



Оптимизация Режимов Распределительных Электрических Сетей С Фотоэлектрическими Системами

Каюмов Жавохир Абдукаххор угли

Холбоев Бобур-Мирзо Маъруфжон угли

Холмуродов Исмоилжон Худойберганович

Выпускники Ташкентская Государственная Техническая Университета

ABSTRACT

В статье проводились исследования по оптимизацию электрических сетей, содержащих фотоэлектрических систем. В целях обеспечения оптимальной работы фотоэлектрической системы и использования этой системы для удовлетворения спроса потребителей на электроэнергию был рассмотрен вопрос производства качественной электроэнергии при низких ценах. Рассчитано влияние фотоэлектрической системы на окружающую среду и затраты, необходимые для обеспечения оптимальной работы и установки этой системы на конкретной территории. Для решения этой задачи был выбран конкретный участок в Наманганской области и для него разработана математическая модель фотоэлектрической системы. Рассчитаны затраты и выгоды от установки оптимальной модели.

ARTICLE INFO

Received: 20th May 2022

Revised: 20th June 2022

Accepted: 30th July 2022

KEY WORDS:

оптимизация режимов, математическая модель, распределительных электрических сетей, фотоэлектрическими системами, солнечная энергия, энергосистем

Актуальность темы. Сегодня во всем мире уделяется большое внимание на расширение степени использования возобновляемых источников энергии, прежде всего солнечной и ветровой энергии, которая является стимулом для развития зеленой энергетики.

Развитие зеленой энергетики считается особо актуальным, так как в первую очередь служит экономии первичных энергоресурсов республики, уменьшению эмиссии CO₂ и смягчению последствий изменения климата.

Можно ожидать, что в ближайшие десятилетия солнечная энергетика станет стимулом для экономического развития стран и регионов, обладающих максимальным «солнечным» ресурсом. Расчеты показывают, что технический потенциал ежегодно поступающей на планету солнечной энергии (рассчитанный с использованием существующих технических и технологических средств) в несколько раз превышает доказанные запасы всех ископаемых видов топлива (уголь, торф, нефть, природный газ). Если энергию, поставляемую на нашу планету Солнцем за год, перевести в условное топливо, то эта цифра составит около 100 триллионов тонн. Это в десять тысяч раз больше необходимого нам количества.

Целью исследования заключается в комплексном исследовании интегрированных фотоэлектрических систем с учётом внешних климатических факторов и особенностей энергосистемы Узбекистана.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие **задачи исследования:**

Обзор и анализ основных методов оптимизации электрических систем и сетей;

анализ существующего положения выработки электроэнергии солнечными электростанциями;

исследование зависимости энергетических показателей фотоэлектрических модулей и фотоэлектрических систем, интегрированных в электрическую сеть в условиях изменения интенсивности солнечного излучения и влияния климатических факторов;

исследование вопросов оптимизации режимов работ фотоэлектрических систем в составе электрической сети;

прогнозная оценка ресурсных, технико-экономических и экологически показателей интегрированных фотоэлектрических систем в электрическую сеть.

Объектом исследования электрическая сеть с интегрированной фотоэлектрической системой (станцией).

Предметом исследования являются алгоритм оптимизации режимов распределительных сетей с фотоэлектрическими системами.

Методы исследований. Методы линейного и нелинейного математического программирования, методы режимных расчетов электроэнергетических систем.

Научная новизна исследования. В процессе научно-исследовательской работы получены следующие научные результаты:

Разработана расчетная математическая модель задачи оптимизации режима распределительной сети;

исследование алгоритмов оптимизации режима электрической сетей с фотоэлектрической системой;

проанализированы параметров солнечного фотоэлектрических модулей и инверторов.

Практическая значимость результатов работы заключается в возможности применения рассмотренных оптимизация режимов распределительных электрических сетей с фотоэлектрическими системами.

1.1. Математическое моделирование задачи оптимизации режима распределительной сети.

Спрос на электроэнергию растет непрерывно в связи с ростом населения и развитием науки и техники. В связи с глобальными изменениями климата и ограниченностью используемых нами энергетических ресурсов нам нужны новые виды энергии, т.е. альтернативные источники энергии. В связи с тем, что среднеазиатский регион - солнечная страна, позволяет вырабатывать электроэнергию с использованием солнечной энергии, планируется построить несколько ТЭЦ. Для создания модели фотоэлектрической системы небольшому селу в Наманганской области необходимо ещё другой источник электроэнергии. Будет рассмотрен вопрос обеспечения потребности села в электроэнергии с помощью фотоэлектрической системы и оптимальной работы системы, а также выбора наиболее экономичного варианта.

Рассматривается установка фотоэлектрической системы в деревне с потреблением 100 кВт. Потребители энергии, необходимые для нужд населения, приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1. Типовые электроприборы.

