

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
ИННОВАЦИОННЫЙ ЕВРАЗИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
МАГИСТРАТУРА  
Кафедра «Электроэнергетика»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Разработка мероприятий и комплексных решений по увеличению  
энергоэффективности объектов сельского хозяйства

6M071800 «Электроэнергетика»

Магистрант \_\_\_\_\_ О.Г. Волошанин  
(подпись, дата)

Научный руководитель

к.т.н., профессор \_\_\_\_\_ В.Ю. Мельников  
(подпись, дата)

Допущен к защите:

зав. кафедрой

д.т.н., профессор \_\_\_\_\_ Е.В. Иванова  
(подпись, дата)

Павлодар 2013

## СОДЕРЖАНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	6
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ .....	7
ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ТИПОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА .....	12
1.1 Системы электроснабжения типовых потребителей сельского хозяйства .....	12
1.2 Проблемы эффективного использования электрической энергии в системах электроснабжения сельскохозяйственных объектов .....	12
1.2.1 Качество электроэнергии .....	15
1.2.2 Экономичность передачи электроэнергии.....	17
Выводы .....	17
2 МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ И ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ В ОБЪЕКТАХ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА .....	18
2.1 Энергосберегающие мероприятия в электрических сетях .....	18
2.1.1 Методы снижения потерь электрической энергии в сетях 35/10-6/0,4 кВ.....	18
2.1.2 Рекомендации по применению энергоэффективного оборудования и режимов в сетях 35/10-6/0,4 кВ сельскохозяйственного назначения.....	20
2.3 Энергосберегающие мероприятия в оборудовании и режимах подстанций 35/10-6/0,4 кВ .....	23
2.3.1 Методы снижения потерь электрической энергии в оборудовании и режимов подстанций 35/10-6/0,4 кВ .....	23
2.3.2 Рекомендации по применению энергоэффективного оборудования и режимов подстанций 35/10-6/0,4 кВ .....	27
2.4 Энергосберегающие мероприятия в электроприёмниках основного и вспомогательного технологического оборудования сельскохозяйственного назначения.....	28
2.4.1 Методы снижения потерь электрической энергии в электроприемниках основного и вспомогательного технологического оборудования сельскохозяйственного назначения.....	28
2.4.2 Рекомендации по применению энергоэффективного оборудования и режимов электроприемников основного и вспомогательного технологического оборудования сельскохозяйственного назначения.....	30
2.5 Энергосберегающие мероприятия электроприёмников электроосветительных систем технологического и бытового назначения 0,4/0,23 кВ.....	31

2.5.1 Методы снижения потерь электрической энергии электроприёмников электроосветительных систем технологического и бытового назначения 0,4/0,23 кВ .....	31
2.5.2 Рекомендации по применению энергоэффективного оборудования и режимов электроприёмников электроосветительных систем технологического и бытового назначения 0,4/0,23 кВ .....	35
<b>3 ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН</b> .....	41
3.1 Солнечная энергия .....	41
3.2 Энергия малых рек РК .....	41
3.3 Ветровая энергия РК.....	42
3.4 Геотермальная энергия .....	43
3.5 Энергия биологических субстанций.....	43
3.6 Перспективы и потенциал использования солнечной энергии в Республике Казахстан для электроснабжения сельских районов .....	44
3.6.1 Распределение солнечной активности по географическим широтам РК .....	44
3.6.2 Оценка эффективного значения плотности потока солнечного излучения.....	45
3.6.3 Методы количественной оценки приходящей солнечной радиации на наклонную поверхность.....	48
3.6.4 Применение системы PVSYST для компьютерного исследования и анализа солнечной активности на примере Северного Казахстана.....	53
3.6.5 Определение зависимости мощности ФЭП от солнечной интенсивности .....	54
3.6.5.1 Математическое моделирование.....	54
3.6.5.2 Постановка задачи.....	54
3.6.5.3 Модель солнечной батареи .....	54
3.6.6 Применение пакета MATHCAD для моделирования солнечной радиации .....	58
Выводы .....	61
<b>4 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ СРЕДСТВАМ РЕАЛИЗАЦИИ И ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ОБЪЕКТАМИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА НА ОСНОВЕ ВЭИ</b> .....	62
4.1 Автономный источник электрической энергии на базе фотоэлектрической установки мощностью 5 кВт .....	62
4.1.1 Расчет и выбор требуемой мощности инвертора .....	64

4.1.2 Накопители электрической энергии.....	64
4.1.3 Определение количества солнечных панелей.....	66
4.1.4 Экономическое обоснование электроэнергетической системы с фотоэлектрическими преобразователями.....	69
4.2 Система электроснабжения автономного объекта – светопроницаемой теплицы.....	70
4.3 Система электроснабжения на базе комбинированной биогазовой установки для получения электрической энергии.....	71
4.4 Автономная энергоэффективная комбинированная электроустановка для увлажнения и прогрева почвы открытых грунтов.....	72
4.5 Система электроснабжения объекта сельхоз назначения на базе установки из сдвоенных солнечных панелей с зеркальными концентраторами и прямоточной системой охлаждения.....	73
4.6 Автономный источник электрической энергии на базе комбинированной электроснабжающей установки.....	75
Выводы.....	76
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	78
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	79
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	79
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	81
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	82
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	83

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ

*Склонение (рад)* — угловое положение Солнца в солнечный полдень относительно плоскости экватора (значение положительно для северного полушария).

*Азимутальный угол плоскости  $\gamma$  (рад)* — отклонение нормали к плоскости от местного меридиана (за начало отсчета принимается южное направление, отклонение к востоку считается положительным, к западу - отрицательным).

*Высота Солнца  $\alpha$  (рад)* — угол между направлением прямого солнечного излучения и горизонтальной проекцией солнечного луча.

*Азимут Солнца  $\beta$  (рад)* — угол между горизонтальной проекцией солнечного луча и направлением на юг.

*Часовой угол  $\omega$  (рад)* — угол, который определяет угловое смещение Солнца в течение суток. Один час соответствует  $\pi/12$  рад или 15 град углового смещения. В полдень часовой угол равен нулю. Значения часового угла до полудня считаются положительными и отрицательными после полудня.

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В данной магистерской работе использовались следующие обозначения и сокращения:

- АВР – Автоматический ввод резерва
- АБ – Аккумуляторная батарея
- АМ – Атмосферная масса
- ВАХ – Вольтамперная характеристика
- ВИЭ – Возобновляемые источники энергии
- ВЭУ – Ветроэнергетическая установка
- КПД – Коэффициент полезного действия
- ВЭУ – Ветроэнергетическая установка
- СП – Солнечная панель
- СЭ – Солнечный элемент
- СФЭУ – Солнечная фотоэлектрическая установка
- СЭУ – Солнечная энергетическая установка
- ФЭ – Фотоэнергетика
- ФЭП – Фотоэлектрический преобразователь

## ВВЕДЕНИЕ

Современные сельскохозяйственные предприятия потребляют большое количество энергии в её различных формах. Для многих технологических процессов объектов сельскохозяйственного назначения в структуре используемых энергоносителей доминирующую роль играет электрическая энергия, которая наряду с тепловой энергией является основой формирования энергобаланса предприятий животноводства, птицеводства растениеводства, объектов коммунально-бытового направления и жилого сектора. Общая величина электропотребления складывается не только из расходов электроэнергии на основные и вспомогательные технологические процессы сельского хозяйства, но включает также расходы на освещение, отопление, вентиляцию, хозяйственно-бытовые нужды и потери при передаче и распределении энергии. Кроме того, системы электроснабжения сельскохозяйственных предприятий часто обеспечивают отпуск электроэнергии сторонним потребителям в районе своего размещения, например сопутствующим производствам и прилегающему жилому сектору. Таким образом, на базе сельскохозяйственных предприятий формируются крупные нагрузочные узлы, максимальная нагрузка которых может достигать нескольких мегаватт, а основным источником их электроснабжения, как правило, являются распределительные линии электропередач и подстанции электроэнергетических систем (ЭЭС) 35/10-6/0,4 кВ.

Системы электроснабжения представляют собой сложный комплекс сооружений и оборудования, требующий значительных затрат средств как капитальных, при их создании, так и текущих, при их эксплуатации и обслуживании. Таким образом, системы электроснабжения оказывают существенное влияние на экономику сельскохозяйственных предприятий, а их рациональное построение и эксплуатация, использование энергосберегающих технологий в целях повышения энергоэффективности и являются необходимым условием повышения конкурентоспособности производимой продукции, обеспечивающей продовольственную безопасность страны.

В этой связи работа является актуальной.

Идея работы заключается в анализе существующих и поиске новых, инновационных методик, способов, оборудования и технических и технологических решений, повышающих эффективность использования электрической энергии в объектах сельского хозяйства путем применения традиционных и возобновляемых источников энергии.

Целью работы является изучение возможностей повышения эффективности использования электрической энергии объектами сельского хозяйства и создания инновационных средств и технологий для их реализации.

Научная новизна работы заключается в обобщении и развитии научно-технических и научно-методических основ создания и применения комплексного подхода, учитывающего в решении задач повышения эффективности использования электрической энергии объектами сельского

хозяйства на основе использования средств, методов, технологий и оборудования, использующих как традиционные средства повышения энергетической эффективности, так и ВИЭ.

В рамках поставленных в данной работе задач предложены следующие инновационные научные и практические разработки:

- обобщен и развит научно-технический, научно-технологический и научно-методический опыт в решении задач энергосбережения и повышения энергетической эффективности объектов сельского хозяйства.

- решены поставленные научные и практические задачи, а именно, разработаны научно-обоснованные и технические предложения по обеспечению эффективного использования электрической энергии объектов сельского хозяйства, в том числе и на основе применения ВИЭ.

Практическая ценность работы заключается в том, что внедрение результатов работы в эксплуатационную, проектную и исследовательскую практику обеспечивает повышение эффективности использования электрической энергии в объектах сельского хозяйства.

Экспериментальные исследования выполнялись с использованием аналитических и практических методов, научных и методических материалов, специализированных программных продуктов, приборов и технического оборудования научно-исследовательского института «Энерго-ресурсосберегающих технологий», учебно-исследовательской лаборатории «Возобновляемые источники энергии» Инновационного Евразийского университета.

Методы исследования. В процессе выполнения исследований применялись методы теории научного познания, научно-техническое обобщение литературных источников и интернет ресурсов, а также методы: теории электрических систем и сетей, теории моделирования; теории электрических машин и электромеханических систем; теории гидравлических и механических систем; теории оптимизации; экономико-математические методы; методы математического и компьютерного моделирования.

На защиту выносятся:

- научно-обоснованные предложения, обоснованные мероприятия и рекомендации по применению энергоэффективного оборудования и режимов в электрических сетях, подстанциях 35/10-6/0,4 кВ внегородского расположения;

- научно-обоснованные рекомендации по обеспечению эффективного использования электрической энергии в электроприемниках основного и вспомогательного технологического оборудования сельскохозяйственного назначения 35/10-6/0,4 кВ; методы снижения потерь электрической энергии электроприемников электроосветительных систем технологического и бытового назначения, а также электроприемников жилых и административных зданий 0,4-0,23 кВ и даны рекомендации по обеспечению эффективного использования электрической энергии;

- научно-обоснованные рекомендации применения методов, средств и

систем повышения эффективности использования электрической энергии, основанных на расширенном использовании источников возобновляемой энергии – солнечной, ветровой и пр.;

- научно-обоснованные рекомендации для объектов сельского хозяйства с использованием ВИЭ: автономный источник электрической энергии на базе фотоэлектрической установки мощностью 5 кВт; система электроснабжения автономного объекта – светонепроницаемой теплицы; система электроснабжения объекта сельскохозяйственного назначения на базе комбинированной биогазовой установки; автономная энергоэффективная комбинированная электроустановка для увлажнения и прогрева почвы; система электроснабжения объекта сельскохозяйственного назначения на базе установки из двоярных солнечных панелей с зеркальными концентраторами и проточной системой охлаждения.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на заседаниях: научного семинара кафедры «Электроэнергетика»; научно-технического совета НИИ «Энергоресурсосберегающих технологий»; исследовательской научной группы лаборатории «Возобновляемые источники энергии» Инновационного Евразийского университета; на XXXVIII научно-практической конференции МАН РК «Интеграция образования и науки – шаг в будущее» посвященная 100-летию академика Ш. Чокина, состоявшиеся 5-6 апреля 2012, в Инновационном Евразийском Университете, а также на Международном молодежном форуме «Постиндустриальный мир: наука в диалоге Востока и Запада» посвященная 20-летию Независимости Республики Казахстан и проведенной под эгидой Евразийской Ассоциации Университетов в Восточно-Казахстанском государственном университете им. С. Аманжолова, состоявшийся 23-24 июня 2011 года.

Основные положения диссертационной работы были представлены на Республиканском конкурсе идей «Инновационный Казахстан» под эгидой АО «Фонд национального благосостояния Самрук Казына», и в Инновационном конкурсе бизнес планов на тему «Энергоснабжение сельских хозяйств с использованием альтернативных источников энергии» организованного под эгидой NIF50\$, проходившем в г. Астане, бизнес центр «Корме», и в конкурсе инновационных проектов на тему «Применение возобновляемых источников энергии для инновационного эффективного энергообеспечения зданий» организованного Национальным Инновационным фондом, состоявшийся 27 июля 2011 года в г. Астана, а также в конкурсе проектов организованного МОН РК «Комитет науки» на тему «Возобновляемые источники энергии для инновационного электрообеспечения объектов жилого фонда и административных зданий», состоявшийся 29 августа 2011 года в г. Астана, Дом Министерств.

Настоящие исследования, изложенные в диссертационной работе, выполнялись в рамках: плана научных исследований по Программе энергосбережения и повышения энергетической эффективности НИИ «Энергоресурсосберегающих технологий», а также в рамках плана НИР

кафедры «Электроэнергетика» Инновационного Евразийского университета.

Публикации. Содержание работы изложено в двух научных трудах представленных на международном молодёжном форуме «Постиндустриальный мир: наука в диалоге Востока и Запада» УДК 621.311.25 Волошанин Г.Г., Мосияш Д.В., Жумагулов М.Г., Волошанин О.Г. «Перспектива использования комплекса солнечных энергетических систем на малых тепловых электрообъектах» и в статье УДК 621. 311. 25 В.П. Марковский, О.Г. Волошанин, А.Б. Кайдар «Перспектива совместного использования солнечных, ветроэнергетических, теплонасосных систем и биогазовых установок» Вестник ПГУ 1'2014 серия - энергетика.

# 1 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ТИПОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

## 1.1 Системы электроснабжения типовых потребителей сельского хозяйства

Электроснабжение практически всех сельских потребителей в настоящее время осуществляется централизованно от энергосистем. Сельские сети обладают рядом особенностей, отличающих их от городских сетей. Большое количество удаленных друг от друга потребителей сравнительно малой мощности и радиальное построение сетей создают трудности в обеспечении надежности электроснабжения. Чаще, чем в городских сетях, применяются провода малых сечений и трансформаторы малой мощности, что вызывает повышенный расход мощности и падение напряжения в сетях. Значительная доля общих затрат приходится на распределительные сети среднего и низкого напряжений.

Особенностью существующего процесса производства и распределения электроэнергии является невозможность создания значительных ее запасов, что превращает задачу повышения энергоэффективности электроснабжения в важнейшее из условий эффективной и ритмичной работы сельскохозяйственных предприятий [1].

## 1.2 Проблемы эффективного использования электрической энергии в системах электроснабжения сельскохозяйственных объектов

Сельские электрические сети имеют более низкую надежность по сравнению с городскими, промышленными сетями. Это приводит к тому, что надежность электрического снабжения, потребителей не соответствует установленным требованиям. Проблема обостряется тем, что в связи с развитием электрификации и увеличения потребления электрической энергии, потери от низкой надежности существенно возрастают.

Система электроснабжения призвана обеспечить производственных потребителей электроэнергией нормированного качества с соблюдением требований к надежности электроснабжения, но потребители зачастую не соблюдают требования, связанные с компенсацией реактивной мощности, выравниванием графиков нагрузок и т.д.

Перерывы в электроснабжении, снижение качества электроэнергии приводят к невосполнимым потерям сельскохозяйственной продукции, повышению ее себестоимости. Вопросы повышения эффективности объектов сельскохозяйственного производства и качества электроснабжения сельских потребителей неоднократно поднимались в печати и постановлениях правительства РК.

Широкое использование в сельском хозяйстве электропривода, электротепловых установок облучательных и осветительных установок, а также средств автоматизации способствовало созданию нового типа сельскохозяйственного потребителя электроэнергии, предъявляющего

повышенные требованиями к надёжности и качеству электроснабжения.

Следовательно, уместно выделить приоритетные задачи электроснабжения объектов сельского хозяйства, а именно: повышение надёжности электроснабжения; качества электроэнергии и экономичность передачи электрической энергии. Решение этих задач позволит повысить энергоэффективность объектов сельского хозяйства.

Сельскохозяйственные предприятия по производству животноводческой продукции, тепличные комплексы с минимальным использованием ручного труда и интенсивным производством продукции особенно чувствительны к перерывам электроснабжения.

Перерывы в электроснабжении приводят к нарушению технологических процессов доения, кормления, поения, кормоприготовления, отключению вентиляции и отопления, что приводит к потерям продукции.

Отключение вентиляции и отопления приводит к изменению микроклимата в животноводческих помещениях: повышению или снижению температуры, изменению влажности, повышению концентрации вредных действующих газов. На животноводческих и птицеводческих предприятиях сельского хозяйства неудовлетворительный микроклимат бывает причиной не только снижения продуктивности, но и гибели животных и птицы. Особенно велики последствия изменения температуры в инкубаторах

В таблице 1 показаны последствия простоя в результате перерыва в электроснабжении животноводческого комплекса. В таблице 2 приведены допустимые длительности простоев оборудования на комплексах по откорму 10 тыс. и более голов крупного рогатого скота, не ведущие к убыткам, связанным с нарушением технологических процессов [2].

Таблица 1 Последствия простоя электрифицированного оборудования на животноводческих комплексах

Технологический процесс	Последствия простоя
Раздача кормов, подача воды, уборка навоза, доение коров. Освещение, облучение, поддержание микроклимата. Технологический процесс в кормоцехе	Потери продукции (для откормочных предприятий - снижение среднесуточных привесов) Затраты на дополнительную оплату основных и временно привлеченных рабочих.

В сельскохозяйственных предприятиях овощеводства защищенного грунта (теплицы, парники) на сохранность растений и объем выпускаемой продукции оказывает заметное влияние температура воздуха в сооружении и освещенность, которые определяются погодными условиями, временем перерыва в электроснабжении, типом сооружения.

Таблица 2 Допустимые длительности простоев оборудования

Виды электроприемников	
Допустимая длительность простоя 0...25 мин.	Допустимая длительность простоя до 3,5 часов
Электроприемники линий подготовки и раздачи кормов для телят до 4 мес., установки микроклимата помещений для телят, дежурного освещения.	Электроприемники линий подготовки и раздачи кормов для молодняка, установки навозоудаления, приготовления и раздачи кормов на открытых площадках.

В силу биологических особенностей производства восполнить потери продукции невозможно за счет сверхурочных работ или переходом на форсированный режим работы.

Стоит отметить тот факт, что прекращение подачи электроэнергии предприятиям растениеводства, использующие технологии «защищенных грунтов» ведёт к невозможным потерям растений и скоропортящейся продукции, а при использовании гидропонных и аэропонных технологий время возможного перерыва в электроснабжении составляет соответственно 1,5-0,25 часа.

Нарушение режима электроснабжения и убытки вызывают также неполно фазные режимы, которые возникают в результате обрыва проводов линий электропередач, не включения одного из ножей разъединителя или контакта выключателя, перегорания предохранителей на одной из фаз на трансформаторной подстанции и пр. Неполно фазные режимы могут выводить из строя электрооборудование; известны случаи массового выхода из строя электродвигателей.

Таким образом, отключения электроснабжения (аварийные и преднамеренные, для выполнения ревизий и плановых ремонтов) оказывают заметное влияние на сельскохозяйственное производство. Степень влияния продолжительности перерыва различна для отдельных типов предприятий. Правилами устройства электротехнических установок все электроприемники подразделяются на три категории, каждая из которых характеризуется своими требованиями в отношении надежности электроснабжения.

Самые высокие требования предъявляются к надежности электроснабжения потребителей первой категории. К ним относятся крупные молочные фермы и комплексы на 400 голов и более; откормочные предприятия с годовым откормом на 12 тыс. свиней и более, 5 тыс. крупного рогатого скота; птицефабрики с более чем 100 тыс. кур-несушек и др. На этих предприятиях не допускается даже кратковременных перерывов, поэтому они должны иметь независимое питание по второй линии электропередачи с автоматическим включением резерва.

К потребителям второй категории относятся животноводческие и

птицеводческие фермы с меньшей производственной мощностью, чем указано для потребителей 1 категории; тепличные комбинаты и рассадные комплексы; кормоприготовительные заводы; картофелехранилища емкостью более 500 т с холодоснабжением и активной вентиляцией; холодильники для хранения фруктов емкостью более 600 т и т.п. Для потребителей второй категории допускаются перерывы в электроснабжении на время включения резервного питания дежурным персоналом. Такие потребители, как правило, должны обеспечиваться сетевым резервом.

Потребителями третьей категории являются все остальные сельскохозяйственные потребители. Правилами устройства электроустановок перерыв в электроснабжении потребителей третьей категории допускается на время выполнения ремонта, но не более одних суток. У потребителей второй и третьей категорий перерывы в электроснабжении также приводят к убыткам, иногда очень ощутимым, но последствия, как правило, не являются причиной банкротства предприятия.

Трудности в обеспечении надежности электроснабжения в сельских электрических сетях создает противоречие между повышением категоричности потребителей, и тем самым, повышением требований к надежности электроснабжения, с одной стороны, и сокращением численности обслуживающего персонала и невысокой его квалификацией, с другой. Дополнительные трудности создает разбросанность и удаленность объектов от ремонтной базы, большая зависимость от погодных условий.

### 1.2.1 Качество электроэнергии

Наряду с надежностью электроснабжения большое влияние на сельскохозяйственное производство оказывает качество электроэнергии, получаемой потребителем. Качество электроэнергии характеризуют следующие показатели: отклонение частоты и напряжения, размах колебаний частоты и изменения напряжения, а также коэффициенты искажения кривой напряжения, обратной и нулевой последовательности напряжений. Частота переменного тока поддерживается на уровне энергетических систем [3].

Главным показателем, определяющим качество напряжения у сельскохозяйственных потребителей, является отклонение напряжения, так как в настоящее время практически все из них получают питание от энергосистем. Отклонение напряжения влияет в наибольшей степени на работу электроприемников. Кроме того, этот показатель, как один из основных, учитывается при проектировании сети электроснабжения [4].

Наибольшее распространение в электроприводах сельскохозяйственных предприятий получили асинхронные двигатели. При значительном снижении напряжения ухудшаются условия их пуска, возможно опрокидывание двигателя. При пониженном напряжении увеличиваются активные потери, сокращается срок его службы, повышение уровня напряжения увеличивает реактивную мощность двигателя и создает дополнительные потери мощности.

