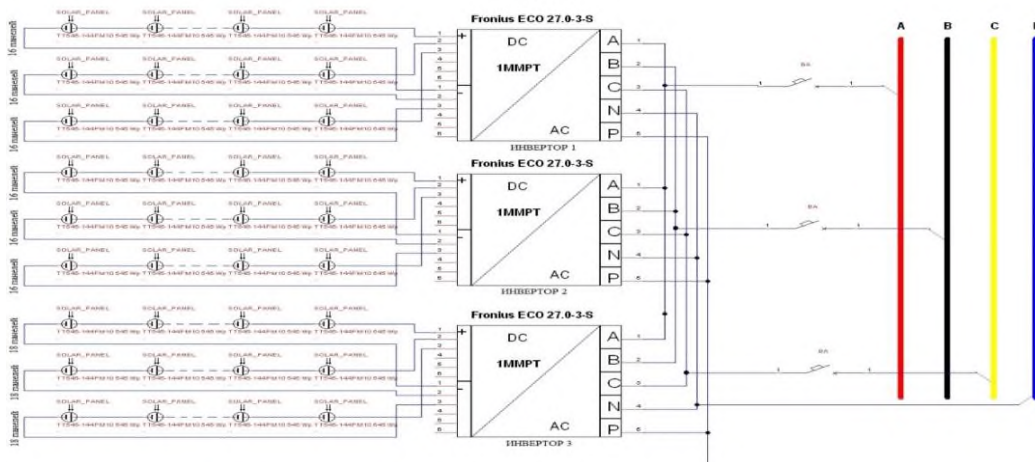


Рисунок 10 - Общая электрическая схема СФЭС.

Далее от трех трехполюсных автоматов переменного тока соответствующие фазы соединяются уже в соответствующих шинах переменного тока, после от каждой шины отходит

провод к общему трехполюсному автомату переменного тока. После самонесущим изолированным проводом (СИП) воздушной прокладки осуществляется передача электроэнергии от РУ 0,4 кВ СФЭС к РУ 0,4 кВ (трансформаторной подстанции) ТП 856, таким образом происходит соединение СФЭС с традиционной сетью. Также устанавливается соединение инверторов посредством информационных проводов для их синхронизации между собой.

Ожидаемая выработка электрической энергии за весь срок службы, определенной в 25 лет составляет 2,5 млн кВт\*ч при среднегодовой величине 99,7 МВт\*ч. Строительство станции было завершено в 2023 г. После пуско-наладочных работ станция вступила в свою работу 19 октября 2023 г. Общий вид станции приведена на рисунке 11.



Рисунок 11 – Общий вид гелиополя СФЭС - 81,75 кВт.



Рисунок 12 – Выработка по дням в ноябре 2023 г.

На рисунке 12 приведены суточные данные по выработке в течение ноября. Максимальная суточная выработка в течение месяца зафиксирована 2 ноября 2023 г и составила 426,49 кВт\*ч. Неравномерность и спады по выработке объясняются разной степенью облачности и наличием осадков в виде дождей.

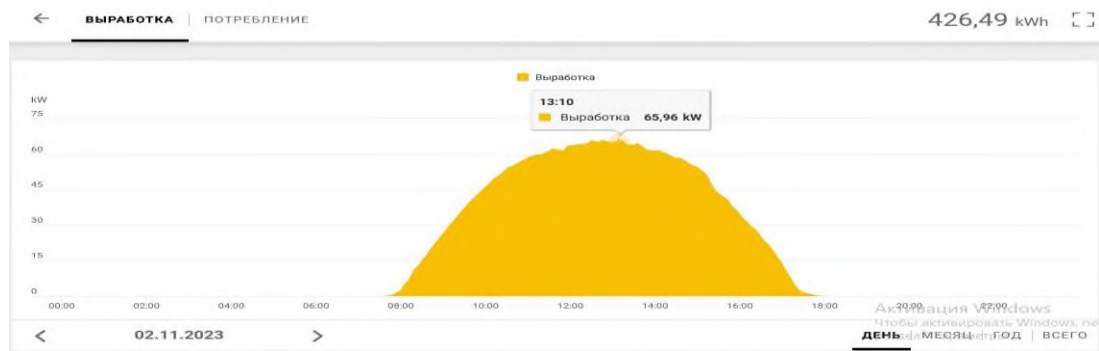


Рисунок 13 – Мгновенная мощность станции самого солнечного дня ноября 2023 г.

На рисунке 13 приведен график фактической мощности станции в течение самых «солнечных» суток 2 ноября. Максимальная мощность в этот день зафиксирована в 13.10 и составила 65,96 кВт, что составляет около 81% от номинальной мощности.

Результаты мониторинга станции за рассматриваемый период ее работы с 19 октября 2023 г. по 20 февраля 2024 г. по выработке электрической энергии показаны ниже в таблице 2.

Таблица 2 – Выработка электроэнергии за период ее эксплуатации

Месяцы	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	Итого
Выработка, кВт*ч	3 788	7 920	4 398	5 350	3 303	24 759

### Вывод

Таким образом, полученные результаты исследований и успешная реализация проекта позволяют создать научно-обоснованную основу для подготовки и обучения специалистов, работников энергетического сектора, включая проектные организации для их дальнейшего широкомасштабного внедрения крупных сетевых ФЭС в Кыргызской Республике.

### Список литературы:

1. **Кочкорбаева, М.** Некоторые демографические проблемы контексте устойчивого развития [Текст] / М. Кочкорбаева // Реформа. - 2023. - №2 (98).
2. **Джолочиева, М.К.** К проблеме безопасности и качества питьевой воды [Текст] / М.К.Джолочиева // Вестник. - Бишкек: КГМА им. И.К. Ахунбаева, 2017.- № 4.
3. **Баймуратов, А.А.** Зеленая экономика – базовая платформа для долгосрочного устойчивого развития Кыргызской Республики [Текст] / А.А.Баймуратов, М.Т.Зикираев // Научный результат. Экономические исследования.-2020.- Т 6.- №3. - С. 13-19.
4. **Садыралиев, Ж.** Влияние экологической обстановки, окружающей среды на уровень и качество жизни населения в Кыргызстане [Текст] / Ж. Садыралиев // Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки. - 2018.- № 4.
5. **Кочкорова, М.Б.** Предпосылки развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в Кыргызстане [Текст] / М.Б.Кочкорова, Б.Т.Белеков // Вестник Жалал-Абадского гос. универ.-Джалал-Абад: ЖАГУ, 2016.- №1.
6. **Кундас, С.П.** Гибридные технологии в использовании возобновляемых источников энергии. [Текст] / С.П.Кундас, Ю.Шенк, Н.Н. Вайцехович // Энергоэффективность.-2012.-№ 2.
7. CW Enerji 550-530Wp Black Series 144PM10.pdf
8. Fronius Eco – Installation 25.0-3-S / 27.0-3-S.pdf
9. <https://commission.europa.eu>
10. <https://www.solarweb.com>

Поступила в редакцию: 17.01.2024 г.