№	Тип нагрузки	Вт	Штук	Суммарная мощность
1.	Электrolампа	40	1800	72000W
2.	Телевизор	80	158	12640W
3.	Холодильник	100	50	5000W

4.	Кондиционер	2238	24	53712W
5.	Водонагреватель	1000	22	22000W
165352W=165KW				

Мощность, потребляемая населением в 2021 году, представлена в таблице 1. 2.

Таблица 1.2. Типовое энергопотребление деревни за последний год (2021 г.)

Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июн	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Ноя	Дек
71.88	54.78	50.04	67.4	62.04	76.26	80.4	97.4	110.278	98.46	113.76	105.04
МВтч	МВтч	МВтч	МВтч	МВтч	МВтч	МВтч	МВтч	МВтч	МВтч	МВтч	МВтч

Таблица 1.3. Среднемесячные климатические данные (кВт/м² /сутки) для Намангана.

Местность месяц	Янв	Фев	Мар	Апр	Май	Июн	Июл	Авг	Сен	Окт	Ноя	Дек	Год
По горизонту (кВт*ч/м ² день)	1.83	2.65	3.59	5.11	6.75	7.75	7.72	6.93	5.45	3.48	2.13	1.47	4.58
Темп.Т (С°)	5 С°	10 С°	15 С°	18 С°	25 С°	29 С°	32 С°	30 С°	28 С°	23 С°	14 С°	3 С°	20 С°

Данные о солнечном излучении дают информацию о том, сколько Энергия Солнца падает на поверхность в определенном месте на Земле в течение определенного периода времени. Из-за отсутствия измеренных данные об освещенности наклонных поверхностей, математические модели были разработаны для расчета освещенности на наклонных поверхностях. Выбран лучший угол наклона за месяц. Ежемесячный лучший угол наклона β (градусы) может быть рассчитана по следующей формуле

$$\beta = \theta - \delta \quad (1)$$

где θ (градусы)- широта сайта; δ (градусы)- угол склонения. Угол склонения можно рассчитать для Северное полушарие в виде целого числа, представляющего рекомендуемый день года, n , по:

$$\delta = 23,45 * \sin \left[360 * \frac{(284+n)}{365} \right] \quad (2)$$

Среднесуточная солнечная радиация на горизонтальную поверхность, \bar{H} за каждый календарный месяц можно выразить, определив \bar{K}_T доля средней суточной внеземной радиации, \bar{H}_0 как:

$$\bar{K} = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} \quad (3)$$

Среднесуточная радиация на наклонной поверхности, H_T , может быть выражается следующим образом:

$$\bar{H}_0 = \bar{R} * \bar{H} = \bar{R} * \bar{K}_T * \bar{H}_0 \quad (4)$$

где \bar{R} отношение излучения на наклонных поверхностях к излучения на горизонтальные поверхности. \bar{R} Можно оценить индивидуально, рассматривая пучок, рассеянный и отраженный составляющие излучения, падающего на наклонные поверхности к экватору. Предполагая рассеянное и отраженное излучение, может быть изотропным, то R можно выразить следующим образом:

$$\bar{R} = \frac{\bar{H}_T}{\bar{H}} = \left(1 - \left(\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \right) \right) * \bar{R}_b + \left(\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \right) \left(\frac{(1+\cos(s))}{2} \right) + p * \left(\frac{(1-\cos(s))}{2} \right) \quad (5)$$

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1.39 - 4.027 * \bar{K}_T + 5.531 * (\bar{K}_T)^2 - 3.108 * (\bar{K}_T)^3 \quad (6)$$

\bar{H}_d – среднемесячная суточная диффузная радиация. Однако Rb можно оценить как отношение внеземного излучения на наклонной поверхности к тому, что на горизонтальной поверхности за месяц, таким образом:

$$\bar{R}_b = \frac{\sin(\delta) \sin(\theta - \delta) (\pi/180) \omega'_s + \cos \delta \cos(\theta - \delta) \sin \omega'_s}{\sin \delta \sin \theta \sin(\pi/180) + \cos \delta \cos \theta \sin \omega_s} \quad (7)$$

где

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan(\theta) \tan(\delta))$$

$$\omega'_s = \min[\omega_s, \cos^{-1}(-\tan(\theta - S)) \tan(\delta)] \quad (8)$$

Расчет средней мощности одного Фотоэлектрического модуля.

Полная модель фотоэлектрического модуля состоит из тока источник, интенсивность которого $I_{ph}(A)$ прямо пропорциональна излучению G (кВт/м²), подключенному параллельно с двумя диоды, имитирующие диффузию меньшинства заряд, а другой, соответствующий рекомбинации узла. Параллельное сопротивление R_{sh} (Om) представляет собой потери тока утечки, а последовательное сопротивление R_s (Om) представляет собой внутренние потери ячейки, тепловые потери на эффекте Джоуля из-за протекания тока, смешивания и потерь между ячейками. Электрическая эквивалентность двух диодов схемы, описывающие массив солнечных элементов, используемых в анализе, показано на (Рисунке 3.1) и (Рисунке 3.2). Эквивалентная схема модуль расположен последовательно и параллельно ячейкам с N_s и N_p соответственно.