Отклонение напряжения оказывает заметное влияние на работу осветительных установок: изменяется световой поток, освещенность, потребляемая мощность, К.П.Д. и срок службы. Повышение напряжения сверх номинального уровня на лампах накаливания и люминесцентных лампах приводит к увеличению потребляемой мощности, светового потока, сокращению срока службы.

Кроме отклонений напряжения нормируются в сетях общего назначения и другие показатели качества напряжения. В сельских сетях в результате пуска мощных двигателей, например, двигателей пневматической кормораздачи на животноводческих комплексах (100, 132 кВт), насосных станций, насосов подачи воды и насосов навозоудаления (22, 30, 45 кВт), сварочных трансформаторов могут возникать колебания напряжения, которые характеризуются значительным размахом напряжения [5]. Колебания напряжения на осветительных установках приводят к резкому изменению светового потока, что воспринимается как "мигание" ламп и ведет к быстрой утомляемости обслуживающего персонала. Колебания напряжения отрицательно сказываются и на работе других электроприемников: ухудшаются условия пуска электродвигателей, в установках электрохимической очистки животноводческих стоков нарушается технологический режим очистки и т.д.

В результате неравномерной загруженности фаз и одновременного включения электроприемников в различных фазах возникает не симметрия напряжений и токов в трехфазной сети. Не симметрию характеризуют коэффициенты не симметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности напряжения. Значение коэффициента обратной последовательности длительно допустимо в пределах 2% для любого трехфазного симметричного электроприемника. Величина коэффициента нулевой последовательности не должна превышать значений, при которых действующие значения напряжений выходят за допустимые пределы [6].

Однофазными электроприемниками не симметрия напряжений воспринимается как изменение приложенного к ним напряжения. Особенно неблагоприятно сказывается не симметрия напряжений на работе асинхронных двигателей. Появление токов нулевой последовательности приводит к дополнительному нагреву двигателя, вызывает заметное снижение К.П.Д., сокращается срок его службы. При не симметрии напряжений, равной 4%, срок службы полностью загруженного двигателя сокращается в два раза [7].

Применение установок, с нелинейными вольт-амперными характеристиками: силовых трансформаторов; газоразрядных ламп; магнитных усилителей; установок электросварки и др. вызывает несинусоидальные искажения кривой напряжения, вызывая дополнительные падения напряжения в элементах сети; повышенные потери мощности в электрических машинах, трансформаторах и линиях электропередач; затрудняя компенсацию реактивной мощности; сокращается срок службы изоляции электрических машин и аппаратов; появляются сбои в работе

релейной защиты и автоматики.

Отклонение показателей качества напряжения от номинальных на зажимах электроприемников сказывается не только на их электротехнических показателях, но и на технологических процессах сельскохозяйственного производства. Особенности объектов сельского хозяйства делают их более чувствительными к изменениям технологических процессов.

### 1.2.2 Экономичность передачи электроэнергии

Экономичность передачи электроэнергии характеризуют затраты на технологический расход электроэнергии в элементах сети, ежегодные отчисления на амортизацию сети, текущий ремонт и содержание обслуживающего персонала.

На экономичность передачи электроэнергии заметное влияние оказывает наличие баланса реактивной мощности в узлах. Основными ее потребителями являются асинхронные двигатели (60...65% общего потребления), трансформаторы (20...25%), вентильные преобразователи, реакторы, воздушные электрические сети и прочие приемники (10%) [8].

При передаче реактивной мощности по проводам линий электропередачи возникают дополнительные потери активной мощности и напряжения, особенно в сельских распределительных сетях; снижается пропускная способность элементов сети и трансформаторов, увеличиваются затраты на передачу и распределение электроэнергии.

Качество электроснабжения становится фактором, влияющим на эффективность сельскохозяйственного производства.

### Выводы

Эффективность использования электрической энергии в электроснабжении современного сельского хозяйства в значительной степени зависит от надёжности электроснабжения, качества электроэнергии, снижения потерь в линиях электропередач и непроизводительного расхода электроэнергии потребителями, которые не могут быть достигнуты применяемыми технологиями и оборудованием и требуют комплекса мероприятий по обеспечению энергосбережения и эффективного использования электрической энергии.

## 2 МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ И ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ В ОБЪЕКТАХ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

### 2.1 Энергосберегающие мероприятия в электрических сетях

#### 2.1.1 Методы снижения потерь электрической энергии в сетях 35/10-6/0,4 кВ

Потери электроэнергии в электрических сетях складываются из потерь в отдельных элементах системы электроснабжения и коммерческих потерь.

Потери электроэнергии в электрических сетях: Величина потерь электроэнергии в каждом элементе сети существенно зависит от характера нагрузки и ее изменения в течение рассматриваемого периода времени.

При постоянной нагрузке технологические потери электроэнергии в электрической сети за время  $t$  определяются по формуле:

$$\Delta W = \Delta P * t, \quad (1)$$

где  $\Delta P$  – *потери активной мощности.*

Однако на самом деле нагрузка в течение суток, года изменяется, и точное определение потерь электроэнергии усложняется. Наиболее точный, но трудоемкий метод расчета потерь электроэнергии – это определение их по графику нагрузок [9].

Менее точный, но более простой метод вычисления потерь электроэнергии основывается на расчете с использованием времени наибольших потерь –  $\tau$ :

$$\Delta W = \Delta P_{нб} * \tau, \quad (2)$$

где  $\Delta W$  – потери электрической энергии;

$\Delta P_{нб}$  – наибольшие (максимальные) потери мощности в электрической сети;

$\tau$  – время потерь, за которое при работе с наибольшей нагрузкой потери электроэнергии были бы те же, что и при работе по действительному графику нагрузки.

Для сельскохозяйственных потребителей при времени использования максимума нагрузки  $T=2300—4500$  ч/год время потерь может быть вычислено как [10]

$$\tau = 0,69 * T - 584. \quad (3)$$

При меньших значениях времени использования максимума нагрузки ( $T$ ) время потерь рекомендуется определять по следующей формуле [11]:

$$\tau = (0,124 + T 10^{-4})^2 * 8760. \quad (4)$$

Потери активной мощности в электрической сети могут быть

определены по выражению:

$$\Delta P_{нб} = \frac{P_{max}^2 R}{U^2 \cos^2 \varphi}, \quad (5)$$

где  $\Delta P_{нб}$  – потери активной мощности;

$P_{max}$  – значение максимальной активной мощности, передаваемой по сети;

$R$  – значение активного сопротивления проводника, по которому передается мощность;

$U$  – напряжение сети, при котором передается мощность;

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности.

*Анализ выражения (5) позволяет наметить мероприятия для снижения потерь мощности. В таблице 3 приведены типовые мероприятия.*

Организационные мероприятия, в отличие от технических мероприятий, требуют никаких дополнительных капиталовложений для их внедрения.

При технико-экономической оценке технических мероприятий и выборе их очередности необходимо учитывать не только эффект от снижения потерь электроэнергии, но и сопутствующие эффекты, такие как, например, снижение ущерба, наносимого электропотребителям низким качеством электрической энергии по напряжению.

Величина коммерческих потерь электроэнергии зависит: класса точности приборов учета электроэнергии, измерительных трансформаторов тока (ТТ) и напряжения (ТН), а также значения падения напряжения во вторичной цепи ТН.

В соответствии с [ПУЭ] значение падения напряжения во вторичной цепи ТН  $\Delta U_{ТН}$ , % не должно превышать половины класса точности ТН. Как правило, допустимые погрешности ТН совпадают с их классами точности.

Допустимые погрешности ТТ в диапазоне нагрузки 20–120% от номинальной в среднем составляет [28]: для ТТ класса точности 0,2 –  $\pm 0,3\%$ ; для ТТ класса точности 0,5 –  $\pm 0,7\%$ . Допустимые погрешности счетчиков при токе более 20% номинального не превышают своих классов точности. Однако в эксплуатации зачастую измерительные трансформаторы тока оказываются недогружены. Основными причинами низкой загрузки трансформаторов тока являются:

- фактическая загрузка оказывается ниже проектной;
- дискретность шкалы номинальных токов;
- условие динамической устойчивости;
- средний ток оказывается существенно меньше максимального.

При выборе средств учета следует руководствоваться следующими положениями: класс точности измерительных ТН и ТТ, предназначенных

для расчетного учета, должен быть не ниже 0,5; счетчиков, включаемых без измерительных трансформаторов, – не ниже 2,5.

Таблица 3 Мероприятия по снижению потерь электроэнергии

Организационные мероприятия	Технические мероприятия
Правильный выбор местоположения ТП и схемы электрической сети	Повышение пропускной способности сети за счет строительства новых линий и подстанций
Поддержание оптимальных уровней напряжения на шинах питающих подстанций	Замена проводов на перегруженных линиях на провода с большим сечением.
3. Равномерность распределения нагрузок по фазам сети 0,38 кВ	Сокращение радиусов ВЛ кВ за счет проектирования сетей более высокого класса напряжения и использования "глубокого" ввода
Применение автоматических устройств отключения электропотребителей на периоды холостого хода или при отсутствии надобности в их работе	Оснащение питающих подстанций трансформаторами с устройствами регулирования напряжения под нагрузкой (РПН)
Переключение обмоток электродвигателя с "треугольника" на "звезду" у малозагруженных электродвигателей	Перевод сети на более высокое номинальное напряжение
Замена устаревшего оборудования на новое, имеющее более высокий КПД	Установка в сетях компенсирующих и симметрирующих устройств
Отключение трансформаторов при малой нагрузке на двухтрансформаторных подстанциях	Прокладка СИП Применение вольтодобавочных трансформаторов

2.1.2 Рекомендации по применению энергоэффективного оборудования и режимов в сетях 35/10-6/0,4 кВ сельскохозяйственного назначения

Целесообразность технических мероприятий в сетях 35/10-6/0,4 кВ следует оценивать по приведенным затратам.

Например, оценку потерь мощности в электрической сети напряжением 0,38 кВ можно выполнить и по результатам измерений (или расчета) потерь напряжения [12]:

$$\Delta P, \% = \Delta U, \% * K_{св}, \quad (6)$$

где  $\Delta P, \%$  – относительные потери мощности,  $\Delta P, \% = \Delta P * 100 / P_n$ ;

$\Delta U, \%$  – относительные потери напряжения,  $\Delta U, \% = \Delta U * 100 / U_n$ ;

$K_{св}$  – коэффициент связи между  $\Delta U, \%$  и  $\Delta P, \%$  для воздушных и

кабельных линий.

Таблица 4 Значения коэффициента связи для ВЭЛ и КЛ

$\cos\varphi$	Для ВЛ с сечением головного участка, мм <sup>2</sup>					Для КЛ
	25	35	50	70	95	
0,6	1,96	1,75	1,52	1,28	1,07	2,75
0,7	1,55	1,41	1,25	1,08	0,92	2,04
0,8	1,27	1,18	1,07	0,94	0,83	1,56
0,9	0,99	0,99	0,95	0,87	0,78	1,25

На приведенных ниже примерах показаны некоторые пути снижения не только потерь электроэнергии, но и улучшения некоторых других параметров электрической сети.

Повышение экономической эффективности иллюстрируются приведенными ниже расчетами на примере конкретных установок

На вводе 0,4 кВ ТП с «Павлодарское» 10/0,4 кВ в максимум нагрузки значения фазных токов составили:  $I_A = 65\text{А}$ ,  $I_B = 82\text{А}$ ,  $I_C = 118\text{А}$  и сопротивления фазных и нулевого проводов равны  $r_\phi = r_o = 0,205\ \text{Ом}$ . Годовые потери электроэнергии, вызванные несимметрией токов, при числе часов  $\tau = 2000$  ч составят:

Вычисляем среднее значение тока фаз:

$$I_{cp} = \frac{I_A + I_B + I_C}{3} \quad (7)$$

$$I_{cp} = \frac{65 + 82 + 118}{3} = 88,3\ \text{А}$$

Коэффициент, характеризующий изменение потерь активной мощности при несимметрии [13], равен:

$$K_{\Delta P} = \frac{1}{3} \left[ \left( \frac{I_A}{I_{cp}} \right)^2 + \left( \frac{I_B}{I_{cp}} \right)^2 + \left( \frac{I_C}{I_{cp}} \right)^2 \right] \left( 1 + 1,5 \frac{r_o}{r_\phi} \right) - 1,5 \frac{r_o}{r_\phi}, \quad (8)$$

$$K_{\Delta P} = \frac{1}{3} [(65/88,3)^2 + (82/88,3)^2 + (118/88,3)^2] (1 + 1,5) - 1,5 = 1,16.$$

Несимметрия фазных токов, в данном случае привела к увеличению потерь активной мощности на 16% по сравнению с симметричным режимом работы сети.

Потери активной мощности при несимметричной нагрузке фаз составляют:

$$\Delta P = 3 I_{cp}^2 * r_\phi * K_{\Delta P}, \quad (9)$$

$$\Delta P = 3 * 88,3 * 0,205 * 1,16 = 5562\ \text{Вт}$$

из которых 16% (или  $\Delta P_D = 0,89$  кВт) являются дополнительными потерями активной мощности, вызванными несимметрией фазных токов.

Годовые потери электроэнергии, вызванные несимметрией фазных токов, составят:

$$\Delta W = \Delta P_D \cdot \tau \quad (10)$$

$$\Delta W = 0,89 * 2000 = 1780 \text{ кВт*ч.}$$

Определим экономию электроэнергии от перевода сети с напряжения 6 кВ на 10 кВ, если по линии, выполненной проводом А35 протяженностью 8 км, при передаваемой нагрузке  $S=860$  кВА и  $\tau=3200$  ч.

В общем виде потери электроэнергии при различных номинальных напряжениях линии определяются выражением (2), следовательно экономия электроэнергии от перевода линии на более высокий класс напряжения составит:

$$\Delta W = \Delta W_6 - \Delta W_{10}. \quad (11)$$

$$\Delta W = 860^2 * 0,83 * 8 * 3200 \cdot (1/6^2 - 1/10^2) = 2,8 \cdot 10^5 \text{ кВт*ч, или } 0,28 \text{ млн кВт*ч.}$$

Определим снижение потерь электроэнергии при увеличении коэффициента мощности с  $\cos \varphi_1=0,6$  до  $\cos \varphi_2=0,9$ , для электроприёмника мощностью 55 кВт, и годовая продолжительностью работы конденсаторной батареи 3500 час.

Необходимая мощность конденсаторной батареи

$$Q_k = P (tg \varphi_1 - tg \varphi_2), \quad (12)$$

$$Q_k = 55 (1,33 - 0,48) = 46,8 \text{ кВАр,}$$

следовательно, годовая экономия электроэнергии составит

$$\Delta W = K_{и} * Q_k * t_k, \quad (13)$$

$$\Delta W = 0,07 * 46,8 * 3500 = 11454 \text{ кВт*ч,}$$

Использование конденсаторных установок позволяет:

- разгрузить питающие линии электропередачи, трансформаторы и распределительные устройства;
- снизить расходы на оплату электроэнергии;
- при использовании определенного типа конденсаторных установок снизить уровень высших гармоник;
- подавить сетевые помехи, снизить не симметрию фаз;
- сделать распределительные сети более надежными и экономичными.

Для снижения коммерческих потерь в сетях 0,4 кВ допускается использование одних и тех же измерительных трансформаторов для подключения приборов учета, измерительных приборов и устройств релейной защиты, если общая вторичная нагрузка не превышает номинальную для данного класса точности.

Для обеспечения гарантированного класса точности трансформатора тока необходимо, чтобы расчетная нагрузка вторичной обмотки ТТ не превышала допустимой (каталожной). Сведения о допустимой нагрузке ТТ приведены, например, в [14].

Расчетную вторичную нагрузку ТТ следует определять по выражению:

$$S_{2TT} = I_{2H}^2 (R_{np} + R_{сч} + R_{к}), \quad (14)$$

где  $I_{2H}$  – номинальный ток вторичной обмотки ТТ;  
 $R_{np}$  – сопротивление присоединительных проводов.

### 2.3 Энергосберегающие мероприятия в оборудовании и режимах подстанций 35/10-6/0,4 кВ

#### 2.3.1 Методы снижения потерь электрической энергии в оборудовании и режимах подстанций 35/10-6/0,4 кВ

Потери в трансформаторе складываются из потерь холостого хода  $\Delta P_{xx}$ , которые не зависят от нагрузки, и нагрузочных потерь, которые равны  $k_3 \Delta P_{кз}$  ( $k_3$ - коэффициент загрузки трансформатора,  $\Delta P_{кз}$ - потери короткого замыкания).

Среднегодовой коэффициент загрузки  $K_3$  ср. год определяется на основании данных по потреблению электроэнергии трансформатором в течение года

$$k_3 = W_{\text{год. трансф}} / (365 * 24 * S_{н. трансф}), \quad (15)$$

где  $S_{н}$ -номинальная мощность трансформатора.

При низких коэффициентах загрузки трансформаторов рекомендуется выводить в резерв один из работающих трансформаторов при условии, что второй трансформатор подстанции обеспечит нормальное электроснабжение всех потребителей. Существующие пиковые режимы работы, связанные с дополнительной нагрузкой отопительных приборов и устройств, перекрываются включением второго трансформатора. На эксплуатационной практике один из трансформаторов выводится в резерв в теплое время года до начала отопительного сезона.

В качестве примера рассмотрим расчёт ожидаемого снижения потерь при выводе в резерв на 200 дней трансформатора мощностью 400 кВА,  $\Delta P_{xx}=1,06$  кВт. Снижение потребления электроэнергии за 200 дней составит:

$$1,06 * 24 * 200 = 5090 \text{ кВт*ч.},$$

что в стоимостном выражении – 50900 тг.

Выравнивание фазных нагрузок

При большом количестве используемых однофазных приёмников электроэнергии возникает проблема равномерного распределения нагрузок по фазам. В процессе эксплуатации в результате подключения новых потребителей, при устранении аварийных ситуаций перераспределяются нагрузки по фазам, что приводит к увеличению тока в нейтрали (в контуре заземления) иногда до значений, соизмеримых с токами фаз, что

недопустимо в условиях объектов птицеводства и животноводства. Мощность непроизводительных потерь  $\Delta P$ :

$$\Delta P = I_0^2 * r_0, \quad (16)$$

где  $I_0$  – ток нейтрали (контура заземления);

$r_0$  – сопротивление нейтрали (контура заземления).

Для снижения таких потерь производится переключение части потребителей с наиболее загруженной фазы на менее загруженные, что приводит к существенному уменьшению тока нейтрали (контура заземления). Абсолютно симметрично распределить нагрузку системы практически невозможно, но реально снизить этот вид потерь на 50-60%.

В качестве примера рассмотрим расчёт ожидаемого снижения потерь при выравнивании нагрузок по фазам в животноводческом комплексе, которые питаются от двух ТП, на каждой из которых установлены 2 трансформатора по 400 кВА каждый. В таблице 5 представлены результаты замеров тока контура заземления  $I_0$  и сопротивления контура  $r_0$  для каждого трансформатора, а также результаты расчёта мощности потерь в контуре заземления.

Таблица 5 Расчетные данные мощности потерь в контуре заземления

№ ТП	ТП-1		ТП-2	
	Тр1	Тр2	Тр1	Тр2
№				
$W_{ном}, \text{кВА.}$	400	400	400	400
$I_0, \text{А}$	7,0	13,0	17,2	32,0
$r_0, \text{Ом}$	0,8	0,8	0,75	0,75
$\Delta P, \text{кВт}$	0,04	0,135	0,222	0,768

Суммарная мощность потерь по всем трансформаторам равна 1,165 кВт. После проведения мероприятий по выравниванию нагрузок по фазам годовое уменьшение потребления электроэнергии может составить:

$$1,165 * 0,6 * 24 * 365 = 6120 \text{ кВт*ч.}$$

что в стоимостном выражении составит – 61200 тг.

Замена трансформаторов устаревших конструкций, как правило, производится при модернизации или реконструкции системы электроснабжения. В таблице 6 приведены основные параметры трансформатора типа ТМ-100/6 (силовой трехфазный трансформатор мощностью 100 кВА, первичное напряжение 6кВ, вторичное-0,4кВ), характеризующие потери:  $P_{xx}$  – потери холостого хода,  $P_{кз}$  – потери короткого замыкания,  $I_{xx}$  – ток холостого хода по отношению к номинальному.

Таблица 6 Паспортные данные трансформаторов различного года выпуска

Год выпуска трансформатора	$P_{xx}, \text{кВт}$	$P_{кз}, \text{кВт}$	$I_{xx} \text{ в } \%$
1960	0,6	2,4	6,5
2005	0,365	1,97	2,6

Как видно из таблицы 6, по сравнению с устаревшими трансформаторами аналогичные, выпущенные после 2000-го года имеют в 2,5 раза меньший ток холостого хода, на 40% снижена мощность потерь холостого хода и на 20% - мощность потерь короткого замыкания. На практике потери в трансформаторе, проработавшем несколько десятков лет, существенно выше из-за старения изоляции.

Графики нагрузок сельскохозяйственных потребителей характеризуются явно выраженной суточной и сезонной неравномерностью. Так как производство продукции животноводства является непрерывным, среднемесячные значения потребления электроэнергии на животноводческих предприятиях фактически характеризуют среднесуточное потребление, а, следовательно, и среднесуточный коэффициент загрузки. Характерный график нагрузки животноводческого комплекса представлен на рисунке 1.

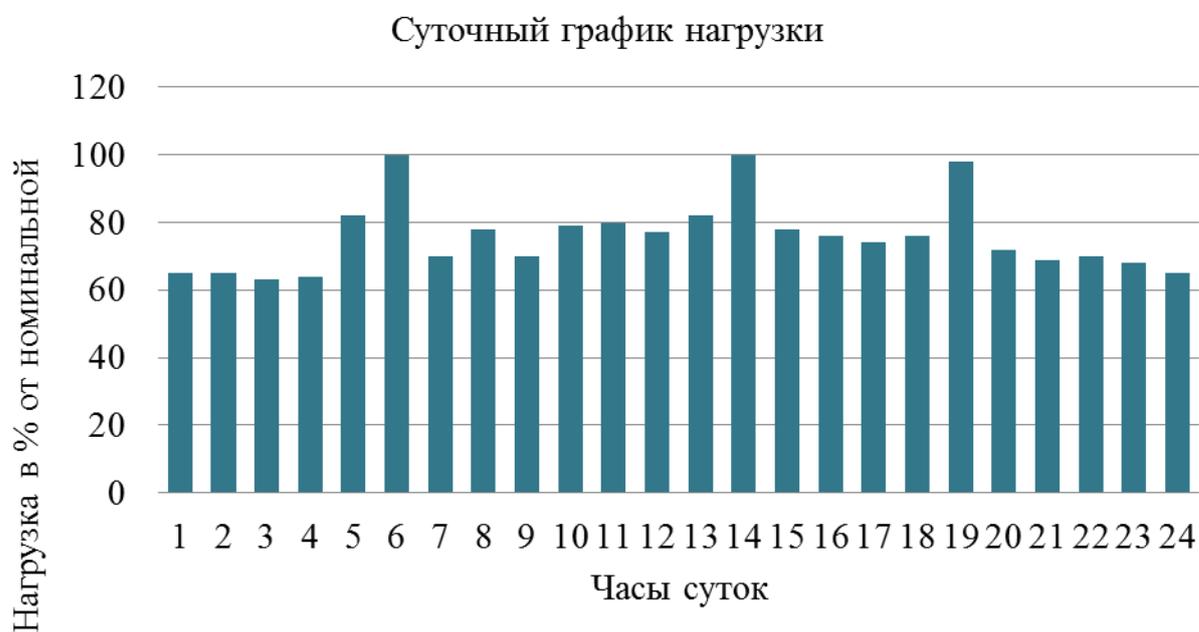


Рисунок 1 Суточный график нагрузки животноводческого комплекса

На современных животноводческих комплексах загрузка трансформаторов значительно выше, чем в среднем по хозяйству. С наступлением теплого времени года потребление электроэнергии снижается, уменьшается и загрузка трансформаторов.