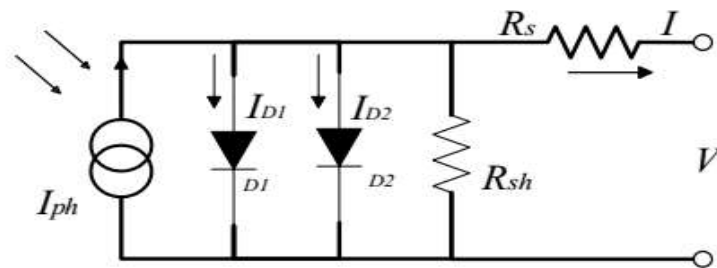


Рис. 1.1. Схема двух диодного фотоэлемента.

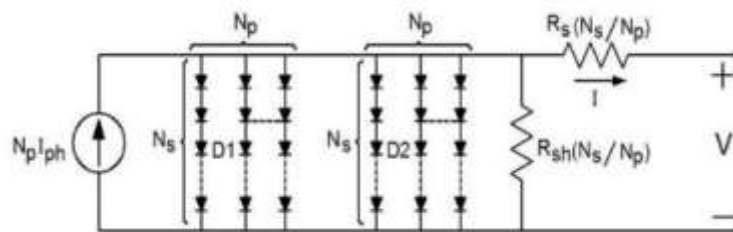


Рис.1.2.Эквивалентная схемная модель обобщенного фотоэлектрического модуля.

1.2. Алгоритм оптимизации режимов распределительных сетей с фотоэлектрическими системами.

Характеристическое уравнение ВАХ имеет вид:

$$I = I_{ph} - I_{s1} \left[\exp \left(\frac{V+IR_s}{\alpha_1 V_T} \right) - 1 \right] - I_{s2} \left[\exp \left(\frac{V+IR_s}{\alpha_2 V_T} \right) - 1 \right] - \left[\left(\frac{V+IR_s}{R_{sh}} \right) - 1 \right] \quad (9)$$

где I_{s1} (А) — диффузионный ток насыщения D_1 , I_{s2} (А) - рекомбинационный ток насыщения D_2 . I_{ph} , функция температура и солнечная:

$$I_{ph} = \left(\frac{G}{G_{STC}} \right) [I_{ph \text{ at } STC} + K_i(T - T_{STC})] \quad (10)$$

где ($G_{STC}=1\text{кВт/м}^2$) — солнечная радиация при стандартном испытании. Условия, $I_{ph \text{ at } STC}$ (А) — фототок в STC, $K_i(\text{А/С}^\circ)$ - коэффициент тока короткого замыкания, $T(\text{К}^\circ)$ – фотоэлемент рабочая температура, $T_{STC}(\text{К}^\circ)$ - фотоэлектрическая ячейка при STC. Токи насыщения двух диодов как функция рабочего фотоэлектрического элемента температура дана следующим образом:

$$I_{s1} = I_{s1 \text{ at } STC} \left(\frac{T}{T_{STC}} \right)^3 \exp \left[\left(\frac{q \cdot E_g}{\alpha_1 \cdot K} \right) \left(\frac{1}{I_{STC}} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (11)$$

$$I_{s2} = I_{s2 \text{ at } STC} \left(\frac{T}{T_{STC}} \right)^3 \exp \left[\left(\frac{q \cdot E_g}{\alpha_2 \cdot K} \right) \left(\frac{1}{I_{STC}} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (12)$$

Где; q -заряд электрона ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл), K -Постоянная Больцмана ($1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К), $E_g(\text{эВ})$ - ширина запрещенной зоны энергия полупроводника, α_1 и α_2 - идеальность диода факторы для двух-диодной модели. Текущее уравнение модуля написано как:

$$I = N_p I_{ph} - N_p I_{s1} \left[\exp \left(\frac{V+IR_s \left(\frac{N_s}{N_p} \right)}{\alpha_1 N_s V_T} \right) - 1 \right] - N_p I_{s2} \left[\exp \left(\frac{V+IR_s \left(\frac{N_s}{N_p} \right)}{\alpha_2 N_s V_T} \right) - 1 \right] - \left[\left(\frac{V+IR_s \left(\frac{N_s}{N_p} \right)}{R_{sh} \left(\frac{N_s}{N_p} \right)} \right) - 1 \right] \quad (13)$$

Расчет средней мощности на одного фотоэлектрический модуль.

Количество подсистем, N_{sub} зависит от инвертора рейтинг, $P_{inverter}$ и размер фотоэлектрической системы, P_{system} . Чтобы определить количество подсистем, мощность инвертора и данные модуля должен быть известен.

$$N_{sub} = \frac{P_{system}}{P_{inverter}} \quad (14)$$

Возможна последовательная и параллельная комбинация каждой фотоэлектрической подсистемы регулируется не только диапазоном напряжения МПП, но и максимальный входной ток постоянного тока инвертора. Оценка начальное общее количество фотоэлектрических модулей для каждой подсистемы, может быть, рассчитывается следующим образом:

$$N_{PV-sub-i} = \frac{P_{inverter}}{P_{max}} \quad (15)$$

Большинство производителей инверторов для фотоэлектрических систем сделать широкий диапазон между максимумом и минимумом значения диапазона напряжения МПП (V_{mpp_Vmax} , V_{mpp_Vmin}), где инверторы работают правильно и без проблем находят точка максимальной мощности там, где работает модуль. Минимальное и максимальное количество фотоэлектрических модулей, которые могут быть соединены последовательно в каждой ветви, N_{s_min} и N_{s_max} соответственно, рассчитываются по напряжению МПП диапазон следующим образом

$$N_{s-min} = \text{ceil} \left(\frac{V_{mpp-min}}{V_{mpp}} \right) \quad (16)$$

$$N_{s-max} = \text{ceil} \left(\frac{V_{mpp-min}}{V_{mpp}} \right) \quad (17)$$

где V_{mpp} - точка максимальной мощности фотоэлектрического модуля.

оптимальное количество модулей серии, N_{s_sub} находится в диапазон

$$N_{s_min} < N_{s_sub} < N_{s_max} \quad (18)$$

Минимальное и максимальное количество фотоэлектрических модулей, которые могут быть соединены параллельно в каждой подсистеме, N_{p_min} и N_{p_max} соответственно, рассчитываются следующим образом:

$$N_{p-min} = \text{ceil} \left(\frac{N_{PV-sub-i}}{N_{s-max}} \right) \quad (19)$$

$$N_{p-max} = \text{ceil} \left(\frac{N_{PV-sub-i}}{N_{s-min}} \right) \quad (20)$$

где оптимальное количество параллельных модулей N_{p_sub} находится в диапазоне:
 $N_{p_min} < N_{p_sub} < N_{p_max}$ (21)

Количество фотоэлектрических модулей, подключенных параллельно, может быть установлено на N_{p_sub} N_{p_min} , но не может быть установлено на N_{p_max} , так как постоянный ток может нанести больший ущерб, чем все параллельные токи. Для каждого количества модулей серии N_{s_sub} в ранее рассчитанном диапазоне серий оценка соответствующих параллельных модулей для каждой подсистемы может быть рассчитана следующим образом:

$$N_{p_sub} = \text{ceil} \left(\frac{N_{PV-sub-i}}{N_{s-min}} \right) \quad (22)$$

Затем пересчитайте общее количество фотоэлектрических модулей, N_{PV_sub} по каждой полученной серии и параллельной комбинации

$$N_{PV_sub} = N_{s_sub} \cdot N_{p_sub} \quad (23)$$

Предполагая, что инвертор работает в диапазоне напряжений МРР, рабочее входное напряжение и ток инвертора (V_{mpp_sub} , I_{mpp_sub}) можно рассчитать следующим образом:

$$V_{mpp_sub} = N_{s_sub} \cdot V_{mpp} \quad (24)$$

$$I_{mpp_sub} = N_{p_sub} \cdot I_{mpp} \quad (25)$$

Из предыдущих расчетов база данных, содержащая вероятные формируются последовательные и параллельные комбинации, фотоэлектрические модули, входное напряжение постоянного тока и ток для каждой подсистемы. Оптимальный выбирается общее количество фотоэлектрических модулей для каждой подсистемы в соответствии с минимальным количеством фотоэлектрических модулей, которое удовлетворяет не только диапазон напряжения МПП, но и максимальный постоянный ток входной ток инвертора. Общее количество фотоэлектрических модулей, N_{PV} для выбранного сайта можно рассчитать из следующего.

$$N_{PV} = N_{sub} \cdot N_{PV_sub} \quad (26)$$

Выбор инвертора. Инверторы являются необходимым компонентом фотоэлектрической системы генерация, используемая для преобразования выхода постоянного тока фотоэлектрической батареи в переменный ток, который может быть использован электрическими нагрузки.

Экономический аспект имеет решающее значение для фотоэлектрических систем из-за них высокая стоимость, что отражается на цене производимой энергиями. СЭ является мерой экономической целесообразности, и когда сравнивается с ценой энергии из других источников (в первую очередь коммунальное предприятие) или к цене, по которой энергия может быть продана, это указывает на осуществимость. Первоначальные капитальные вложения представляют собой сумму инвестиционных затрат на части фотоэлектрической системы, т. е. на фотоэлектрическую батарею, инвертор постоянного/переменного тока и прочее (провода, кабели, разъемы, поддержку фотоэлектрической линии и подключение к сети).

$$C_{cap} = C_{PV} + C_{inverter} + C_{Прочие} \quad (27)$$

Прочие расходы, $C_{Прочие}$ можно определить следующим образом:

$$C_{Прочие} = C_{труд} + C_{Электропроводка} + C_{стойки} + C_{сетка} \quad (28)$$