Загруженность силовых трансформаторов потребительских подстанций сельскохозяйственных потребителей требует пристального

внимания, так как завышенные мощности трансформаторов потребительских подстанций увеличивают удельный расход на трансформацию. Понижение нагрузки масляного трехфазного трансформатора с 0,7 до 0,1 увеличивает удельный расход электроэнергии на трансформацию 1 кВА мощности в 1,8...2,1 раза в зависимости от мощности трансформатора, т.е. имеет место перерасход электроэнергии (прямые потери энергии).

Расчет перерасхода энергии (в кВт\*ч в год) на трансформацию 1 кВА потребляемой мощности относительно оптимальной загрузки трансформаторов, равной 0,7, показан на рисунке 2.

Дальнейшее снижение коэффициента загрузки вызывает резкое увеличение удельного расхода электроэнергии на трансформацию относительно оптимального технологического расхода. В трансформаторах мощностью ТМ 25 кВА уменьшение коэффициента загрузки с оптимального до среднего фактического значения вызывает удельный перерасход электроэнергии в 1,5 раза больший, чем в трансформаторах мощностью ТМ 160 кВА и в 1,8 раза, чем в трансформаторах ТМ 630 кВА.

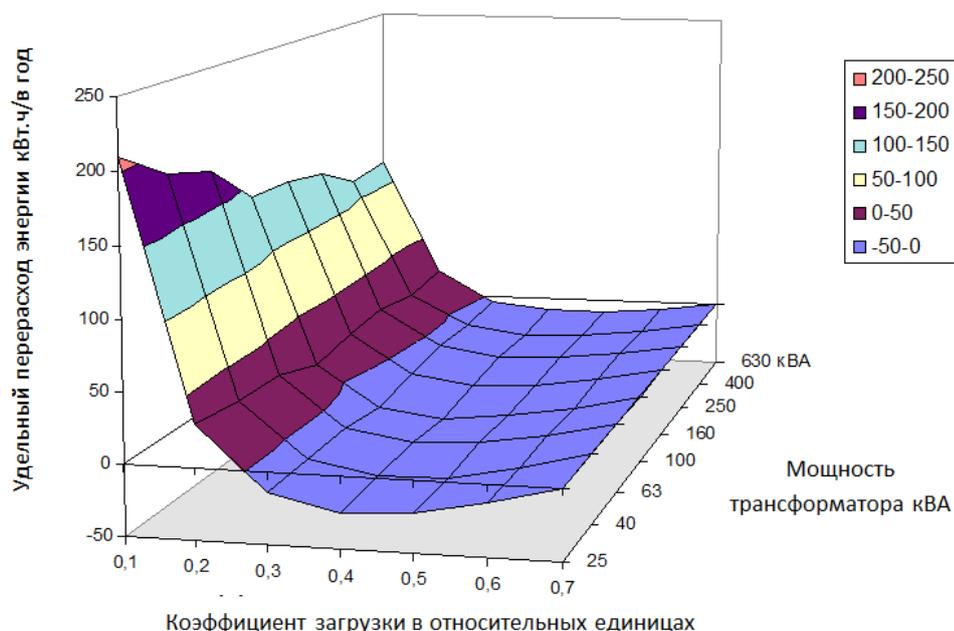


Рисунок 2 Удельный перерасход энергии на трансформацию при снижении коэффициента нагрузки

Низкая загруженность трансформаторов вызывает рост реактивной мощности, расходуемой на трансформацию 1 кВА потребляемой мощности (рисунок 3), увеличиваются перетоки реактивной мощности по линии электропередачи. Особенно резко увеличивается потребление реактивной мощности при коэффициенте загрузки, меньшем 0,3, причем темпы роста потребления реактивной мощности в небольших трансформаторах выше, чем в крупных. В трансформаторах мощностью ТМ 25 кВА при снижении коэффициента загрузки до среднего фактического уровня темп роста потребляемой реактивной мощности в 1,8 раза выше, чем в трансформаторах мощностью ТМ 630 кВА.

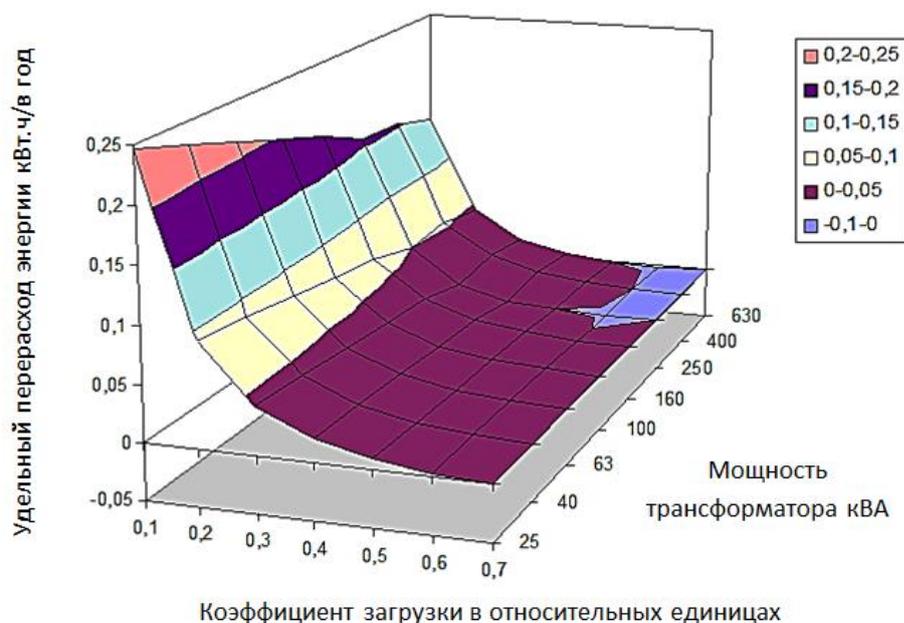


Рисунок 3 Удельный перерасход реактивной мощности при снижении коэффициента загрузки

Таким образом, при снижении коэффициента загрузки трансформаторов увеличивается потребление активной и реактивной мощности, причем нарастание потребления трансформатором реактивной мощности происходит более быстрыми темпами, чем активной: коэффициент реактивной мощности увеличивается для трансформаторов ТМ 630...25 кВА в 1,5...2,1 раза (рисунок 4).

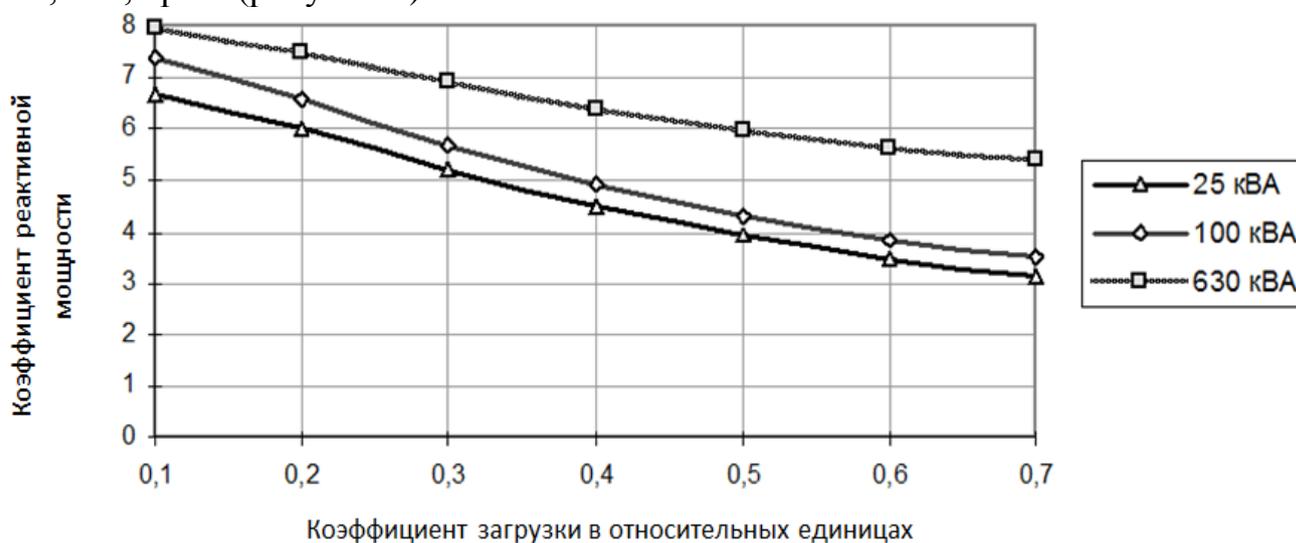


Рисунок 4 Коэффициент реактивной мощности при изменении загрузки трансформатора

### 2.3.2 Рекомендации по применению энергоэффективного оборудования и режимов подстанций 35/10-6/0,4 кВ

1. Систематическое проведение мониторинга режимов работы трансформаторов потребительских подстанций и своевременное предотвращение их работы в режиме недогрузки позволит предотвратить увеличение себестоимости передачи электроэнергии: снижение загрузки

трансформаторов с 65% до 8% повышает себестоимость передачи электроэнергии в 16 раз [16].

2. Увеличение величины реактивной мощности приводит к нелинейному росту технологического расхода при передаче мощности по линиям электропередач: повышение коэффициента реактивной мощности с 0 до 0,75, вызывает рост расхода энергии на передачу на 56%, а до 1,0 – на 100%. Поэтому, вопрос снижения коэффициента реактивной мощности актуален как на стадии проектирования, так и в процессе эксплуатации.

3. Не симметрия нагрузки может вызывать увеличение расхода электроэнергии в сельских сетях в 1,5 раза по сравнению с симметричной нагрузкой [15]. Следовательно, проведение мероприятий по выравниванию фазных нагрузок позволит повысить энергоэффективность объектов сельского хозяйства.

## 2.4 Энергосберегающие мероприятия в электроприёмниках основного и вспомогательного технологического оборудования сельскохозяйственного назначения

### 2.4.1 Методы снижения потерь электрической энергии в электроприемниках основного и вспомогательного технологического оборудования сельскохозяйственного назначения

Метод контроля с помощью отдельных счётчиков потребления энергии создает возможность корректной оценки результатов действий, направленных на снижение потерь по каждому участку сети;

Метод автоматизации управления на всех ступенях распределения электроэнергии в сельских сетях создаёт следующие возможности:

- автоматизации управления режимами работы отдельных потребителей;
- выравнивания графика нагрузок по согласованию с потребителями;
- автоматизированного управления технологическими линиями, или группами потребителей

Метод устранения влияния высших гармоник тока:

Так как в настоящее время в сельском хозяйстве, широко используются силовые полупроводниковые, ртутные и люминесцентные лампы; установки специального УФ облучения; приборы с использованием токов высокой частоты; специальные источники питания, изменяющие форму напряжения и тока, провоцирующие появление в сети кроме основной гармоники (50 Гц) гаммы определённого количества высших гармоник, кратных основной (например пятая – 250 Гц, седьмая – 350 Гц), являющихся в свою очередь причиной возникновения следующих проблем:

-повышенные потери в двигателях переменного тока, вызывающие их дополнительный нагрев;

- ускоренное старение изоляционных материалов;
- дополнительная вибрация в двигателях переменного тока;
- повышенные потери в обмотках и магнитопроводах трансформаторов;
- перегрев конденсаторов и увеличение тока через них, что снижает срок службы конденсатора.

Для подавления высших гармоник необходимо устанавливать специальные фильтры, состоящие из резистора, реактора и конденсатора.

Метод увеличения коэффициентов загрузки электроприемников и электродвигателей, минимизация времени их работы на холостом ходу: значительное число двигателей имеет завышенную мощность, коэффициент загрузки которых не превышает 0,4-0,6. Расчет коэффициента загрузки осуществляется по формуле 17.

$$K_3 = P_{\text{раб}} / P_{\text{ном}}, \quad (17)$$

где  $P_{\text{раб}}$  – средняя мощность, развиваемая двигателем в соответствии с потребностями механизма;

$P_{\text{ном}}$  – номинальная мощность двигателя.

Ниже приведены универсальные зависимости  $\eta$  (КПД) и  $\cos\phi$  для асинхронных двигателей серии 4А от развиваемой ими мощности  $P_2$ . Так как на практике коэффициент загрузки часто имеет значение 0,2-0,3, то КПД электропривода снижается на 5-10 % , а  $\cos\phi$  на 20-30 %, что подтверждается приведенными зависимостями (рисунок 5).

Данные справедливы для нерегулируемых электроприводов, которые в своем большинстве применяются в сельском хозяйстве в насосных и вентиляционных установках и других технологических механизмах.

При проведении мероприятий, повышающих энергоэффективность, с помощью анализатора качества электроэнергии можно с высокой точностью получить данные о реальной нагрузке электродвигателей  $P_p$ . При отсутствии подобных приборов достаточно измерить рабочий ток двигателя  $I_p$  с помощью, например, токовых клещей, а мощность  $P_p$  и коэффициент загрузки определяются по выражению:

$$K_3 = P_{\text{раб}} / P_{\text{ном}} = \sqrt{[(I_p^2 - I_0^2) / (I_{\text{ном}}^2 - I_0^2)]}, \quad (18)$$

где  $P_{\text{ном}}$ ,  $I_{\text{ном}}$ ,  $I_0$  -паспортные данные двигателя.

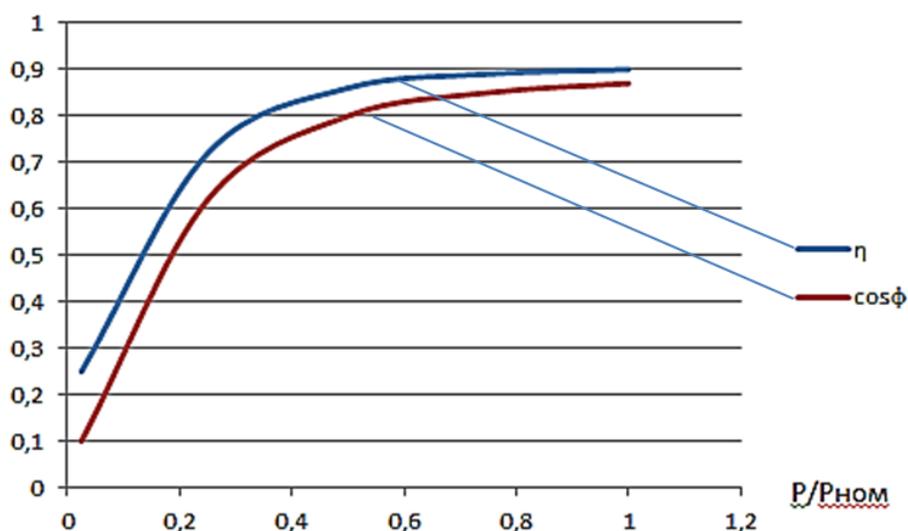


Рисунок 5 Зависимости  $\eta$  (КПД) и  $\cos\phi$  от развиваемой асинхронными двигателями мощности

Как правило, около трети приводных двигателей механизмов значительной мощности требуют регулирование мощности на 2-4 ступени. Проблематично произвести замену всех двигателей избыточной установленной мощности, но в процессе эксплуатации замена установленных двигателей на двигатели меньшей мощности может быть произведена за счет перестановки двигателей на действующих установках, а так же при использовании парка резервных двигателей хозяйства. Коэффициент загрузки двигателя должен превышать 0,6-0,7 [16].

Метод оптимизации работы трансформаторов 10-6/0,4 кВ.

Потери в трансформаторе складываются из потерь холостого хода  $\Delta P_{xx}$  и нагрузочных потерь.

Среднегодовой коэффициент загрузки  $K_{з\text{ ср. год}}$  определяется на основании данных по потреблению электроэнергии трансформатором в течение года

$$K_{з\text{ ср. год}} = W_{\text{год. трансф}} / (365 * 24 * S_{н. трансф}), \quad (20)$$

где  $S_{н}$ -номинальная мощность трансформатора.

Например, для трансформатора мощностью 400 кВА ожидаемое снижение потерь при выводе в резерв на 200 – суточный резерва снижение потребления электроэнергии за 200 дней:

$$1,06 * 24 * 200 = 5090 \text{ кВт*ч,}$$

что в стоимостном выражении – 50900 тг.

#### 2.4.2 Рекомендации по применению энергоэффективного оборудования и режимов электроприемников основного и вспомогательного технологического оборудования сельскохозяйственного назначения

Для увеличения энергоэффективности основного и вспомогательного оборудования объектов сельского хозяйства экономически обоснованы

следующие мероприятия:

1. Контроль с помощью отдельных счётчиков потребления энергии;
2. Автоматизация управления на всех ступенях распределения электроэнергии;
3. Раздельное питание нагрузок (в зависимости от характера нагрузки) для создания возможности минимизации влияния на сеть высших гармоник с помощью фильтров;
4. Увеличение коэффициентов загрузки электроприемников и электродвигателей, а также применение частотно-регулируемого привода для мощных механизмов сельскохозяйственных установок.
5. Оптимизация работы трансформаторов 10-6/0,4 кВ
6. Осуществление модернизации осветительных установок общего и специального назначения посредством методов, рассмотренных в 2.3.1.
7. Мероприятия по увеличению энергоэффективности объектов сельского хозяйства представлены в таблице 8.

## 2.5 Энергосберегающие мероприятия электроприёмников электроосветительных систем технологического и бытового назначения 0,4/0,23 кВ

### 2.5.1 Методы снижения потерь электрической энергии электроприёмников электроосветительных систем технологического и бытового назначения 0,4/0,23 кВ

Модернизация осветительных установок общего и специального назначения:

Замена ламп накаливания на новые источники света, как следует из таблицы 7, для внутреннего освещения наиболее экономичными являются компактные и линейные люминесцентные лампы, обладающие к тому же достаточно продолжительным сроком службы.

Таблица 7 Основные технические характеристики источников света

№п/п	Тип лампы	Мощность Вт	Световая эффект, лм/Вт	Срок службы, час.
1	Накаливания(ЛН)	15-1000	18-22	1000
2	Галогенные накаливания(КГ)	150-1500	18-22	2000-3000
3	Ртутные(типа ДРЛ)	50-1000	45-55	до 15000
4	Компактные люминесцентные	5-30	50-60	15000

5	Линейные люминесцентные	18-80	60-80	до 12000
6	Металлогалогенные (типа ДРИ)	175-3500	70-100	3000-10000
7	Натриевые(типа ДНаТ)	70-400	90-130	до 15000
8	Светодиодные	1-120	до 170	100000

Основные направления снижения электропотребления в осветительных установках:

-отказ от использования ламп накаливания в пользу энергосберегающих;

-использование для освещения больших площадей в помещениях люминесцентных ламп;

-использование для целей наружного освещения ламп типа ДРЛ, ДНаТ;

-замена дроссельных ПРА на электронные (ЭПРА). В этом случае кроме экономии электроэнергии (до 20-30%) увеличивается срок службы лампы, обеспечиваются cosφ, близкий к 1, стабильность светового потока при колебаниях напряжения сети, требуемый световой комфорт (мгновенное зажигание лампы, отсутствие акустического фона, мигания и мерцания лампы);

-автоматизация процесса управления осветительными установками (режимы ночного и дневного освещения, дежурного и рабочего освещения) с использованием программируемых контроллеров, различного типа датчиков (фотодатчиков, датчиков движения и пр.).

Использование энергосберегающих ламп вместо ламп накаливания, и позволяет снизить потребление электроэнергии в 4-5 раз что иллюстрируется примером расчета.

В качестве примера рассмотрим эффективность такой замены в коровнике. Суммарная мощность используемых ламп накаливания составляет 210,7 кВт (3511 лампы мощностью 60 Вт каждая). Замена их на энергосберегающие мощностью 15 Вт снизит мощность осветительных приборов на 155-160 кВт, а годовое потребление электроэнергии уменьшится на 680000 кВт\*ч. (155\*12\*365), что в стоимостном выражении составит 6789000-700800 тг. (при 12-ти часовом режиме работы осветительных приборов в сутки при стоимости 1 кВт\*ч электроэнергии 10 тг.).

Расходы на приобретение энергосберегающих ламп при цене одной лампы 600 тг. составят:

$$3511*600=2106600 \text{ тг.}$$

Поскольку срок службы энергосберегающей лампы составляет 8000 часов, а лампы накаливания — 1000 часов и в течение года потребуются 4 лампы накаливания, расходы, на приобретение которых составят

$$3511*4*75= 1053300 \text{ тг.,}$$

реальные дополнительные затраты составят

$$2106600-1053300=1053300 \text{ тг.,}$$

при сроке окупаемости - менее 3-х месяцев.

Мероприятия по замене люминесцентных ламп старой модификации также значительно увеличивают энергоэффективность.

Замена ламп 18 Вт вместо 20 и 36 Вт вместо 40, 58 Вт вместо 65 новой модификации отличающихся от старых повышенным КПД разряда, уменьшением на 7-8% потребления электроэнергии, пониженными затратами на их изготовление и транспортировку, к тому же использующимися светильниках, предназначенных для ламп старого типа - ведет к снижению непроизводительного расхода электроэнергии.

Внедрение светодиодных источников света для наружного и внутреннего освещения ведет к увеличению энергоэффективности объектов. Промышленность предлагает различные варианты исполнения ламп этого типа, не требующих замены светильников, используемых при эксплуатации традиционных ламп (накаливания, люминесцентных и т.п.), что упрощает их внедрение. Однако, высокая цена, в 3-4 раза превышающая стоимость энергосберегающей лампы, сдерживает массовое внедрение светодиодных ламп. Срок службы таких источников света — 20-25 лет. Если сравнить лампу для наружного освещения ДРЛ-250 (250 Вт, срок службы — около 3-х лет, стоимость — 600 тг.) и соответствующий ей по световому потоку светодиодный светильник УСС-70 (72 Вт, срок службы — 23 года, стоимость — 7500 тг.), то срок окупаемости составляет около 4 лет. С учетом того, что в ближайшие несколько лет прогнозируется существенное снижение стоимости светодиодных ламп, перевод освещения на этот тип ламп станет реальным и позволит существенно снизить потребление электроэнергии на цели освещения. Если использование энергосберегающих ламп снижает потребление электроэнергии в 5 раз при замене ими ламп накаливания, то использование в этих случаях светодиодных ламп позволит снизить электропотребление в 12-15 раз. Опыт последних разработок систем уличного освещения показывает, что при использовании светодиодных светильников при сооружении новых линий за счёт применения кабеля меньшего сечения и маломощной пускорегулирующей аппаратуры сроки окупаемости снижаются до года.