СЭ (долл. США/кВт·ч) в основном определяется стоимостью установки и годовая выработка энергии системой, ГВЭ которой может быть рассчитывается по следующему уравнению: $CЭ = \frac{C_{cap} + C_{main}}{ГВЭ}$ (29)

Простое время окупаемости (ПВО)

Фотоэлектрическая система экономически целесообразна только в том случае, если ее общая доходы превышают общие затраты в течение периода времени до срок службы системы. Простой срок окупаемости (ПВО) дает предварительную оценку экономической целесообразности. Расчет (ПВО) включает стоимость денег, заемных или потерянный интерес, а ежегодные затраты на

эксплуатацию и техническое обслуживание могут, рассчитывают следующим образом.

$$ПВО = \frac{C_{cap}}{ГВЭ*P - C_{cap}*i - C_{main}} \quad (30)$$

1.3. Оптимальная конфигурация в виде подробного расчета.

Многие расчеты были сделаны для многих подсистем. А база данных, содержащая вероятные серии и параллельные комбинации, Модули фотоэлектрических модулей для каждой подсистемы и входного напряжения постоянного тока и формируется ток. Детальные расчеты на основе минимальной вырабатываемой стоимости кВт/ч для оптимальной конфигурации выбранного модуля (Helione 96М 420) и инвертора (GCI-10kLV) можно выполнить следующим образом. Исходные данные приведены в Таблица 4, Таблица 5 и Таблица 6

$$N_p = \text{ceil} \left(\frac{P_{system}}{P_{inverter}} \right) = \text{ceil} \left(\frac{100000}{10200} \right) = \text{ceil}(9.8039) = 10$$

$$N_{PV-sub-i} = \text{ceil} \left(\frac{P_{inverter}}{P_{max}} \right) = \text{ceil} \left(\frac{10200}{420} \right) = \text{ceil}(24.2857) = 25$$

$$N_{s-min} = \text{ceil} \left(\frac{V_{mpp-min}}{V_{mp}} \right) = \text{ceil} \left(\frac{150}{49.53} \right) = \text{ceil}(3.0284) = 4$$

$$N_{s-min} = \text{ceil} \left(\frac{V_{mpp-min}}{V_{mp}} \right) = \text{ceil} \left(\frac{500}{49.53} \right) = \text{ceil}(10.0948) = 11$$

Оптимальное количество модулей серии N_{s_sub} находится в следующий диапазон, как показано в столбце 2 из таблицы 3.8.

$$4 < N_{s_sub} < 11$$

$$N_{p-min} = \text{ceil} \left(\frac{N_{PVsub_i}}{N_{s-max}} \right) = \text{ceil} \left(\frac{25}{11} \right) = \text{ceil}(2.2727) = 3$$

$$N_{p-max} = \text{ceil} \left(\frac{N_{PVsub_i}}{N_{s-min}} \right) = \text{ceil} \left(\frac{25}{4} \right) = \text{ceil}(6.25) = 7$$

Оптимальное количество модулей серии N_{s_sub} находится в следующий диапазон, как показано в столбце 2 из таблицы 8

$$3 < N_{p_sub} < 7$$

$$N_{psub} = \text{ceil} \left(\frac{N_{PVsub_i}}{N_{sub}} \right) = \text{ceil} \left(\frac{25}{9} \right) = \text{ceil}(2.7777) = 3$$

$$N_{PVsub} = N_{sub} * N_{psub} = 9 * 3 = 27$$

Предполагая, что инвертор работает в напряжении МРР диапазон, рабочее входное напряжение и ток инвертора можно рассчитать следующим образом, как показано в столбцах 5 и 7 в Таблица 8 соответственно:

$$V_{mp-sub} = N_{s-sub} * V_{mp} = 9 * 49.53 = 445.77 \text{ V}$$

$$I_{mpsub} = N_{mpsub} * I_{mp} = 3 * 8.48 = 25.44 \text{ A}$$

Каждые 9 модулей будут соединены последовательно, чтобы построить 3 параллельных модуля струны. С учетом напряжения холостого хода ($V_{oc} = 60,55 \text{ V}$) и ток короткого замыкания ($I_{sc} = 9,0 \text{ A}$) Helione 96М 420 солнечный модуль в стандартных условиях, напряжение холостого хода и ток короткого замыкания для результирующей фотоэлектрической батареи.

$$V_{oc\ array} = 60.55 * 9 = 544.95 \text{ V}$$

$$I_{oc\ array} = 9 * 3 = 27 \text{ A}$$

Которые также удовлетворяют ограничениям по напряжению и току выбранных инвертор. Диапазон напряжения МПП инвертора (GCI-10к-LV) составляет 150-500. В, Как видно из Таблицы 8, все конфигурации могут быть реализованы в зависимости от рабочего напряжения, за исключением последний (случай 8), потому что напряжение превышает максимальное значение диапазона напряжения МПП. С другой стороны, максимальный DC входной ток выбранного инвертора составляет 30. А, поэтому случаи с 1 по 5 таблица 3.8 не может быть реализована, результирующий ток выше, чем максимальный входной постоянный ток выбранного инвертора. Хотя минимальное

количество фотомодулей для подсистема 25, как показано в столбце 4 в таблице 8, это число не является оптимальным количеством фотоэлектрических модулей для подсистемы, потому что результирующий ток равен 42,4 А, т.е. выше, чем максимальный входной ток постоянного тока инвертора (30А). Оптимальное общее количество фотоэлектрических модулей для каждой подсистемы выбирается по минимальному количеству фотомодулей, который удовлетворяет не только диапазону напряжений МПП, но и максимальный входной ток постоянного тока инвертора. Так что оптимально количество фотомодулей из остальных корпусов 6 и 7 равно 27 модули. Общее количество фотоэлектрических модулей можно рассчитать из следующее уравнение, как показано в таблице 3.9:

$$N_{PV} = N_{sub} * N_{P-sub} = 10 * 27 = 270$$

Таблица 1.4. Оптимальная конфигурация фотоэлектрического модуля и инвертора.

Случай	N_{s-sub}	N_{p-sub}	N_{sub}	V_{sub}	Напряжение условие	I_{sub}	Нынешнее состояние	Оптимальный
1.	4	7	28	198.12 V	Доволен	59.36 А	Не удовлетворены	
2.	5	5	25	247.65 V	Доволен	42.4А	Не удовлетворены	
3.	6	5	30	297.18 V	Доволен	42.4А	Не удовлетворены	
4.	7	4	28	346.71 V	Доволен	33.92	Не удовлетворены	
5.	8	4	32	396.24 V	Доволен	33.92	Не удовлетворены	
6.	9	3	27	445.77 V	Доволен	25.44	Не удовлетворены	Выбрано
7.	10	3	30	495.3V	Доволен	25.44	Не удовлетворены	
8.	11	3	33	544.83 V	Доволен	25.44	Не удовлетворены	

Таблица 1.5. Оптимальное общее количество фотоэлектрических модулей для каждой системы.

	Модуль инвертор	Mitsubishi PV-UD190MF5	Suntech STP270S-24/Vb	ET MODULE ET-P672305WB/WW	1Sol Tech 1STH-350-WH	Heliene 96 M 420
N_{pv}	GCI-10K-LV	540	390	360	300	270

	Sunny Tripower200TL	540	380	340	300	255
	HS50K5	580	408	364	320	264
	HS100K3	580	408	361	315	264

Почему инвертор ST25000TL не подходит это приложение?

Инвертор ST25000TL не выбран, если выходной постоянный ток подсистем превышает максимальный входной постоянный ток инвертора в соответствии со следующими расчетами

$$N_{PVsubi} = \text{ceil} \left(\frac{P_{inverter}}{P_{max}} \right) = \text{ceil} \left(\frac{26500}{420} \right) = \text{ceil}(63.0952) \cong 64$$

$$N_{s-min} = \text{ceil} \left(\frac{V_{mpp-min}}{V_{mpp}} \right) = \text{ceil} \left(\frac{450}{49.53} \right) = \text{ceil}(9.0854) \cong 10$$

$$N_{s-min} = \text{ceil} \left(\frac{V_{mpp-min}}{V_{mpp}} \right) = \text{ceil} \left(\frac{800}{49.53} \right) = \text{ceil}(16.1518) \cong 17$$

Оптимальное количество модулей серии N_{s_sub} находится в следующий диапазон, как показано в столбце 2 таблицы 10:

$$10 < N_{Ssub} < 17$$

$$N_{p-min} = \text{ceil} \left(\frac{N_{PVsubi}}{N_{s-min}} \right) = \text{ceil} \left(\frac{64}{10} \right) = \text{ceil}(6.400) \cong 7$$

$$N_{p-min} = \text{ceil} \left(\frac{N_{PVsubi}}{N_{s-min}} \right) = \text{ceil} \left(\frac{64}{17} \right) = \text{ceil}(3.7647) \cong 4$$

Оптимальное количество параллельных модулей N_{p_sub} находится в следующий диапазон, как показано в столбце 3 таблицы 10:

$$4 < N_{Ssub} < 7$$

$$N_{p_sub} = \text{ceil} \left(\frac{N_{PVsubi}}{N_{s-min}} \right) = \text{ceil} \left(\frac{64}{10} \right) = \text{ceil}(6.4) \cong 7$$

Предполагая, что инвертор работает в напряжении MPP диапазон, рабочее входное напряжение и ток инвертора можно рассчитать следующим образом, как показано в столбцах 4 и 6 в Таблица 3.10 соответственно:

$$V_{mp_psub} = N_{s_sub} \cdot V_{mpp} = 10 * 49,53 = 495,3 \text{ V}$$

$$I_{mp_psub} = N_{p_sub} \cdot I_{mpp} = 7 * 8,48 = 59,36 \text{ A}$$

Обратите внимание, что выходной ток постоянного тока подсистемы (59,36 А) составляет выше максимального входного постоянного тока инвертора (32 А) что делает инвертор ST25000TL не подходящим для этого применения, как показано в Таблице 10 и Таблице 3.11. Подробные расчеты подсистем с инвертором ST25000TL который не подходит для предлагаемой сети крыши, подключенной фотоэлектрические системы показаны в таблице 3.11, где случай в столбце 2 из таблицы 3.11 относится к числу вероятных систем конфигурации с каждым типом модуля.