Замена электромагнитных пускорегулирующих устройств люминесцентных ламп на электронные (ЭПРА), ведет к снижению потребления электроэнергии на 20-30% и увеличению срока службы лампы. Рыночная цена одного ЭПРА, работающего на 4 лампы, равняется в среднем 1250 тг. Снижение потребления электроэнергии в год при эксплуатации

$$0,018*4*0,25*12*365= 80 \text{ кВт*ч,}$$

в стоимостном выражении-800 тг. при цене 1 кВт-ч в 10 тг., т.е. срок окупаемости меньше года.

Перевод уличного освещения на двойной режим работы (например, отключение половины светильников с 2-х часов ночи до 6-ти часов утра)

В качестве примера рассмотрим систему наружного освещения зернового тока, которая включает в себя 6 ламп ДРЛ-250. При отключении в ночное время 3-х ламп мощность уменьшится на 0,75 кВт, а снижение

потребления электроэнергии за год составит

$$0,75*4*365=1095 \text{ кВт*ч,}$$

в стоимостном выражении – 10950 тг. при цене одного кВт\*ч 10 тг.

Автоматизация управлением электрическими схемами также является одним из методов повышения энергоэффективности.

На схеме (рисунок 6) представлена схема автоматического управления осветительной установкой наружного освещения

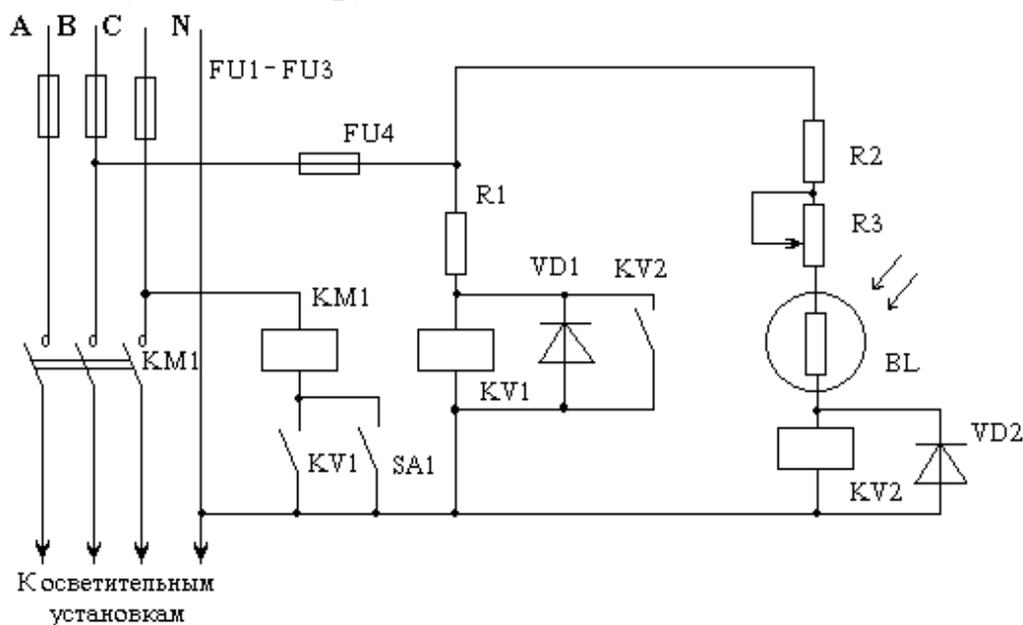


Рисунок 6 Схема управления освещением при помощи регулятора ФР-1

Внедрение схем подобного типа в значительной мере позволяет снизить непроизводительный расход электроэнергии, что например для системы освещения помещений сельской школы, в которой мощность осветительных приборов коридоров и лестничных клеток составляет 7,2 кВт, при 10-часовой продолжительности работы школы время классных занятий составляет около 7 часов, на это время на 1/3 можно уменьшить число работающих ламп. При общем числе учебных дней в году, равном 200, снижение потребления электроэнергии составит:

$$7,2*7*0,33*200=3330 \text{ кВт*ч,}$$

в стоимостном выражении 33300 тг. при цене 10 тг. за 1 кВт\*ч

Использование программируемых контроллеров в первую очередь позволяет включать и отключать системы наружного освещения в точном соответствии с продолжительностью светового дня в течение года, что минимизирует потребление электроэнергии в этой сфере. Управление светом с помощью датчиков движения и присутствия позволяет в некоторых случаях снизить потребление энергии в 3-4 раза.

### 2.5.2 Рекомендации по применению энергоэффективного оборудования и режимов электроприёмников электроосветительных систем технологического и бытового назначения 0,4/0,23 кВ

Для увеличения энергоэффективности электроприёмников электроосветительных систем объектов сельского хозяйства (таблица 8) экономически обоснованы следующие мероприятия:

1. Модернизация осветительных установок общего и специального назначения;
2. Замена ламп накаливания на новые источники света;
3. Мероприятия по замене люминесцентных ламп старой модификации;
4. Перевод уличного освещения на двойной режим работы;
5. Замена электромагнитных пускорегулирующих устройств люминесцентных ламп на электронные (ЭПРА);
6. Использование программируемых контроллеров;
7. Раздельное питание силовых и осветительных нагрузок;
8. Выравнивание фазных нагрузок

Таблица 8 Мероприятия по увеличению энергоэффективности объектов сельского хозяйства

Наименование мероприятий	Источники экономии	Энергоисточники	Электросети	Промышленные сельскохозяйственные потребители	Объекты социальной сферы	Жилый сектор
1	2	3	4	5	6	7
Замена устаревших моделей трансформаторов на современные модели	- экономия расхода электроэнергии; - снижение затрат на эксплуатацию; - улучшение качества и повышение надежности электроснабжения	+		+		
Замена устаревших моделей электродвигателей на энергоэффективные, современные модели	- экономия электроэнергии; - снижение затрат на эксплуатацию; - улучшение качества и повышение надежности электроснабжения	+				
Замена асинхронных электродвигателей и трансформаторов, задействованных меньше чем на 70%	- экономия электроэнергии	+				
Замена малопроизводительных устаревших насосов на современные модели	- экономия электроэнергии	+				
Замена вентиляторов устаревших типов на современные модели (с номинальным КПД 80-86%)	- экономия электроэнергии	+		+		

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7
Использование для питания компрессоров наружного холодного воздуха	- экономия электроэнергии	+		+		
Применение на объектах с переменной нагрузкой (приводы электродвигателей в системах вентиляции, насосные станции, транспортёры и др.) частотного регулирования	- экономия электроэнергии; - увеличение надежности и продление срока службы оборудования	+				
Тепловизионный мониторинг состояния ограждения зданий и сооружений, оборудования	- экономия энергетических ресурсов; - предотвращение аварийных ситуаций	+	+	+	+	+
Переключение с «треугольника» на «звезду» обмоток асинхронного двигателя (при его нагрузках в пределах от 35 до 40%)	- экономия электроэнергии	+	+			
Реконструкция электросетей	- уменьшение затрат на электроэнергию	+	+	+	+	+
Компенсация у потребителей реактивной мощности	- экономия электроэнергии; - Получение дополнительных электрических мощностей		+			
Использование вольтодобавочных трансформаторов	- большая пропускная способность сети; - увеличение надежности и улучшение качества электроснабжения		+			

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7
Выравнивание фазных нагрузок и напряжений	- сокращение расходов электрической энергии - сокращение затрат на ТО и ремонт электроприемников		+	+	+	+
Исключение перегрузки, и недогрузки – меньше 30% трансформаторов	- уменьшение потерь электроэнергии; - уменьшение РСЭО; - увеличение надежности и улучшение качества электроснабжения		+			
Внедрение систем автоматического управления за наружным и уличным освещением	- сокращение расходов электрической энергии			+	+	
Замена на электронные электромагнитных пускорегулирующих аппаратов	- сокращение расходов электрической энергии - увеличение срока эксплуатации оборудования			+	+	
Применение в системах архитектурной подсветки и световой рекламы энергосберегающих источников	- сокращение расходов электрической энергии			+	+	
Применение местного и естественного освещения	- сокращение расходов электрической энергии			+	+	+
Монтаж на основе светодиодных элементов интеллектуальной беспроводной системы освещения	- сокращение расходов электрической энергии - уменьшение установленной мощности			+	+	+

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7
Использование на базе световых приборов с зеркальными лампами системы уличного освещения	<ul style="list-style-type: none"> <li>- сокращение расходов электрической энергии</li> <li>- увеличение срока эксплуатации оборудования</li> </ul>			+	+	
Применение фотореле, инфракрасных датчиков, присутствия и движения в схемах электроосветительных установок	<ul style="list-style-type: none"> <li>- сокращение расходов электрической энергии;</li> <li>- уменьшение установленной мощности</li> </ul>			+	+	

## Выводы

Мероприятия по повышению эффективности использования электрической энергии весьма эффективны, но не обеспечивают бесперебойности электроснабжения объектов сельского хозяйства.

## 3 ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

### 3.1 Солнечная энергия

Солнечное излучение - один из наиболее перспективных источников возобновляемой энергии. В ясную погоду на  $1\text{ м}^2$  земной поверхности в среднем падает 1000 Вт световой энергии солнца [17].

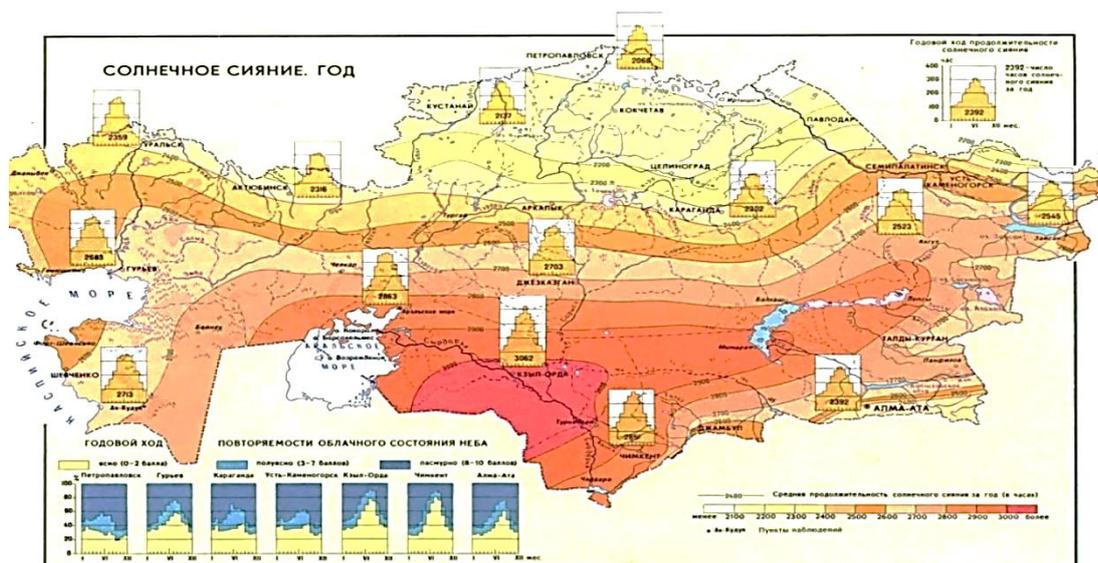


Рисунок 7 Карта солнечной активности Казахстана

Основными достоинствами солнечной энергии, и ее отличительными характеристиками по сравнению с другими видами альтернативной энергетики являются:

- Общедоступность и неисчерпаемость источника в мировом масштабе
- Суммарный годовой (рисунок 7) потенциал солнечной энергетики в РК оценивается в 340 млрд. т.у.т.
- Возможность использования данного источника как для получения электрической, так и тепловой энергий
- Слабая зависимость от географического расположения
- Безопасность для окружающей среды
- Широкий круг применения в различных технологических процессах

### 3.2 Энергия малых рек РК

Теоретически мощность всех гидроресурсов Республики Казахстан составляют 170 млрд кВт·ч в год.

В Казахстане 85 022[18] реки; из них 84 694 длиной до 100 км, 305 — до 500 км, 23 — длиной свыше 500—1000 км. Наибольшей густотой речной сети (0,4—1,8 км/км<sup>2</sup>) отличаются высокогорные районы Алтая, хр. Жетысу и

Иле Алатау. Наименьшая густота речной сети отмечается в районах песчаных пустынь Приаралья и Прикаспия (менее 0,03 км/км<sup>2</sup>).

Территорию Казахстана обычно разделяют на восемь водохозяйственных бассейнов (рисунок 8)



Рисунок 8 Карта основных речных бассейнов Казахстана

Основными достоинствами гидроэнергетики, и ее отличительными характеристиками по сравнению с другими видами альтернативной энергетики являются:

- Непрерывная возобновляемость гидроэнергетических ресурсов;
- Разработка и внедрение перспективных проектов по развитию малой гидроэнергетики в РК;
- Низкая себестоимость вырабатываемой на ГЭС электроэнергии;
- Экологичность работы;
- Низкая себестоимость производства энергии.

### 3.3 Ветровая энергия РК

Ветровая энергетика в Казахстане имеет большие возможности благодаря уникальным природным условиям. Например, средняя скорость ветра на объекте «Чумыш» (рисунок 9) около 5–6 метров в секунду. А в районе Джунгарских Ворот она достигает до 50 метров в секунду [19].

Ветроэнергетика является одним из наиболее перспективных источников энергии. Потенциал энергии ветра в РК составляет около 3 млрд. кВт в год.

Основными достоинствами ветровой энергетики, и ее отличительными характеристиками по сравнению с другими видами альтернативной энергетики являются:

- Возможность использования на довольно большой территории РК с большим ветропотенциалом со средней скоростью 8-10 м/с
- Развитие данной отрасли способствует созданию новых рабочих мест (решение кадровых вопросов), повышению уровня жизни населения

(обеспеченность электроэнергией отдаленных районов);

-Ветряные генераторы не потребляют ископаемого топлива;

-Экологичность данных установок, сокращаются выбросы вредных веществ в атмосферу.

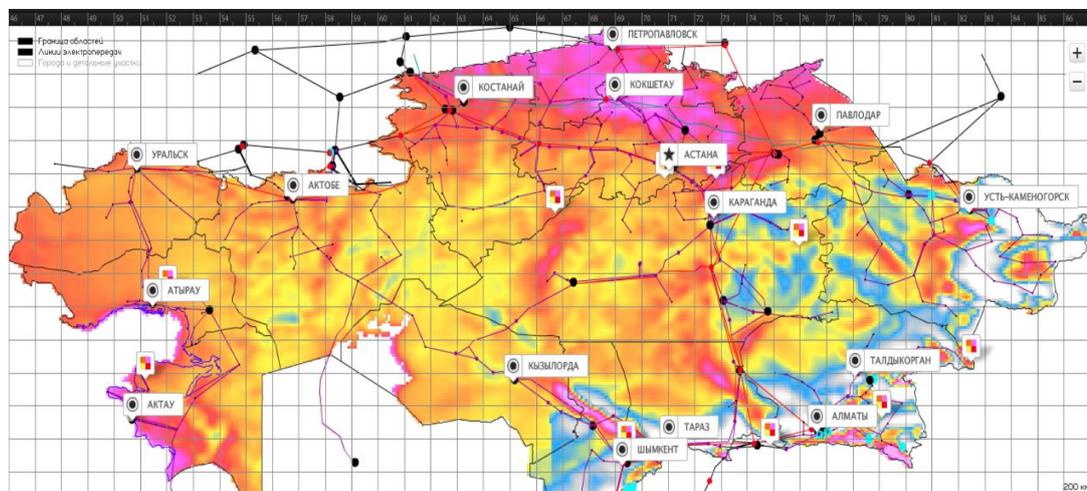


Рисунок 9 Атлас ветров Казахстана

### 3.4 Геотермальная энергия

Общий выход тепла из недр Земли на ее поверхность втрое повышает современную мощность энергоустановок мира и оценивается в 30 ТВт. При этом средняя плотность глубинного теплового потока составляет всего  $0,06 \text{ Вт/м}^2$ , что примерно в 3500 раз меньше средней плотности солнечного излучения. Общее количество теплоты, которым располагает Земля[20], в топливном эквиваленте составляет примерно  $4,5 \cdot 10^8$  трлн. т.у.т.

Основными достоинствами геотермальной энергии, и ее отличительными характеристиками по сравнению с другими видами альтернативной энергетики являются:

-Большой потенциал геотермальной энергии, как в мировом масштабе, так и в Казахстане. Разведанные запасы на территории Казахстана составляют около 100 млрд. т.у.т., что на порядок превышает общие запасы нефти и газа;

-Экологическая чистота производства электроэнергии и тепла;

-Возможность использования в разных климатических условиях и в разное время года;

-Коэффициент полноты использования превышает 90%;

-Себестоимость получаемой электроэнергии ниже, чем у традиционных источников энергии.

### 3.5 Энергия биологических субстанций

Приблизённо полная биологическая масса земли оценивается в

$2,4 \cdot 10^{12}$  тонн. Ежегодно на земле образуется около 170 млрд. т. первичной биологической массы и приблизительно тот же объём разрушается.

Биомасса применяется для производства тепла, электроэнергии, биотоплива, биогаза (метана, водорода)[20].

Использование энергии биомассы обладает многими уникальными качествами, которые обеспечивают его экологические преимущества.

Основными достоинствами энергии биологических субстанций, и ее отличительными характеристиками по сравнению с другими видами альтернативной энергетики являются:

- Непрерывный рост сектора сельского хозяйства;
- Сильная господдержка сельскохозяйственного сектора;
- Улучшение ситуации, связанной с глобальным изменением климата.
- Сокращение количества кислотных дождей, эрозии почвы, загрязнения водоемов и нагрузки на полигоны ТБО;
- Богатый ресурсный потенциал органических отходов, оценивающийся в 40 млн. тонн, а также отходов продуктов животноводства в Казахстане;
- Невысокий уровень себестоимости выработки электроэнергии из биогаза;
- Возможность использовать ресурсы, утилизация, которых наносит экологический и экономический вред.

### 3.6 Перспективы и потенциал использования солнечной энергии в Республике Казахстан для электроснабжения сельских районов

#### 3.6.1 Распределение солнечной активности по географическим широтам РК

Территория Казахстана расположена между 40 и 50° северной широты 70 и 80° восточной долготы. Как следует из зависимости количества солнечной энергии от широты местности (рисунок 10) южные регионы Казахстана в течении года получают большее количество солнечной энергии, ввиду своего географического расположения.

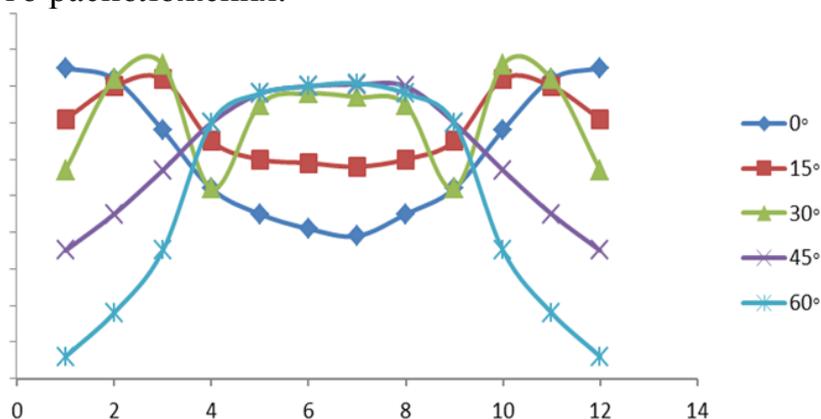


Рисунок 10 Зависимость количества, полученной в течении года, солнечной

### 3.6.2 Оценка эффективного значения плотности потока солнечного излучения

Для расчета располагаемого количества солнечной энергии, поступающего на наклонную поверхность, необходимо определить углы падения солнечных лучей на наклонную и горизонтальную поверхности в данном месте. Положение некоторой точки А на земной поверхности относительно солнечных лучей в данный момент времени определяется тремя основными углами - широтой местоположения точки  $\varphi$ , часовым углом  $\omega$  и склонением Солнца  $\delta$  (рисунок 11). Широта  $\varphi$  - это угол между линией, соединяющей точку А с центром Земли О, и ее проекцией на плоскость экватора. Часовой угол  $\omega$  - это угол, измеренный в экваториальной плоскости между проекцией линии ОА и проекцией линии, соединяющей центры Земли и Солнца. Угол  $\varphi=0$  в солнечный полдень, а 1 ч соответствует  $15^\circ$ . Склонение Солнца  $\delta$  - это угол между линией, соединяющей центры Земли и Солнца, и ее проекцией на плоскость экватора.

Склонение Солнца  $\delta$  в течение года непрерывно изменяется - от  $-23^\circ 27'$  в день зимнего солнцестояния 22 декабря до  $+23^\circ 27'$  в день летнего солнцестояния 22 июня и равно нулю в дни весеннего и осеннего равноденствия (21 марта и 23 сентября).

Склонение Солнца в данный день определяется по формуле

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right) \quad (21)$$

где  $n$  – порядковый номер дня, отсчитанный от января

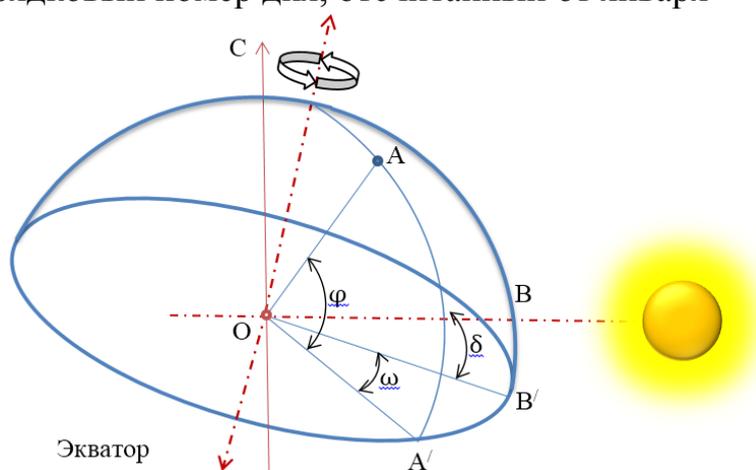


Рисунок 11 Схема кажущегося движения Солнца по небосводу

Наряду с тремя основными углами  $\varphi$ ,  $\omega$  и  $\delta$  в расчетах солнечной радиации используют также зенитный угол  $z$ , угол высоты  $\alpha$  и азимут  $a$  Солнца.