Таблица 1.6. Подсистемы с инвертором ST25000TL и фотоэлектрическим модулем Heliene 96M 420.

Случа й	N_{s-sub}	N_{p-sub}	N_{sub}	V_{sub}	Напряжение условие	I_{sub}	Нынешнее состояние	Оптимал ьный
1.	10	7	70	495.30 V	Доволен	59.36 A	Не удовлетворе ны	Нет оптимальной конфигурации
2.	11	6	66	544.83 V	Доволен	50.88 A	Не удовлетворе	

							ны
3.	12	6	72	594.36 V	Доволен	50.88 А	Не удовлетворе ны
4.	13	5	65	643.89 V	Доволен	42.40 А	Не удовлетворе ны
5.	14	5	70	693.42 V	Доволен	42.40 А	Не удовлетворе ны
6.	15	5	75	742.95 V	Доволен	42.40 А	Не удовлетворе ны
7.	16	4	64	792.48 V	Доволен	33.92 А	Не удовлетворе ны
8.	17	4	68	842.01 V	Доволен	33.92 А	Не удовлетворе ны

Таблица 1.7. Инвертор ST25000TL под разные фотомодели.

Тип модуля	Случай	N_{s-sub}	N_{p-sub}	N_{sub}	V_{sub}	I_{sub}	Условие
Mitsubishi PV-UD190MF5	Start(1)	19	8	152	469.3V	61.68A	Не удовлетворены
	End(15)	33	5	165	815.10V	38.55A	Не удовлетворены
Suntech STP270S-24/Vb	Start(1)	13	8	104	455.00V	61.68A	Не удовлетворены
	End(11)	23	5	115	805.00V	38.55A	Не удовлетворены
ET MODULE ET- P672305WB/WW	Start(1)	13	7	91	483.34V	57.47A	Не удовлетворены
	End(10)	22	4	88	817.96V	32.84	Не удовлетворены
1Sol Tech 1STH-350-WH	Start(1)	11	7	77	473.00V	56.91A	Не удовлетворены
	End(19)	19	4	76	817.00V	32.52A	Не удовлетворены

Heliene 96 M 420	Start(1)	10	7	70	495.30V	59.36A	Не удовлетворены
	End(8)	17	4	68	842.01V	33.93A	Не удовлетворены

Фотоэлектрическая система в основном состоит из 270 Heliene 96M 420 фотомодели из монокристаллического кремния. Фотоэлектрические модули расположены в 3 параллельных ряда, с 9 модулями серии в каждый.

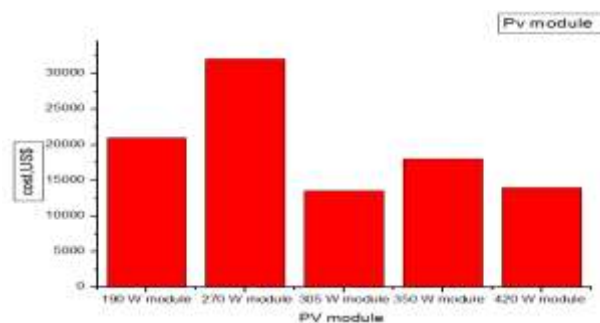


Рис.1.3. Анализ затрат на инвертор GCI-10k-LV под различные типы фотомоделей.

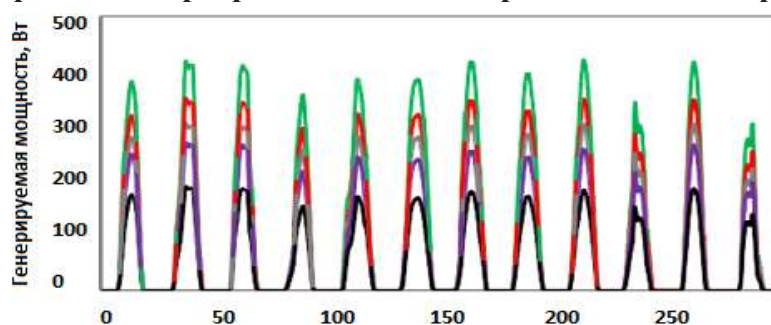


Рис.1.4 Выработанная мощность для каждого фотоэлектрического модуля за год.

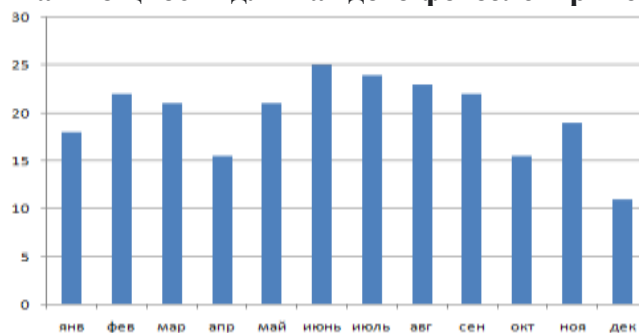


Рис.1.5 Ежемесячная выработка фотоэлектрической мощности для предлагаемой системы.

ГВЭ, денежные потоки и расчеты СЭ.

На рис.1.3. показана мощность, вырабатываемая каждым фотоэлектрическим модулем в течение года. Из этого рисунка можно рассчитать ежемесячную выработку энергии в соответствии с таблицей 1.5, как показано на рисунке 1.5. ГВЭ и соответствующие денежные поступления в результате выработки электроэнергии, покупаемой в электрическую сеть для каждой конфигурации фотоэлектрической системы, рассчитываются в таблице 1.8. Из этой таблицы, видно, что максимальная вырабатываемая энергия от GCI-10k-LV с десятью подсистемами равна 258,8006 МВ/чт. годовая электроэнергия, приобретаемая в электрическую сеть, равна \$32427,71, при этом оптимальная конфигурация системы состоит из фотоэлектрического модуля (Heliene 96M 420) и

инвертора (GCI-10k-LV) исходя из минимальной стоимости произведенного кВтч, равной 0,5466 \$/кВтч. Стоимость энергии СОЕ может быть определена из уравнения. (29) следующим образом:

$$CЭ = \frac{C_{cap} + C_{main}}{ГВЭ \left(\frac{КВтч}{год} \right)} = \frac{\$141466.226 + \$425.6}{258800.6} = 0.5482\$/КВтч$$

$$ПВО = \frac{C_{cap}}{ГВЭ * P - C_{cap} * i - C_{main}} = \frac{141466.226}{258.8006 * 10^3 * 0.1253 - 141466.226 * 0.0825 - 425.6} = 6.958 \text{ лет.}$$

Таблица 1.8. ГВЭ, цена продажи и СЭ

Параметр	Модуль	Mitsubishi PV-UD190MF 5	Suntech STP270S-24/Vb	ET MODULE ET P672305WB/WW	1Sol Tech 1STH-350-WH	Solar panel Heliene 96M 420
	Инвертор					
ГВЭ	GCI-10k-LV	228.8893	234.6086	206.5385	238.2875	258.8006
	Sunny Tripower 20000TL	228.8893	228.5928	195.0641	238.2875	244.4227
	HS50K3	245.8443	245.4365	208.8333	254.1732	253.0494
	HS100K3	245.8443	245.4365	207.1121	250.2018	253.0494
Цена продажи и (\$/год)	GCI-10k-LV	28679.82	29396.45	25879.27	29857.42	32427.71
	Sunny Tripower 20000TL	28679.82	28642.67	24441.53	29857.42	30626.16
	HS50K3	30804.29	30753.19	26166.81	31847.90	31707.08
	HS100K3	30804.29	30753.19	25951.14	31350.28	31707.08
СЭ (\$/кWh)	GCI-10k-LV	0.9374	1.3768	0.6721	0.7801	0.5482
	Sunny Tripower 20000TL	0.9565	1.3988	0.7017	0.7984	0.5702
	HS50K3	0.9370	1.3793	0.6792	0.7804	0.5557
	HS100K3	0.9304	1.3727	0.6725	0.7756	0.5493

Заключение

Известно, что запасы традиционных источников энергии, таких как нефть и газ, ограничены. И они наносят большой вред природе. Именно поэтому развитые страны переходят на «зеленую» энергию. Такие усилия важны не только сегодня, но и для будущего.

Поскольку фотоэлектрическая энергетика развивается непрерывно, обеспечение оптимальной работы этой системы является одной из основных задач для обеспечения качественного и бесперебойного электроснабжения с низкими затратами и бесперебойного снабжения энергией потребителей энергии.

В данной статье рассмотрена проблема оптимизации электроснабжения небольшого села в Наманганской области с помощью фотоэлектрической системы.

Разработана программа на MATLAB для выбора оптимального оборудования и расчета стоимости оборудования, срока окупаемости оборудования и воздействия выгоды и влияния на окружающую среду.

Список Использованных Источников.

1. Х.Ф.Фазылов, Х.Ю.Юлдашев ОПТИМИЗАЦИЯ режимов электро-энергетических систем. Цена 1р.30 к.
2. Электронный ресурс: <https://www.lex.uz/docs/3221897>
3. Электронный ресурс: <https://www.unenvironmen.org/>.
4. Электронный ресурс: <https://www.cell.com/>.
5. Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 231 с.
6. Germany's electricity generation mix 2015. STROM-Report Renewable energy Germany, 2015. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://strom-report.de/renewable-energy/>
7. Гордодов Р.В., Губин В.Е., Матвеев А.С. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политех. ун-та, 2009. – 294 с.