Зенитный угол Солнца  $z$  - это угол между солнечным лучом и нормалью к горизонтальной плоскости в точке А. Угол высоты Солнца  $\alpha$  - это угол в вертикальной плоскости между солнечным лучом и его проекцией

на горизонтальную плоскость. Сумма  $\alpha + z$  равна  $90^\circ$ . Азимут Солнца  $a$  - это угол в горизонтальной плоскости между проекцией солнечного луча и направлением на юг (рисунок 12). Азимут поверхности  $a_n$  измеряется как угол между нормалью к поверхности и направлением на юг.

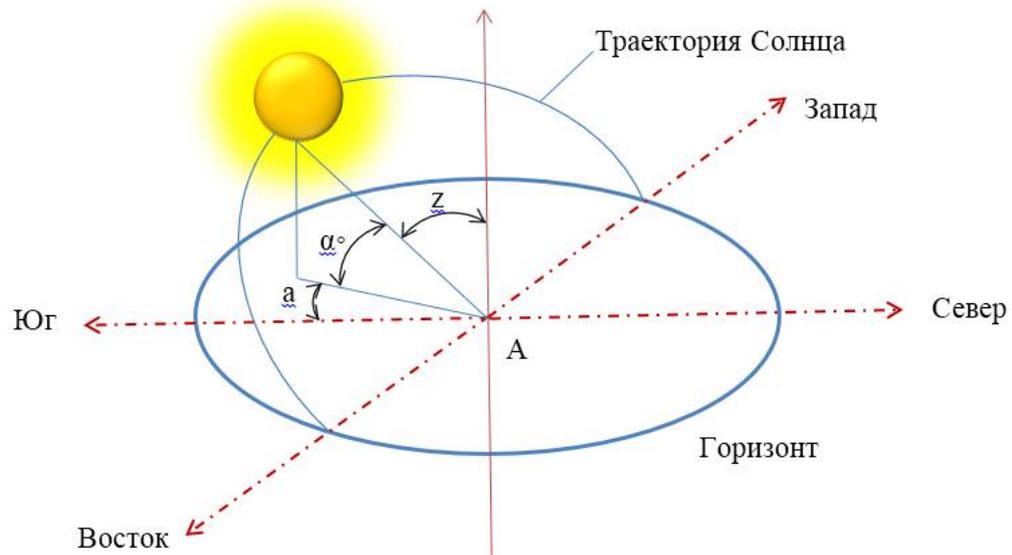


Рисунок 12 Углы, определяющие положение точки A на земной поверхности относительно солнечных лучей

Связь между дополнительными и основными углами устанавливается следующими уравнениями:

- зенитный угол  $\cos z = \cos \omega \cdot \cos \varphi \cdot \cos \delta + \sin \varphi \cdot \sin \delta$ ;
- угол высоты Солнца  $\alpha = 90 - z$ , поэтому  $\sin \alpha = \cos z$ ;
- азимут Солнца  $\sin a = \sec \alpha \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega$ .

В солнечный полдень ( $\omega=0$ )  $a = 0$  при  $\varphi > \delta$  и  $a = \pi$  при  $\varphi < \delta$ .

Максимальный угол высоты Солнца достигается в солнечный полдень при  $\omega = 0$ , т.е.  $\alpha_{\text{макс}} = \frac{\pi}{2} - |\varphi - \delta|$ .

Угол падения солнечных лучей на произвольно ориентированную поверхность, имеющую азимут  $a_n$  и угол наклона к горизонту  $\beta$ , определяется по формуле:

$$\cos i = \sin \beta \cdot [\cos \delta \cdot (\sin \varphi \cdot \cos a_n \cdot \cos \omega + \sin a_n \cdot \sin \omega - \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos a_n)] \quad (22)$$

где  $\varphi$  – широта;

$\delta$  – склонение Солнца;

$\omega$  – часовой угол Солнца.

Угол падения лучей на горизонтальную поверхность ( $\beta=0^\circ$ )

$$\cos i = \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega + \sin \delta \cdot \sin \varphi \quad (23)$$

Угол падения лучей на вертикальную поверхность ( $\beta=90^\circ$ ) может быть определен по выражению:

$$\cos i = \cos \delta \cdot (\sin \varphi \cdot \cos a_n \cdot \cos \omega + \sin a_n \cdot \sin \omega) - \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos a_n. \quad (24)$$

Азимут вертикальной поверхности  $a_n$  в том случае, если она ориентирована на юг, равен  $0^\circ$ , на запад  $90^\circ$ , на восток  $-90^\circ$ , на север  $180^\circ$ .

Подставляя эти значения  $a_n$  в формулу 10, получаем выражения для угла падения лучей на вертикальную поверхность данной ориентации

Для наклонной поверхности с южной ориентацией ( $a_n=0^\circ$ ) имеем:

$$\cos i = \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin \delta + \cos(\varphi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega \quad (25)$$

Для обеспечения улавливания максимального количества (за расчетный период) солнечной энергии солнечный модуль обычно устанавливают в наклонном положении с оптимальным углом наклона к горизонту.

Среднемесячное дневное суммарное количество солнечной энергии, поступающую на наклонную поверхность солнечного модуля, определяется по формуле:

$$E_k = R \cdot E, \quad (26)$$

где  $E$  - среднемесячное дневное суммарное количество солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность, МДж/(м<sup>2</sup>-дни);

$R$  - отношение среднемесячных дневных количеств солнечной радиации, поступающей на наклонную и горизонтальную поверхности.

Коэффициент пересчета количества солнечной энергии с горизонтальной поверхности на наклонную поверхность солнечного модуля с южной ориентацией равен сумме трех составляющих, соответствующих прямому, рассеянному и отраженному солнечному излучению:

$$R = \left(1 - \frac{E_p}{E}\right) \cdot R_n + \frac{E_p}{E} \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} + \frac{1 - \cos \beta}{2}, \quad (27)$$

где  $E_p$  - среднемесячное дневное количество рассеянного солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность, МДж/(м<sup>2</sup>·дни);

$E_p/E$  - среднемесячная дневная доля рассеянного солнечного излучения;

$R_n$  - среднемесячный коэффициент пересчета прямого солнечного излучения с горизонтальной на наклонную поверхность;

$\beta$  - угол наклона поверхности солнечного модуля к горизонту;

$\rho$  - коэффициент отражения (альbedo) поверхности Земли и окружающих тел, обычно принимаемый равным 0,7 для зимы и 0,2 для лета.

Среднемесячный коэффициент пересчета прямого солнечного излучения для поверхности солнечного модуля с южной ориентацией имеет вид:

$$R_n = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_{зн} + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_{зн} \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_з + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_з \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta}, \quad (28)$$

где  $\varphi$  - широта местности, град;

$\beta$  - угол наклона солнечной батареи к горизонту, град;

$\delta$  - склонение Солнца в средний день месяца, град.

Часовой угол захода (восхода) Солнца для горизонтальной поверхности

$$\omega_з = \arccos(-\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta). \quad (29)$$

В качестве часового угла захода Солнца для наклонной поверхности с южной ориентацией принимают меньшую из двух величин:  $\omega_з$  или величину  $\omega_{зн}$ , рассчитанную по формуле [14]

$$\omega_{зн} = \arccos[-\operatorname{tg}(\varphi - \beta) \cdot \operatorname{tg} \delta]. \quad (30)$$

### 3.6.3 Методы количественной оценки приходящей солнечной радиации на наклонную поверхность

Излучаемая Солнцем энергия, в виде направленного потока солнечного излучения СИ, характеризуется собой в виде прямой линии, соединяющей Солнце (источник СИ) и приемную площадку ПП. На ПП, находящуюся под некоторым углом непосредственно на Земле СИ, частично рассеиваясь в атмосфере поступает уже в виде трех потоков солнечной энергии: прямая  $R_{пр}(t)$ , диффузная или рассеянная  $R_{д}(t)$  и отраженная  $R_{от}(t)$  от поверхности Земли (рисунок 13).

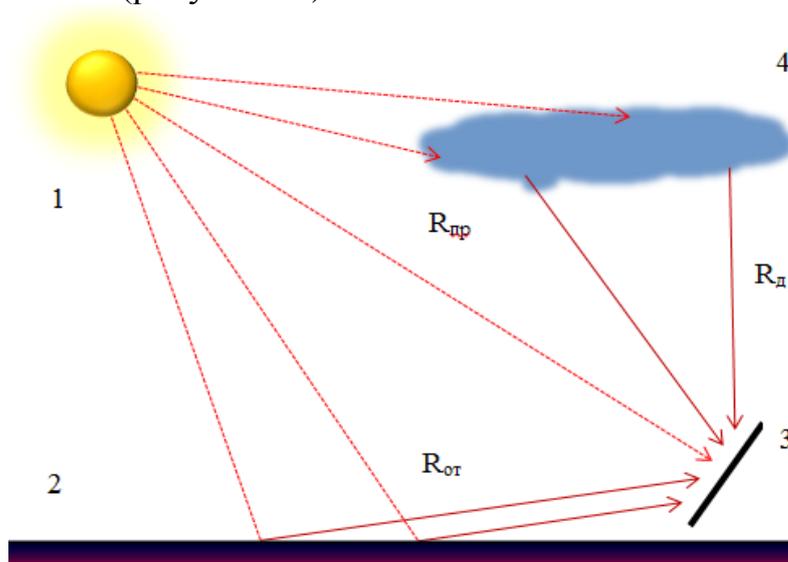


Рисунок 13 Основные составляющие солнечного излучения на поверхности Земли:

- 1- Солнце;
- 2 –поверхность Земли;
- 3 – приемная площадка;
- 4 – облака, аэрозоли, пыль.

Суммарный поток СИ на приемную площадку  $R_{\Sigma}(t)$  на поверхности Земли будет в каждый момент времени  $t$  складываться как:

$$R_{\Sigma}(t) = R_{пр}(t) + R_{д}(t) + R_{от}(t) . \quad (31)$$

где  $R_{пр}(t)$  – прямое СИ, реализуемое в виде направленного потока СИ вдоль прямой линии, связывающей собой Солнце и приемную площадку СИ на земле;

$R_{д}(t)$  – диффузное СИ, реализуемое за счет направленного СИ, рассеянного в атмосфере земли облаками, а аэрозолями, пылью и т.д.;

$R_{от}(t)$  – отраженная от поверхности земли часть направленного СИ.

Основные обозначения на рисунке 14:  $S$  – горизонтальная площадка на Земле, где расположена произвольно-ориентированная плоская приемная площадка  $F$ , наклоненная к Югу под углом  $\beta^0$ ,  $OO$  - линия пересечения плоскостей  $F$  и  $S$ ;  $AD \in S$  и  $AD \perp OO$ ;  $AC \in F$  и  $AC \perp OO$ ;  $AE \perp F$ ;  $AB \in S$ ;  $G$  - солнце;  $AH \in S$  и  $AH$  является проекцией  $AG$  на  $S$ .

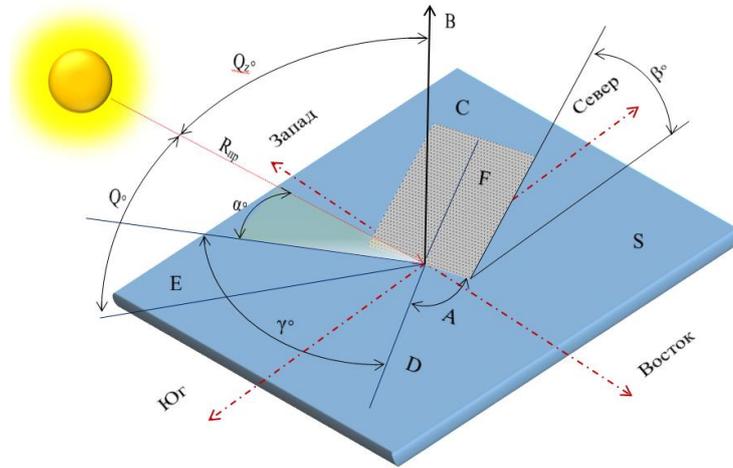


Рисунок 14 Геометрия приёмной площадки на Земле и Солнца

Соответственно определяются следующие характерные углы для приемной площадки  $F$  по отношению к  $R_{np}(t)$ :

$\theta^0$  – угол падения солнца, равный углу между  $GA$  и перпендикуляром к  $F$ , т.е. угол между направлением на Юг и перпендикуляром  $AD$  к  $OO$  ( $\gamma^0 = 0$  для площадки, ориентированной строго на Юг;  $\gamma^0 < 0$ , т.е.  $-90 < \gamma^0 < 0$ ) для площадки, ориентированной к западу;  $\alpha^0$  – высота солнца над горизонтом или угол между направлением  $GA$  и его проекцией на плоскость (т.е.  $HA$ );  $a^0$  – азимут солнца или угол между направлением на Юг и проекцией  $GA$  и плоскостью  $S$  (т.е.  $HA$ ); знаки  $a^0$  и  $\gamma^0$  совпадают между собой.

Соотношение между  $\theta^0$  и  $\theta_z^0$  для горизонтальной ( $\beta^0 = 0$ ) и наклоненной приемной площадки ( $\beta^0 > 0$ ) показано на рисунке 15. Очевидно, для случая, когда  $\beta^0 = 0$  углы  $\theta^0$  и  $\theta_z^0$  совпадают между собой, т.е.  $\theta^0 = \theta_z^0$ . На рисунке 15 принято, что высота Солнца в случае а) и б) одинаковы, т.е.  $\alpha_1^0 = \alpha_2^0$ . Однако, количество солнечной энергии, поступающей на приемную площадку  $R(t)$ , определяемое соотношением:

$$R(t) = R_{np}(t) \cdot \cos \theta^0(t) \quad (32)$$

будет различным. Очевидно, что для случая б) значение  $R(t)$  будет больше, чем для случая а). В целом можно констатировать то, что приход прямого СИ на приемную площадку во многом определяется значением  $\theta^0(t)$ .

Максимальный приход прямого СИ на приемную поверхность в течение любых календарных суток года ( $n_i$ ) при непрерывном времени  $t$ . Подобная задача реализуется при условии, когда приемная поверхность ПП постоянно ориентирована на Солнце, что соответствует условию (рисунок 16)

$$\theta_z^0 \equiv \beta^0 = 90^0 - \alpha^0 \quad (33)$$

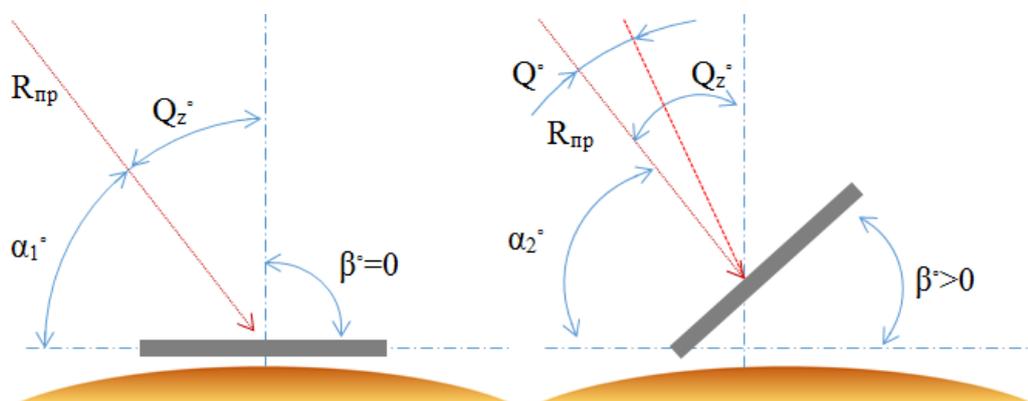


Рисунок 15 Соотношение  $Q^\circ$  и  $Q_z^\circ$

(а) для горизонтальной площадки

(б) для наклонной площадки

Известно, что высоту Солнца ( $\alpha^0$ ) можно определить в любой момент времени суток по формуле:

$$\sin \alpha^0(t) = \sin \varphi^0 \cdot \sin \delta^0(n_i) + \cos \varphi^0 \cdot \cos \omega^0(t) \cdot \cos \delta^0(n_i) \quad (34)$$

С учетом (29) и (30) значения  $\alpha^0(t, n_i)$  можно найти по формуле:

$$\sin \alpha^0(t) = \sin \varphi^0 \cdot \sin \delta^0(n_i) + \cos \varphi^0 \cdot \cos \omega^0(t) \cdot \cos \delta^0(n_i) \quad (35)$$

$$\sin \alpha^0(t, n_i) = \sin(90^0 - \beta^0(t, n_i)) = \cos \beta^0(t, n_i) \quad (36)$$

$$\beta(t, n_i) = \arccos(\sin \varphi^0 \cdot \sin \delta^0(n_i) + \cos \varphi^0 \cdot \cos \delta^0(n_i) \cdot \cos \omega^0(t, n_i)) \quad (37)$$

где  $\varphi$  - широта местности;

$\delta$  - склонение;

$\beta$  - угол между рассматриваемой плоскостью и горизонтальной плоскостью;

$\omega$  - часовой угол;

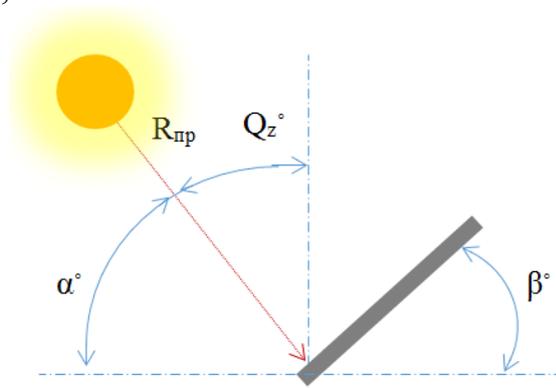


Рисунок 16 Оптимальная ориентация приемной площадки к прямому СИ

Для максимизации прихода прямого СИ на ПП необходимо, чтобы угол падения Солнца  $\theta^0$  был равен  $90^0$ .

Изложена модель расчета количества приходящей солнечной радиации на наклонную произвольно ориентированную поверхность. Эта модель позволяет рассчитывать потоки коротковолновой радиации в многокомпонентной замутненной облачной атмосфере с учетом многократного рассеяния и поглощения. Поток прямой солнечной радиации на произвольно ориентированную наклонную поверхность определяется формулой:

$$S_s = S_m \cos i \quad (38)$$

$$\cos i = \cos \alpha \sin h_C + \sin \alpha \cos h_C \cos \psi \quad (39)$$

где  $S_m$  – поток прямой солнечной радиации у земной поверхности, приходящий на перпендикулярную к лучам поверхность  $1353 \text{ Вт/м}^2 \pm 1,5\%$ ;

$\cos i$  – косинус угла падения солнечных лучей на заданную поверхность;

$\alpha$  – угол наклона поверхности по отношению к горизонтальной плоскости;

$h_C$  – высота Солнца;

$\psi = \psi_C - \psi_S$ ;  $\psi_C$  – азимут Солнца;  $\psi_S$  – азимут проекции нормали к поверхности на горизонтальную плоскость, азимуты отсчитываются от плоскости меридиана, положительны при отсчете от точки юга в направлении часовой стрелки.

Высота и азимут солнца вычисляются по формулам:

$$\cos(\psi_C) = \frac{\sin h_C \sin \varphi - \sin \delta}{\cos h_C \cos \varphi} \quad (40)$$

$$\sin(\psi_S) = \frac{\cos \delta \sin \theta}{\cos h_C} \quad (41)$$

$$\sin h_C = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \theta \quad (42)$$

где  $\delta = 23,45 \cdot \sin(360 \cdot \frac{284+n}{365})$  – склонение солнца;

$n$  – номер текущего дня года;

$\varphi$  – географическая широта;

$\theta$  – часовой угол Солнца в данный момент времени, отсчитываемый от момента истинного полдня:

$$S_s = S_m [\cos \alpha (\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \theta) + \sin \alpha \{ \cos \psi_S (tg \varphi [\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \theta] - \sin \delta \sec \varphi) + \sin \psi_S \cos \delta \sin \theta \}] \quad (43)$$

Формулу (43) удобно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned}
S_S &= S_m(A_1 + B_1 \cos \theta + C_1 \sin \theta) \\
A_1 &= \cos \alpha \sin \varphi \sin \delta + \sin \alpha \cos \psi_s (tg \varphi \sin \varphi \sin \delta - \sin \delta \sec \varphi) \\
B_1 &= \cos \alpha \cos \varphi \cos \delta + \sin \alpha \cos \psi_s \cdot \sin \varphi \cos \delta \sin \delta \sec \varphi \\
C_1 &= \sin \alpha \sin \psi_s \cos \delta
\end{aligned} \tag{44}$$

Часовые углы, определяющие моменты начала и конца освещения наклонной поверхности, являются корнями уравнения:

$$A_1 + B_1 \cos \theta + C_1 \sin \theta = 0 \tag{45}$$

В формуле (43)  $S_s$  и  $S_m$  – мгновенные значения потока солнечной радиации. Для перехода к усредненным потокам солнечной радиации за сутки определяем  $\cos i$ :

$$I_1 = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} (A_1 + B_1 \cos \theta + C_1 \sin \theta) dt = \frac{1}{2\pi} \int_{t_1}^{t_2} (A_1 + B_1 \cos \theta + C_1 \sin \theta) d\theta, \theta = \frac{2\pi t}{T} \tag{46}$$

Средние суточные значения интенсивности солнечной радиации на горизонтальной поверхности  $S_h$ , то конечная формула для расчета будет следующей:

$$S_S^c = S_h^c \frac{I_1}{h_c}, \tag{47}$$

$$\bar{h}_c = \frac{1}{T} \int_{-t_0}^{t_0} (\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \theta) dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-t_0}^{t_0} (\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \theta) d\theta$$

Определяет осредненное за сутки значение синуса высоты Солнца;  $S_h^c$  – среднее суточное значения интенсивности прямой солнечной радиации на горизонтальной поверхности;  $S_S^c$  – среднее суточное значения интенсивности прямой солнечной радиации на наклонной поверхности, ориентация которой задается азимутом  $\psi_s$ .

Радиация, падающая на наклонную поверхность, может быть представлена в виде трех составляющих,

$$Q_S = S_S + D_S + R_S \tag{48}$$

где  $D_S = \frac{D_h(1 + \cos \alpha)}{2}$ ,  $R_S = \frac{Q_h \cdot A \cdot (1 - \cos \alpha)}{2}$

$D_S, R_S$  – диффузная радиация, приходящая на наклонную поверхность, рассеянная атмосферой и земной поверхностью соответственно,

$D_h$  – рассеянная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность;

$Q_h$  – суммарная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность;

$A$  – среднее месячное альbedo прилегающих участков земной поверхности.

Соотношения (34) справедливы в случае изотропности падающих потоков  $D_h$  и  $Q_h$ . Необходимо отметить, что изотропное приближение приводит к ошибкам при оценках потоков радиации на наклонные поверхности в условиях безоблачного неба для поверхностей как обращенных в сторону Солнца (систематическое занижение), так и обращенных в сторону, противоположную Солнцу (систематическое завышение). При наличии облачности ошибки уменьшаются, но не для всех ориентаций одинаково. При сплошной облачности допущение изотропности дает удовлетворительные результаты. Так как в реальных условиях балл облачности порядка 5, то данное приближение может использоваться [21].

### 3.6.4 Применение системы PVSYST для компьютерного исследования и анализа солнечной активности на примере Северного Казахстана

Для изучения количества солнечной радиации в северных регионах Казахстана было проведено исследование на примере семи городов. Расчёт проводился по усреднённым значениям, при помощи программы-симулятора фотопреобразовательных систем PVSYST Version 4.33. Результаты представлены ниже (рисунок 17).

На основании полученных данных можно определить солнечный потенциал, в частности для Павлодара, данные наблюдений за период 2009-2012 г., проведенных в лаборатории «Энергосберегающих и энергоэффективных технологий» ИнЕУ (приложение А - Г) и расчетные данные полученные с помощью программы-симулятора фотопреобразовательных систем PVSYST имеют незначительные расхождения, что позволяет сделать вывод о перспективности использования данного ПО, в отличии от других тестирувавшихся программ [36].

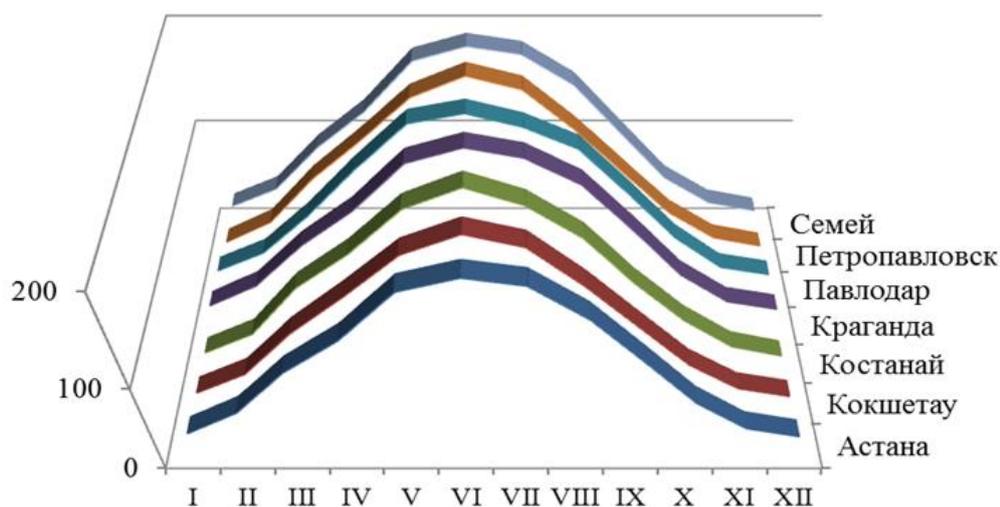


Рисунок 17 Распределение солнечной энергии по северу Казахстана

### 3.6.5 Определение зависимости мощности ФЭП от солнечной интенсивности

#### 3.6.5.1 Математическое моделирование

Для анализа энергетических процессов в автономных СЭ целесообразно использовать методы компьютерного имитационного моделирования. Это возможно при помощи специализированных программ. Солнечные батареи состоят из десятков и сотен тысяч отдельных СЭ, соединенных параллельно-последовательно с целью обеспечения требуемых номиналов тока и напряжения. Ниже рассмотрена математическая модель СБ. Эта модель, описываемая вольтамперной характеристикой (ВАХ) и нагрузочной характеристикой при заданной освещенности и температуре является базовой для расчета энергии СБ.

#### 3.6.5.2 Постановка задачи

Использование возможностей Matlab 6.5 и Mathcad 8 позволяет оценить:

— обеспечение энергобаланса в АСЭ при известных энергетических характеристиках основных и буферных источников энергии и временной диаграмме энергопотребления со стороны нагрузки;

— влияние энергетических характеристик АСЭ на обеспечение энергобаланса в системе в условиях временных изменений энергетических характеристик источников электропитания;

— влияние на энергетические характеристики АСЭ таких факторов, как освещенность солнечного элемента, температура, время года и других факторов.

Для проведения анализа используем математическую модель, адекватно описываемую процессы в СЭ [39].

#### 3.6.5.3 Модель солнечной батареи

На рисунке 18 изображена эквивалентная схема замещения солнечного элемента (СЭ).

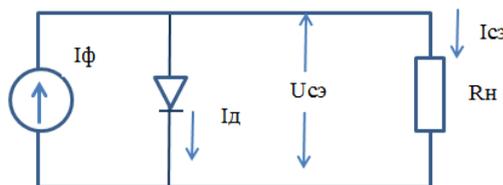


Рисунок 18 Схема замещения солнечного элемента

Данная схема описывается следующим выражением:

$$I_{cз} = I_{\phi}(W) - I_0 \cdot \left[ \exp \frac{qU_{cз}}{kT} - 1 \right] \quad (49)$$

$$(50)$$

$$U_{cэ} = \frac{k \cdot T}{q} \ln \left[ \frac{I_{\phi}(W) - I_{cэ}}{I_0} + 1 \right]$$

где  $I_{cэ}$  – ток через внешнюю нагрузку,

$I_0$  – обратный ток насыщения,

$q$  – заряд электрона,

$T$  – абсолютная температура, °К,

$k$  – постоянная Больцмана,

$U_{cэ}$  – напряжение на выходе элемента,

$I_{\phi}$  – ток неосновных носителей, генерированных светом (фототок).

Влияние освещённости СЭ на величину  $U_{NY}$  выражается формулой

$$I_{\phi}(W) = W \cdot I_0 \quad (51)$$

где  $W$  – освещённость СЭ.

Исходные данные СЭ со следующими характеристиками:  $U_{хх} = 0,55$  В,  $I_{кз} = 5,5$  А.  $I_0 = 2,061 \cdot 10^{-9}$  А.

Схема, реализующая ВАХ солнечного элемента, описываемого выражением (49-50), приведена на рисунке 19. Она позволяет оценить влияние на работу СЭ таких параметров, как уровень освещённости СЭ, температура окружающей среды, а также угол падения светового потока.

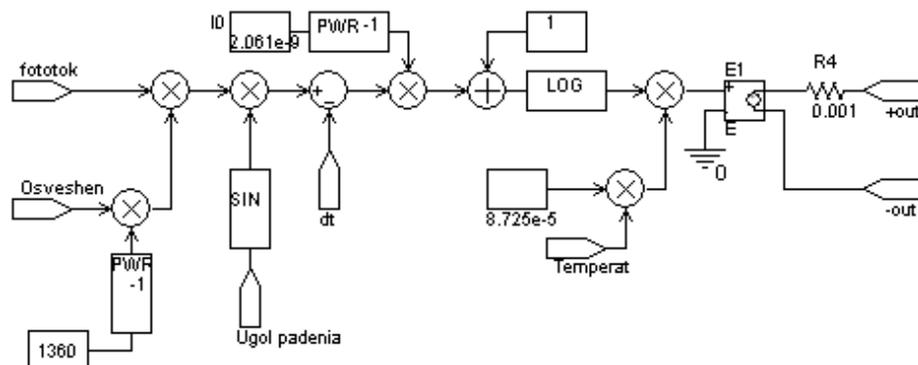


Рисунок 19 Математическая модель СЭ

Математическая модель СЭ состоит из блоков:

fototok – блок, в котором включены значения токов неосновных носителей, генерируемых светом (фототок), зависящий от уровня освещенности СЭ;

Osveshen – блок, который отражает значение уровня освещенности СЭ;

1360 – блок, отражающий значение солнечной постоянной, с учетом сигнала с выхода блока PWF-1 на рассеянное солнечное излучение;

Ugol padenia – блок учитывающий угол падения светового потока ( $\alpha=90^\circ = \pi/2$  рад);

$I_0$  – блок, учитывающий ток обратного насыщения и зависящий от исходных параметров СЭ и сигнала с выхода блока PWF-1 на прямое солнечное излучение;

LOG – блок логарифмирующий значения тока СЭ с учетом всех зависимостей;

Temperat – блок, который отражает значение температуры СЭ ( $K=273+25=298$  °K), с учетом блока  $8,725 \cdot 10^{-5}$  (постоянная Больцмана);

$E_1$  – блок разности потенциалов;

$R_4$  – блок собственного сопротивления СЭ и зависящий от исходных параметров СЭ;

+out – блок выход положительного заряда;

-out – блок выход отрицательного заряда;

Реализуем математическую модель СЭ и строим вольтамперную и нагрузочную характеристику изображенную на рисунке 20.

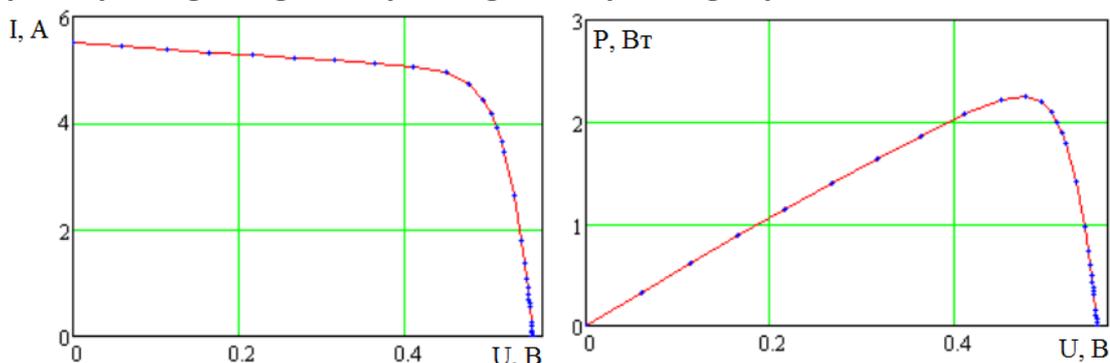


Рисунок 20 Характеристики СЭ

а – вольтамперная характеристика, б – вольтваттная характеристика

Проводим моделирование с 3 СЭ соединённых последовательно. В этом случае напряжение на выходе СБ  $U_{\text{СБ}}$  определяется по формуле  $U_{\text{СБ}} = U_{\text{СЭ}} \times N$ , где  $N$  – количество солнечных элементов, соединённых последовательно;  $I_{\text{СБ}} = I_{\text{СЭ}} = I_{\text{СЭ}}$ .

На рисунке 21 изображена модель СБ, состоящая из 3 СЭ, соединённых последовательно.

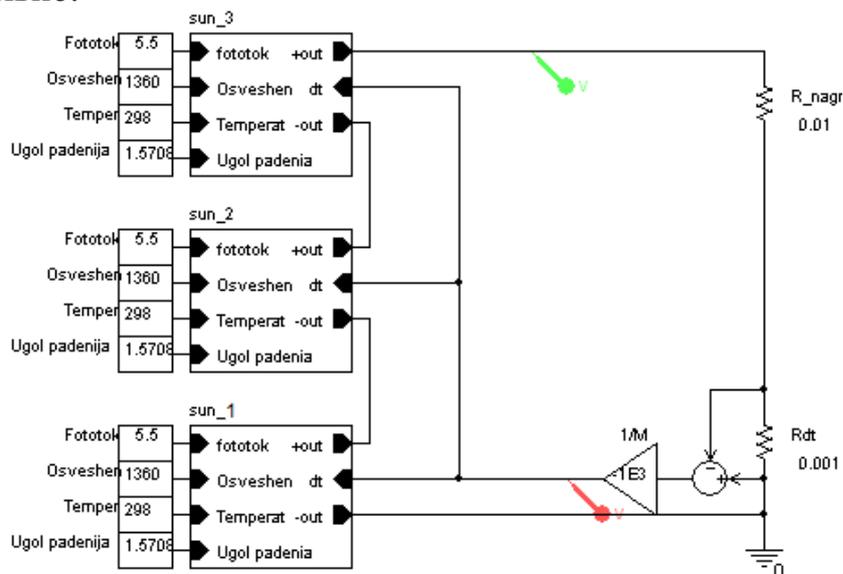


Рисунок 21 Модель солнечной батареи, состоящей из 3 солнечных элементов, соединённых последовательно

Математическая модель СБ состоит из тех же блоков, что и СЭ.

Sun\_1, sun\_2, sun\_3 – это три солнечных элемента соединенных последовательно, имеющих четыре основных блока fototok, Osveshen, Temperat, Ugol padenia.

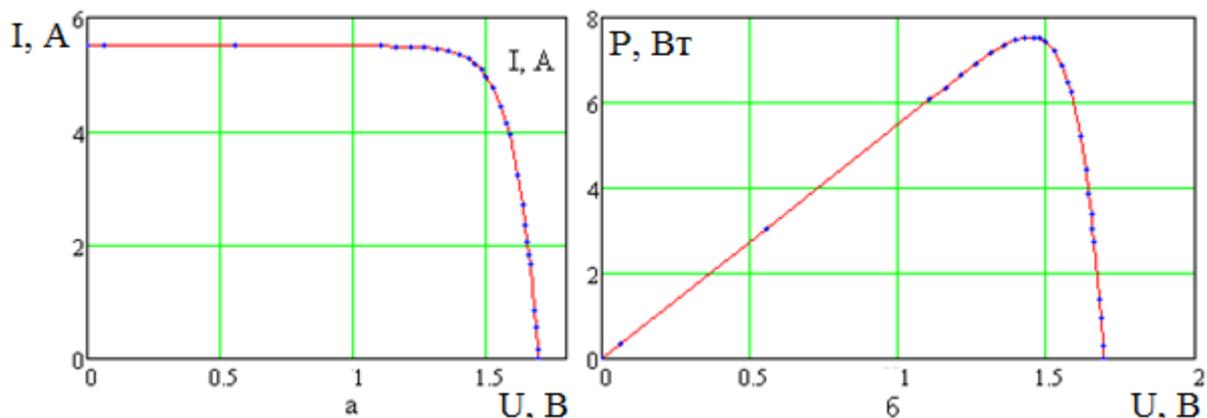


Рисунок 22 Характеристики схемы, приведённой на рисунке 21

а – вольтамперная характеристика, б – нагрузочная характеристика

Как видно из рисунка 22, напряжение холостого хода СБ в 3 раза больше напряжения холостого хода СЭ, следовательно модель составлена верно.

Проводим моделирование солнечной батареи, состоящей из 2 элементов соединённых параллельно. В этом случае напряжение на выходе СБ  $U_{\bar{N}\bar{A}}$  определяется по формуле  $U_{\bar{N}\bar{A}} = U_{\bar{Y}\bar{E}\bar{A}} = U_{\bar{N}\bar{Y}}$ ,  $I_{\bar{N}\bar{A}} = I_{\bar{Y}\bar{E}\bar{A}} = I_{\bar{N}\bar{Y}} \times M$ , где  $M$  – количество солнечных элементов, соединённых параллельно.

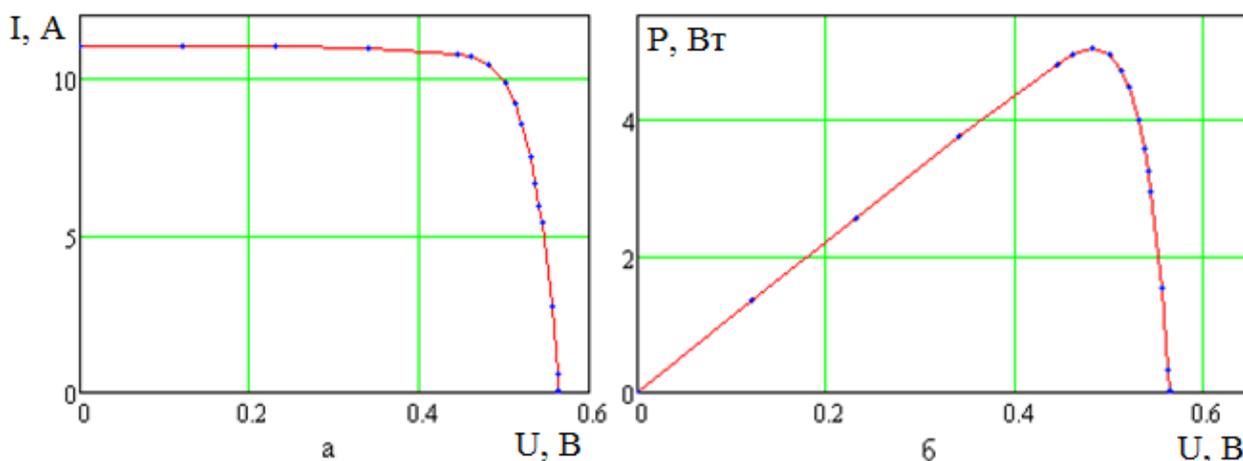


Рисунок 23 Характеристики схемы, состоящей из 2 солнечных элементов

а – вольтамперная характеристика, б – нагрузочная характеристика

Как видно из рисунка 23, ток короткого замыкания СБ в 2 раза больше тока короткого замыкания СЭ (рисунок 24), следовательно модель составлена верно.

Проводим моделирование солнечной батареи, состоящей из 6 солнечных элементов, соединённых последовательно-параллельно.

В этом случае напряжение на выходе СБ  $U_{\bar{N}\bar{A}}$  определяется по формуле  $U_{\bar{N}\bar{A}} = U_{\bar{Y}\bar{E}\bar{A}} = U_{\bar{N}\bar{Y}} \times N$ , где  $N$  – количество солнечных элементов, соединённых последовательно  $I_{\bar{N}\bar{A}} = I_{\bar{Y}\bar{E}\bar{A}} = I_{\bar{N}\bar{Y}} \times M$ , где  $M$  – количество солнечных элементов, соединённых параллельно.

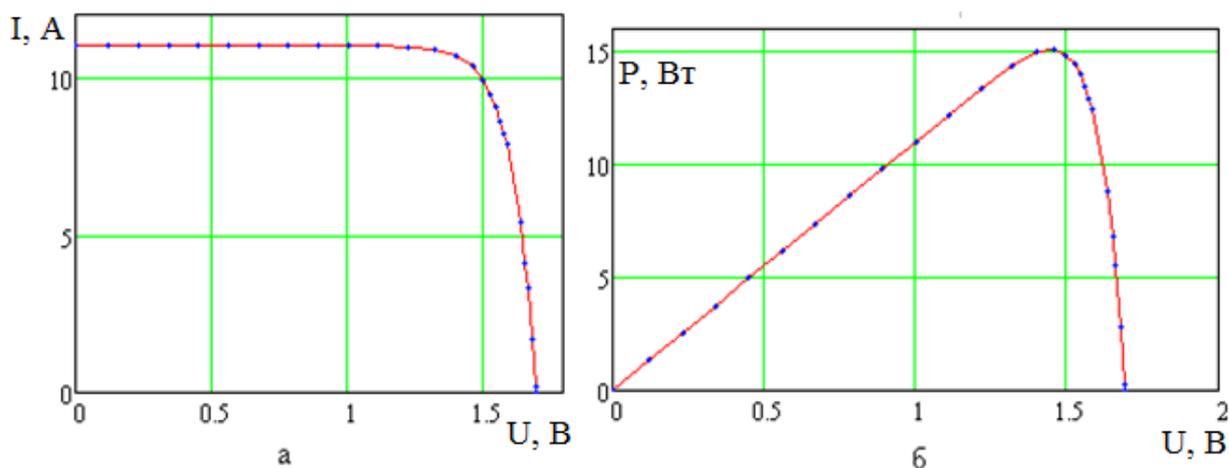


Рисунок 24 Характеристики схемы, состоящей из 6 элементов, соединённых последовательно-параллельно

а – вольтамперная характеристика, б – нагрузочная характеристика

### 3.6.6 Применение пакета MATHCAD для моделирования солнечной радиации

Расчет произведен с помощью программы MATHCAD [44]

Восход Солнца в 5 ч 46 мин, заход — в 21 ч 07 мин; продолжительность светлого времени суток — 15 ч 21 мин; солнечную радиацию рассчитывают через каждый час с 6 ч до 21 ч;

$$S_0 = 1395 \text{ Вт/м}^2;$$

$$N = 121;$$

$c = 0,43$  для нормальной прозрачности атмосферы [ 26];

$\varphi = 52^\circ 3'$  северной широты или  $0,3134\pi$  рад для г. Павлодар;

$\gamma = 0$  — плоскость ориентирована на юг (соответствует наибольшей продолжительности облучения плоскости);

$a = 0,383$  на суше на широте г. Павлодар;

$b = 0,38$ ;

$n = 0,7$  при облачной погоде с прояснениями.

Как показывает предварительный расчет, для 1 мая значения суммарной солнечной радиации уходят в отрицательную область утром до 5 или 6 ч и вечером после 18 или 19 ч. Это означает, что в данное время

плоскость находится вне зоны облучения. Следовательно, принимаем расчетный промежуток времени облучения  $\tau = 13$  ч (6, 7, 8...19 ч). Этому промежутку времени соответствует изменение часового угла  $\omega$  от  $\pi/2$  до  $-7\pi/12$  ( $\pi/2, 5\pi/12, \pi/3, \dots, -7\pi/12$ ).

Угол наклона плоскости к горизонту  $s - \pi/12, \pi/6, \pi/4, \pi/3, 5\pi/12$ .

### Порядок расчета

Находим значение склонения Солнца. Определяем высоту Солнца и угол падения прямого солнечного излучения на площадку при различных углах наклона плоскости к горизонту, согласно схеме (рисунок 25).

Находим плотность потока суммарной солнечной радиации, падающей на наклонную площадку в ясную погоду при различных углах наклона площадки к горизонту.

Выбираем оптимальный угол наклона плоскости к горизонту из условия максимального поступления солнечной радиации в ясную погоду.

Определяем поступление суммарной солнечной радиации на плоскость, наклоненную к горизонту под оптимальным углом в облачную погоду с прояснениями.

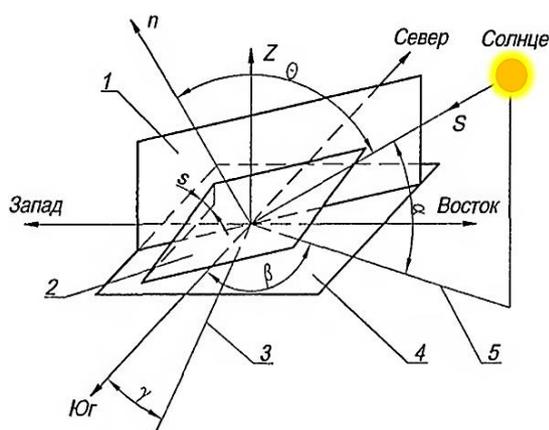


Рисунок 25 Схема для расчета поступления солнечной радиации на поверхность Земли

На рисунке 26 представлен график поступления суммарной солнечной радиации на плоскость, наклоненную под разными углами к горизонту в ясный день 1 мая. Максимальное количество солнечной радиации поступает на плоскость, наклоненную к горизонту под углом, лежащим между  $\pi/12$  и  $\pi/3$  рад.

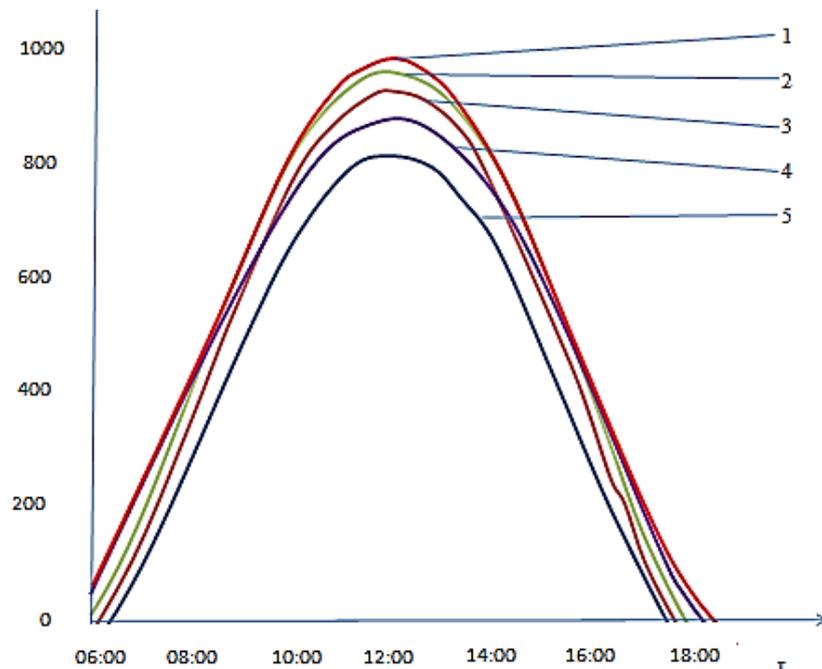


Рисунок 26 График поступления суммарной солнечной радиации на плоскость, наклоненную под разными углами 1 мая в ясный день:

- 1 — угол наклона к горизонту  $\pi/4$ ;
- 2 —  $\pi/6$ ;
- 3 —  $\pi/3$ ;
- 4 —  $\pi/12$ ;
- 5 —  $5\pi/12$

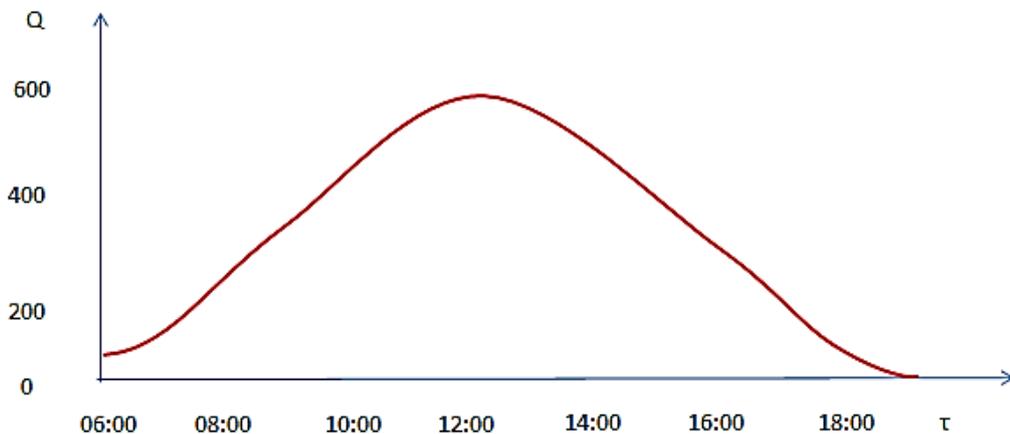


Рисунок 27 График поступления суммарной солнечной радиации на плоскость, наклоненную под углом  $\pi/6$  к горизонту 1 мая в облачный день с прояснениями

Для более точного определения оптимального угла наклона 1 мая необходимо найти суммарное количество энергии, поступившей на плоскость площадью  $1 \text{ м}^2$  в течение дня для  $s = \pi/12, \pi/6, \pi/4, \pi/3$ , а именно:

$$s = \frac{\pi}{12}, \int_{6\text{ч}}^{19\text{ч}} Q_{\text{накл}}(\tau) * d\tau = 1926 \text{ Дж/м}^2$$

$$s = \frac{\pi}{6}, \int_{6\text{ч}}^{19\text{ч}} Q_{\text{накл}}(\tau) * d\tau = 2029 \text{ Дж/м}^2$$

$$s = \frac{\pi}{4}, \int_{6\text{ч}}^{19\text{ч}} Q_{\text{накл}}(\tau) * d\tau = 2002 \text{ Дж/м}^2$$

$$s = \frac{\pi}{3}, \int_{6\text{ч}}^{19\text{ч}} Q_{\text{накл}}(\tau) * d\tau = 1848 \text{ Дж/м}^2$$

Выше (рисунок 27) приведен график поступления суммарной солнечной радиации 1 мая в облачный день с прояснениями на плоскость, наклоненную к горизонту под углом  $\pi/6$ .

### Выводы

Оценка потенциала ВИЭ дает основания для технического применения, обеспечивающего повышение энергетической эффективности объектов сельского хозяйства.

Предложенные математические модели и выполненные на их основе расчеты показали возможности ВИЭ для объектов сельского хозяйства РК.

## 4 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ СРЕДСТВАМ РЕАЛИЗАЦИИ И ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ОБЪЕКТАМИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА НА ОСНОВЕ ВЭИ

### 4.1 Автономный источник электрической энергии на базе фотоэлектрической установки мощностью 5 кВт

Для реализации эффективного использования электрической энергии разработан автономный источник - фотопреобразовательная система мощностью 5 кВт, предназначенная для обеспечения автономного электроснабжения потребителя. Основной целью является комплексное решение задач:

1. Бесперебойной работе серверов и систем автоматики;
2. Освещение территории;
3. Аварийное питание

На южной стороне здания устанавливается 46 – модульная система площадью  $S_1 = 89 \text{ м}^2$  и  $S_2 = 67 \text{ м}^2$  с пиковой мощностью 5000 Вт.

В дневное время используется энергия системы ФЭП, а в ночное время используется энергия из АКБ Feon Silver бст-200, пусковой ток-1300А ). Линии Л1.4 и Л2.3 подсоединяются к 6 АКБ напряжением в 48 В и емкостью в 800А/ч.

Инвертор предназначен для преобразования постоянного напряжения в переменное синусоидальное напряжение с частотой 50 Гц и выходом 220В.

АВР позволяет переключить питание объекта при отсутствии солнечной энергии и полном разряде аккумуляторов на электросеть. Эта же схема может использоваться и наоборот – Солнечный фотомодуль, как резервный источник питания. В этом случае АВР переключает на аккумуляторные батареи модуля при потере питания от электросети.

Для обеспечения питания ответственных потребителей, а также освещения в ночное время части территории и подсветки фасада требуется мощность 5 кВт от сети переменного напряжения 220 В, промышленной частоты 50 Гц. Для обеспечения бесперебойного питания потребителей, согласно графика потребления в течении 5 часов ежедневно, предусматривается параллельное питание электропотребителей от сети и автономной фотопреобразовательной установки (рисунок 28).

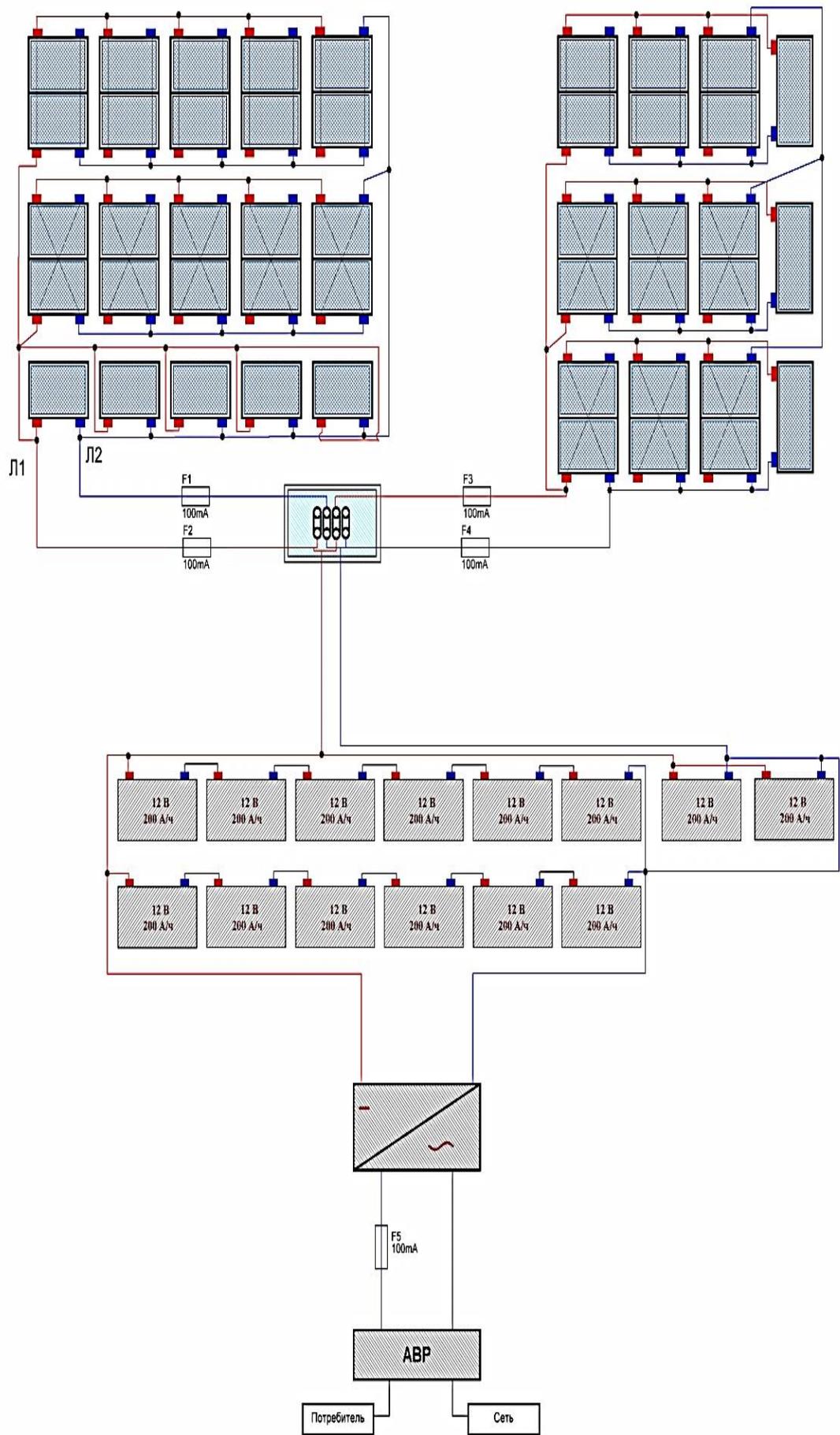


Рисунок 28 Схема фотопреобразовательной установки мощностью 5 кВт

#### 4.1.1 Расчет и выбор требуемой мощности инвертора

При общей потребности в электроэнергии 175 кВт\*ч энергии постоянного тока с учетом потерь в инверторе потребуется:

$$W_{\text{тр}} = W_{\text{пер}} * k = 175 * 1,2 = 210 \text{ кВт*ч}$$

где  $k$  – коэффициент запаса, принимаемый  $k=1,2$ .

Для того чтобы выбрать инвертор, разделим значение на число часов за неделю:

$$P_{\text{инв}} = (W_{\text{тр}} * 1000) / (T_{\text{нед}} * t_{\text{сут}}) = 210000 / (7 * 24) = 1250 \text{ Вт.}$$

Число Ампер-часов в неделю, требуемое для покрытия нагрузки переменного тока:

$$q_{\text{пер.нед}} = (W_{\text{тр}} * 1000) / U_{\text{инв}} = 420000 / 24 = 8750 \text{ А*ч}$$

Нагрузка потребителей постоянного тока  $W_{\text{пост}}$  составляет:

$$W_{\text{пост}} = 0 \text{ кВт*ч.}$$

Суточное значение потребляемых А\*ч:

$$q_{\text{сут}} = q_{\text{нед}} / T_{\text{нед}} = 8750 / 7 = 1250 \text{ А*ч}$$

В соответствии с приведёнными расчетами намечаем к установке с техническими характеристиками: Simin SIM-3000P;  $U_{\text{ном}}=24$   $P_{\text{ном}}=3000$  Вт, стоимостью  $C_1=97000$  тг.

#### 4.1.2 Накопители электрической энергии

Определим максимальное число последовательных «дней без солнца»  $N_{\text{бс}}$  (то есть когда солнечной энергии недостаточно для заряда аккумуляторной батареи и, соответственно, для работы нагрузки из-за непогоды или облачности), пользуясь данными представленными в таблице 9.

Так как предусматривается круглогодичная эксплуатация фотоэлектрической системы с дублером, в том числе при работе с общей энергосетью, для уменьшения затрат можно выбрать минимально возможное количество дней без солнца – 1. Это обуславливается подзарядкой от резервного источника в любое время. Также возможно принять за этот параметр выбранное количество дней, в течение которых аккумуляторные батареи будут питать нагрузку самостоятельно без подзарядки.

Следовательно, суммарная емкость аккумуляторов, учитывающая

количество дней без Солнца:

$$q_n = q_{\text{сут}} * N_{\text{бс}} = 1250 * 1 = 1250 \text{ А*ч}$$

Таблица 9 Количество дней без солнца, обусловленное погодными условиями

Широта местности	Период		
	Летние месяцы	Осенние и весенние месяцы	Зимние месяцы
30	2-4	3-4	4-6
40	2-4	4-6	6-10
50	2-4	6-8	10-15
60	3-5	8-12	15-25
70	3-5	12-14	20-35

Задаем величину глубины допустимого разряда аккумуляторной батареи. При этом необходимо учесть, что чем больше глубина разряда, тем быстрее батареи выйдут из строя. Рекомендуемое значение глубины разряда 20% - 50%. Соответственно коэффициент использования  $\gamma$  составит от 0,2 до 0,5 при каких обстоятельствах разряд батареи не должен превышать 80%. Следовательно заряд аккумуляторной батареи с учетом глубины разряда составит:

$$q_\gamma = q_n / \gamma = 1250 / 0,5 = 2500 \text{ А*ч}$$

Производится выбор коэффициента  $\alpha$ , который учитывает температуру окружающей среды в помещении, где установлены аккумуляторные батареи. Обычно это средняя температура в зимнее время. Коэффициент учитывает уменьшение емкости при понижении температуры.

Размещение аккумуляторных батарей предусматривается в отапливаемом техническом помещении  $t = 15,6 \text{ C}^0$ , поэтому

$$Q_{\text{общ}} = q_\gamma * \alpha = 2500 * 1,11 = 2775 \text{ А*ч.}$$

Производится выбор типа аккумуляторной батареи, исходя из условий эксплуатации. Намечаем к установке аккумуляторные батареи типа DJM-12200 с номинальным напряжением  $U_{\text{ном}} = 12 \text{ В}$ , номинальной ёмкости

$$q_{\text{ном}} = 200 \text{ А*ч, стоимостью } C_2 = 35000 \text{ руб.}$$

Определяется количество батарей, соединенных параллельно:

$$N_{\text{АБ(пар)}} = q_{\text{общ}} / q_{\text{ном}} = 2775 / 200 = 14 \text{ шт}$$

Определяется количество последовательно соединенных батарей:

$$N_{\text{АБ(пос)}} = U_{\text{инв}} / U_{\text{ном}} = 24 / 12 = 2 \text{ секции}$$

Определяется требуемое количество аккумуляторных батарей:

$$N_{AB(пар)} = N_{AB}/N_{AB(нос)} = 14/2 = 7 \text{ шт.}$$

#### 4.1.3 Определение количества солнечных панелей

Для расчета солнечных панелей необходимо определим количество пиковых солнце-часов в день. Для этого среднемесячное поступление солнечного излучения в кВт\*ч/месяц на площадку, имеющую тот же угол наклона, что и солнечные батареи, необходимо разделить на количество дней месяца. Под пиковыми часами понимаются часы с интенсивностью 1000 Вт/м<sup>2</sup>. Таким образом, при эксплуатации системы в летний период можно вести расчет по месяцу с наименьшим значением.

Проектом предусматривается наличие резервного источника питания, следовательно, расчет производится по среднегодовому значению пиковых солнце-часов. Это позволит сократить затраты на фотоэлектрическую систему. Вырабатываемая энергия может передаваться в общую сеть, а также забираться из сети как резервного источника питания.

Данные расчетов, произведённых по приведённым выше формулам (24-30), представлены в таблице 10 и таблице 11, а также проиллюстрированы на рисунке 29.

Таблица 10 Угол склонения Солнца

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
n	17	47	75	105	135	162	198	228	258	288	318	344
δ, град	-20,9	-13	-2,4	9,4	18,8	23,1	21,2	13,5	2,2	-9,6	-18,9	-23

Намечаем к установке солнечные панели типа KV-180 с номинальной мощностью  $P_{сб.ном} = 180$  Вт, напряжением  $U_{сб.ном} = 17,65$  В, максимальным током  $I_{мпр} = 0,7$  А, и габаритными размерами  $1,4 * 0,7$  м, стоимостью  $C = 26200$  тг. Площадь солнечной панели составит  $0,98$  м<sup>2</sup>.

Умножим значение  $q_{сут}$  на коэффициент  $\zeta = 1,2$  для учета потерь на заряд-разряд аккумуляторной батареи:

$$q_{з-р} = q_{сут} * \zeta = 1250 * 1,2 = 1500 \text{ А*ч}$$

$E_S$  – прямое излучение кВт\*ч/м<sup>2</sup>

$E_D$  – рассеянное излучение кВт\*ч/м<sup>2</sup>

$E$  – суммарное излучение кВт\*ч/м<sup>2</sup>

$E_S$  – прямое излучение кВт\*ч/м<sup>2</sup>

$E_D$  – рассеянное излучение кВт\*ч/м<sup>2</sup>

$E$  – суммарное излучение кВт\*ч/м<sup>2</sup>

Е  
кВт\*ч/м<sup>2</sup>

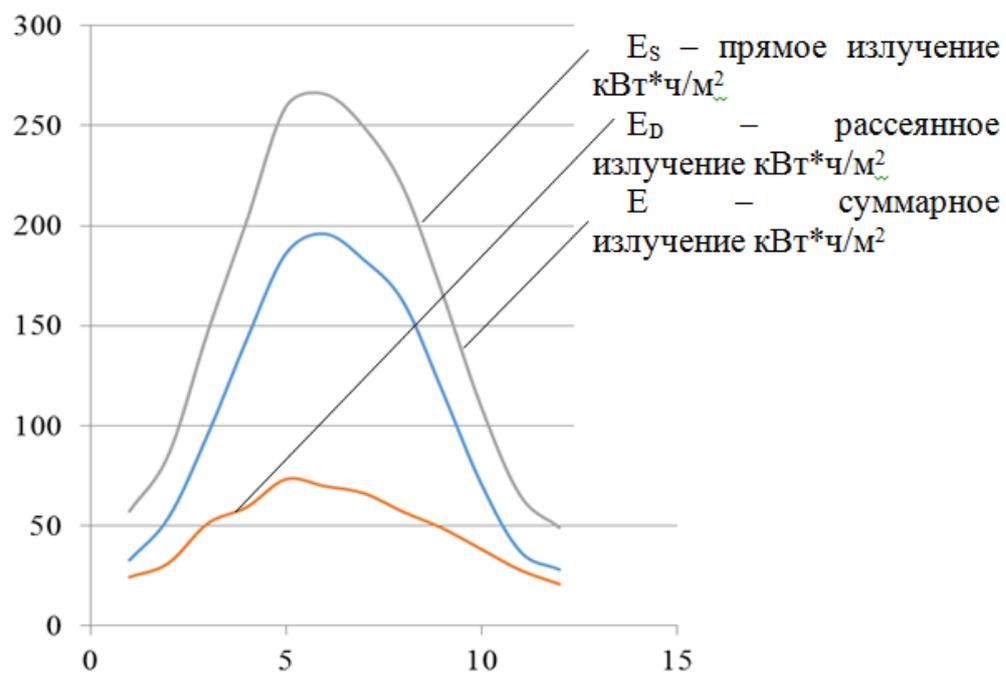


Рисунок 29 Диаграмма Солнечного излучения в течении года

Таблица 11 Расчет числа пиковых солнце-часов для угла наклона  $\beta = 52^\circ$

Месяц	$\varphi$	$\beta$	$\omega_3$	$\omega_{3н}$	$R_{п}$	Прямое излучение е ES, кВт*ч/м <sup>2</sup>	Рассеянное излучение ED, кВт*ч/м <sup>2</sup>	Суммарное излучение E, кВт*ч/м <sup>2</sup>	$\rho$	R	i
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Январь	52	45	68,8	87	4,34	32,9	24,44	57,34	0,7	2,99	2,3
Февраль	52	45	77,8	88	2,67	54,2	31,43	85,63	0,7	2,14	2,5
Март	52	45	87,8	89	1,75	95,5	51,22	146,72	0,7	1,58	4,46
Апрель	52	45	98,7	91	1,23	143,1	59,36	202,46	0,2	1,15	4,61
Май	52	45	109	92	0,97	186	73,33	259,33	0,2	0,96	4,9
Июнь	52	45	114	92	0,88	195,9	69,84	265,74	0,2	0,9	5,4
Июль	52	45	112	92	0,92	182,9	66,35	249,25	0,2	0,93	6,1
Август	52	45	103	91	1,11	162,1	57,04	219,14	0,2	1,07	5,9
Сентябрь	52	45	92	90	1,51	117,6	48,89	166,49	0,2	1,34	5,35
Октябрь	52	45	81,1	88	2,29	71	38,41	109,41	0,7	1,92	5,27
Ноябрь	52	45	71,3	87	3,76	37,2	27,94	65,14	0,7	2,65	2,98
Декабрь	52	45	65,7	86	5,30	28,2	20,95	49,15	0,7	3,54	2,1
				90							4,33

Значение тока, который должны генерировать солнечные батареи:

$$I_{CB} = q_{з-р} / i = 1500 / 4,33 = 346,43 \text{ А}$$

Общее количество требуемых солнечных батарей:

$$N_{CB} = (I_{CB} * U_{инв}) / P_{CB(ном)} = (346,43 * 24) / 180 = 46 \text{ шт.}$$

Производится определение числа модулей, соединенных параллельно:

$$N_{CB(пар)} = N_{CB} / N_{CB(пос)} = 46 / 2 = 23 \text{ шт}$$

Производится расчет числа модулей, соединенных последовательно:

$$N_{CB(пос)} = U_{инв} / U_{мин} = 24 / 12 = 2 \text{ модуля}$$

Производится расчет площади, занимаемой солнечными панелями:

$$S_{CB} = N_{CB} * S_{СП} = 46 * 0,98 = 45,08 \text{ м}^2$$

#### 4.1.4 Экономическое обоснование электроэнергетической системы с фотоэлектрическими преобразователями

Экономическое обоснование проекта системы с фотоэлектрическими преобразователями выражено в расчете затрат на основное оборудование и текущую эксплуатацию.

В соответствии с предшествующим расчетом подбираем оборудование, необходимое для работы энергосистемы, используя таблицу капитальных вложений (таблица 12).

Таблица 12 Капитальные вложения

Наименование	Количество	Стоимость единицы, тг.	∑ стоимость, тг.
1	2	3	4
Солнечные батареи	46	26200	1205200
Аккумуляторы	14	35000	490000
Инвертор	1	97 000	97 000
Прокладка кабелей	200	90	18000
Прочие затраты	—	—	54306
Итого:	—	—	1864510

Финансовые вложения осуществляются один раз: во время внедрения проекта, а также каждый год для поддержания его работоспособности – эксплуатация и капитальный ремонт.

Капитальные вложения в 1 год работы проекта определяем по формуле:

$$K_1 = \sum C_i * N_i = 1864510 \text{ тг.}$$

где  $C_i$  – стоимость единицы  $i$ -оборудования;

$N_i$  – количество  $i$ -оборудования.

Вложения в последующие годы работы проекта для осуществления плановых ремонтов определяем как:

$$K_{fn} = K_1 * k_n = 1864510 * 0.01 = 18645 \text{ тг}$$

$$K_{fc} = K_1 * k_c = 1864510 * 0.05 = 93225 \text{ тг}$$

где  $k_n = 0,01$  эксплуатация;

$k_c = 0,05$  текущий ремонт.

#### 4.2 Система электроснабжения автономного объекта – светопрозрачной теплицы

Разработана светопрозрачная теплица (рисунок 30) с системой автономного электроснабжения, использующей энергию возобновляемых источников энергии, позволяющей получать до двух урожаев светокultur в течении года [16]. Работа предусматривает создание надежной системы электроснабжения для обеспечения бесперебойного энергоснабжения объектов по выращиванию овощной продукции в «закрытых грунтах» и использования гидропонных и аэропонных технологий, что повышает энергоэффективность в объектах сельского хозяйства.



Рисунок 30 Внешний вид светопрозрачной теплицы

Энергия, вырабатываемая СП и ВЭУ по, схеме, представленной на рисунке 31, расходуется на досвечивание светокультур, систему кондиционирования, полива и питание устройств автоматизированного управления технологическими процессами.

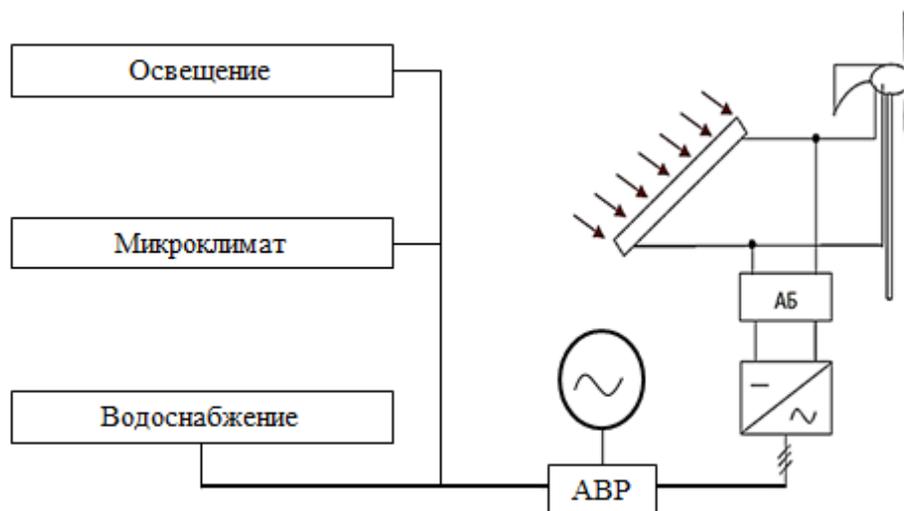


Рисунок 31 Структурная схема электроснабжения светопроницаемой теплицы

#### 4.3 Система электроснабжения на базе комбинированной биогазовой установки для получения электрической энергии

Разработана комбинированная биогазовая установка (рисунок 32) для получения электрической энергии, которую возможно рассматривать как комплексное решение проблемы повышения энергоэффективности объектов сельского хозяйства. Помимо биогаза, необходимого для получения электрической энергии, установка производит экологически чистое органическое удобрение натурального типа – биоудобрение, содержащее биологически активные вещества и микроэлементы, что повышает урожайность на 30...50%. Основным преимуществом биоудобрений по сравнению с традиционными удобрениями, является форма, доступность и сбалансированность всех элементов питания, высокий уровень гумификации органического вещества. Кроме этого утилизируются отходы и улучшается экологическая обстановка в сельскохозяйственных районах и производственных зонах.

За счет применения в качестве электропитания возобновляемых источников (солнечных модулей, коллекторов и ветрогенераторов) общий КПД всей автономной установки повышается на 20-25%.

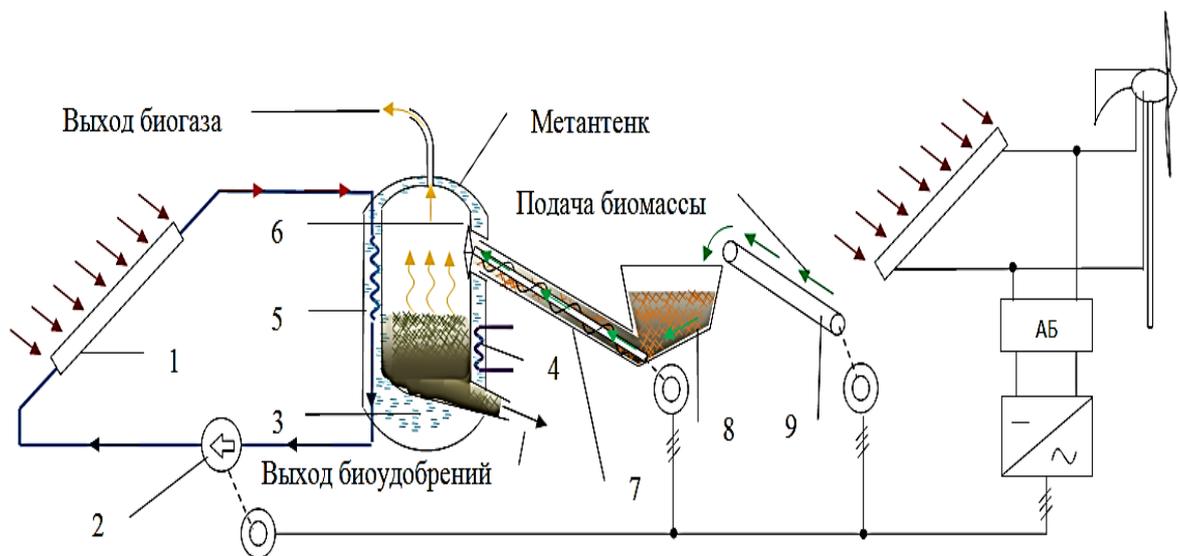


Рисунок 32 Автономная комбинированная биогазовая система электроснабжения

#### 4.4 Автономная энергоэффективная комбинированная электроустановка для увлажнения и прогрева почвы открытых грунтов

В последние годы во всём мире все большее распространение получает практика использования автономных систем электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии [38]. В соответствии с данными, полученными в лаборатории возобновляемых источников энергии Инновационного Евразийского Университета [32], на территории Павлодарской области имеется достаточный потенциал солнечной и ветровой энергии объектов сельского хозяйства [33].

Предложено, совместное использование ветровой и солнечной энергии [34] в совокупности с применением технологии капельного орошения, которое может привести к снижению себестоимости продукции и снижению рисков, зависящих от погодных условий, перебоев подачи воды и электроэнергии, а также появляется возможность автоматизации процесса полива, возделываемой культуры и дополнительного прогрева почвы (рисунок 33).

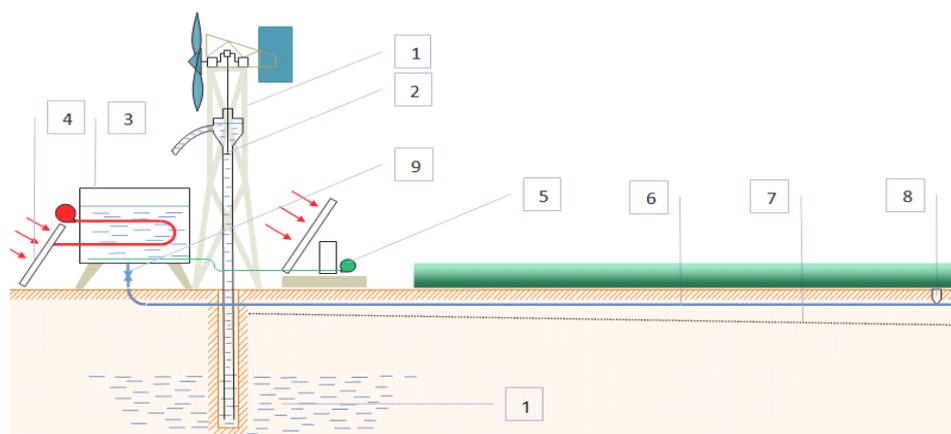


Рисунок 33 Структурная схема установки увлажнения и прогрева почвы

Разработанная установка (рисунок 33) обеспечивает подачу грунтовой воды 1 для полива посредством поршневого насоса 2, использующего ветровую энергию, в бак – накопитель 3, где поступившая вода подогревается от солнечных коллекторов 4 и обогащается кислородом, подаваемым компрессором 5, использующего электрическую энергию, полученную от солнечных панелей. Далее по отводящей системе заглублённых труб 6, имеющих калиброванные отверстия подогретая и обогащённая вода поступает в изолированный перфорированной плёнкой 7 грунтовый поддон, поддерживая оптимальные параметры температуры и влажности, контролируемые системой и датчиками 8, которые управляют вентилем подачи питающей смеси 9 прогревающей и увлажняющей грунт возделываемого участка.

Наибольшая эффективность предлагаемой системы обеспечивается наличием крытой светопроницаемой конструкции. Работающий компрессор в случае приготовления питающих смесей выполняет роль активатора. Датчики температуры и влажности автоматически управляют процессами прогрева и полива почвы с помощью микроконтроллеров. Бак – накопитель возможно так же использовать для приготовления питающих смесей для возделываемых культурных растений.

Таким образом, и в климатических условиях северного Казахстана становится возможным возделывание ранних сельскохозяйственных культур и получение до двух урожаев в год благодаря применению автономной установки увлажнения и прогрева почвы на возобновляемых источниках энергии.

Кроме того достигается экономия сетевой электроэнергии на прогрев, что является выгодной мерой повышения энергоэффективности в объектах сельского хозяйства.

#### 4.5 Система электроснабжения объекта сельхоз назначения на базе установки из сдвоенных солнечных панелей с зеркальными концентраторами и прямоточной системой охлаждения

Разработана специальная конструкция фотопреобразовательной установки. Крылья концентрирующей системы создают двустороннюю засветку приемного блока, в котором располагается ФЭП. Для увеличения эффективности использования светового потока поверх приемного блока устанавливается сдвоенный ФЭ модуль, этот модуль может быть применен для питания потребителей. Для электрического присоединения к приемному блоку служит коммутационный узел.

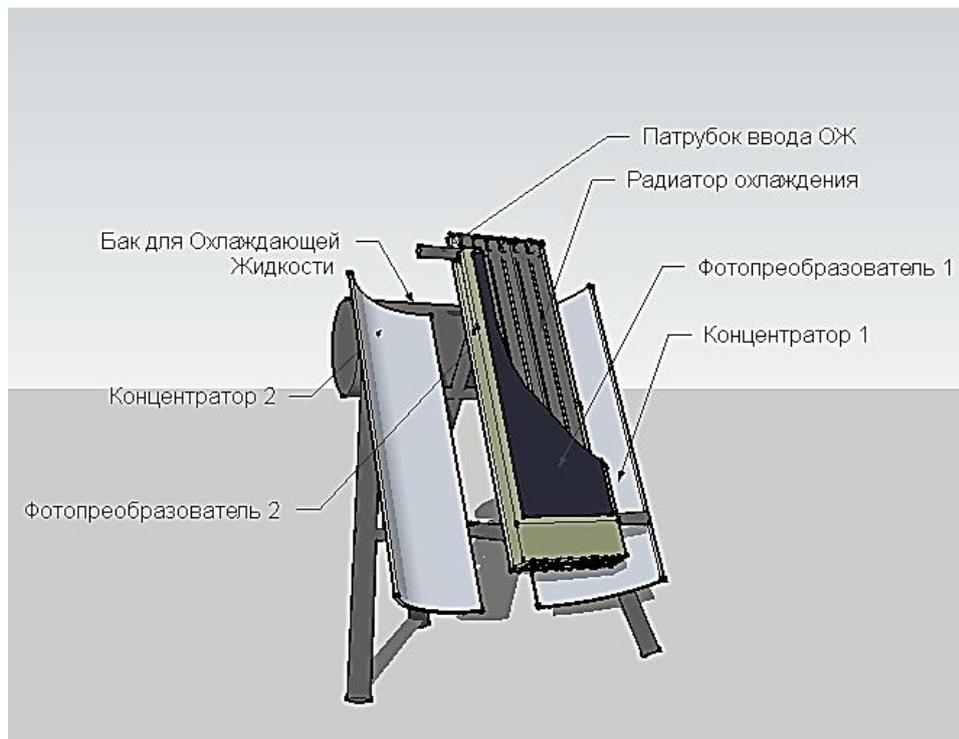


Рисунок 34 Установки из сдвоенных солнечных панелей с зеркальными концентраторами и прямоточной системой охлаждения

На рисунке 34 представлена установка из сдвоенных солнечных панелей с зеркальными концентраторами и прямоточной системой охлаждения. Здесь солнечное излучение собирается зеркальным концентратором 1, состоящим, из выгнутых пластин, направляющих солнечное излучение с двух сторон на ФЭП с вертикальными р-п переходами [53] 1,2, представляющих собой фотоэлектрический приёмник. Концентратор 1 с ФЭП 2, с ФЭ модулем, находятся на несущей конструкции. Блок накопления электрической энергии с согласующим зарядным устройством (не показано) аккумулирует генерируемую ФЭП электроэнергию с помощью аккумуляторов или преобразует ее в водород, получаемый электролизером путем гидролиза воды или топливным элементом. Распределительно-преобразовательное устройство выдает заданное постоянное или переменное напряжение в зависимости от нужд потребителя электроэнергии. Теплота, отбираемая теплоносителем радиатором охлаждения от задних стенок солнечных модулей непосредственно передается в солнечный коллектор (на схеме не указан), что позволяет одновременно увеличить КПД спаренного солнечного модуля и солнечного коллектора. Это является одним из средств повышения эффективности использования фото и гелио преобразовательных систем.

Предложенная геометрия концентрирующей поверхности, обеспечивающая двустороннюю засветку фотопреобразователя, повышает эффективность концентратора, в частности, при точности работы системы слежения за Солнцем  $0,4^\circ$  и допуске на отклонение нормалей к отражающей поверхности  $\pm 0,4^\circ$ , по сравнению с концентратором, обеспечивающим одностороннюю засветку с коэффициентом концентрации 40 крат, оптический КПД увеличивается с 65% до 81%.

Увеличение КПД спаренного солнечного модуля за счет прямоточной системы охлаждения и солнечного коллектора за счет отбора избыточного тепла от задней стенки солнечных панелей, повышает эффективность использования совмещённых фото-и гелио- преобразовательных систем.

#### 4.6 Автономный источник электрической энергии на базе комбинированной электроснабжающей установки

Разработано устройство автономной комбинированной электроснабжающей установки [40] (АКЭУ) структурная схема которой представлена на рисунке 35.

Биогазовые установки для потребителей собственных нужд и поддержания основных технологических процессов потребляют от 15 до 20% вырабатываемой мощности. Использование энергии низко потенциального тепла [58], ветровой и солнечной энергии позволит минимизировать расход мощности станции. Структурная схема (АКЭУ) представлена на рисунке 35.

АКЭУ состоит из трех контуров: питательного, основного и контура метантенка.

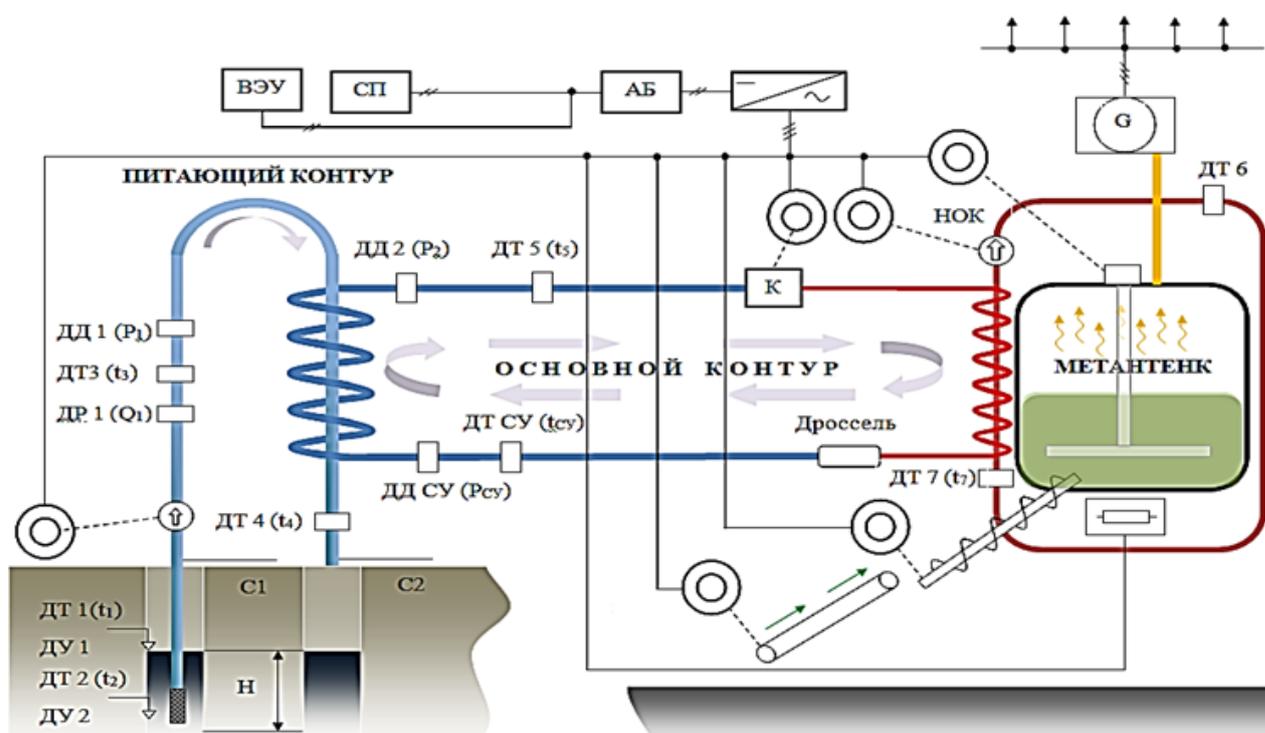


Рисунок 35 Схема АКЭУ

На рисунке обозначено:

Н1 - насос закачки грунтовой воды.

ДУ1 - датчик верхнего уровня воды в скважине С1 и датчик ДТ1 её температуры  $t_1$ .

ДУ2 - датчик нижнего уровня воды и датчик ДТ2 её температуры  $t_2$ .- высота извлекаемого столба жидкости в скважине С1.

ДД1, ДТ3, ДР1 - соответственно датчики на входе питательного контура: давления P1, температуры t3 а так же расхода Q1.

ДТ4 - датчик температуры воды t4 на выходе питательного контура при закачке обратной воды по в скважину С2 - из которой производилась закачка воды в питательный контур насосом Н1;

С2 - скважины для поддержания уровня грунтовых вод Н и восстановления в обеих скважинах первоначальных температур, т.к. температура t4 после взаимодействия питательного контура I с устройством отбора тепла основного контура понижается (после сужающего устройства СУ).

К - компрессор мощностью Pк; СУ - сужающее устройство; ДД2 и ДТ5 - датчики давления P2 и температуры t5 на входе компрессора; ДДК, ДР2, ДТ6 - датчики давления, расхода и температуры на выходе компрессора; ДД-СУ, ДТ-СУ - датчики давления Pсу и температуры tсу на выходе сужающего устройства СУ; СУ - сужающее устройство связанное с устройством отбора тепла и контуром метантенка [38], являющийся приёмником тепла, необходимого для производства биогаза.

ДР3, ДТ7 - датчики расхода нагретой воды и ее температуры t7 при подаче потребителям с помощью насоса отопительного контура Нок; ДДок - датчик давления на вводе потребителям.

Постоянное напряжение Ud может быть получено от совмещенной фото преобразовательной установки и ветрогенераторной установки, рассчитываемой согласно известных методик, вырабатываемая ими электрическая энергия расходуется на питание технологических механизмов и прогрев контура метантека.

Благодаря применению автономной комбинированной электроснабжающих установки (АКЭУ) цена за 1 кВт\*ч составляет 1,98 тенге, что значительно более выгодно, по сравнению с традиционными источниками энергии. Электроснабжение от СП и ВЭУ, обеспечивает повышение производительности установки, по сравнению с аналогичными на 10-15%. Использование низкопотенциального тепла, для обеспечения технологических процессов, также даёт повышение энергоэффективности на 7-10%. Применение подобных установок позволит сократить вредные выбросы в атмосферу, получать биоудобрения и биогаз, а следовательно тепло и дешевую электроэнергию, в количестве достаточном для автономного электроснабжения небольшого населенного пункта. Таким образом решается проблема сокращения потерь электроэнергии в электроснабжении объектов сельского хозяйства [59].

## Выводы

Рекомендованы к использованию в объектах сельскохозяйственного назначения:

- Автономный источник электрической энергии на базе фотопреобразовательной установки мощностью 5 кВт;
- Система электроснабжения автономного объекта – светопроницаемой

теплицы;

-Автономная энергоэффективная установка комбинированная электроустановка для увлажнения и прогрева почвы;

-Автономный источник электрической энергии на базе комбинированной энергоснабжающей установки;

Передоложенные устройства используют энергию возобновляемых источников энергии, что обеспечивает повышение энергетической эффективности объектов сельского хозяйства в целом.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе, на основе анализа международного опыта в области повышения энергетической эффективности:

1) Обобщен и развит научно-технический, научно-технологический и научно-методический опыт в решении задач энергосбережения и повышения энергетической эффективности объектов сельского хозяйства.

2) Решены поставленные научные и практические задачи, а именно, разработаны научно-обоснованные предложения по обеспечению эффективного использования электрической энергии объектов сельского хозяйства:

- обоснованы мероприятия и даны рекомендации по применению энергоэффективного оборудования и режимов в электрических сетях, подстанциях 35/10-6/0,4 кВ внегородского расположения;

- обоснованы методы снижения потерь электрической энергии и даны рекомендации по обеспечению эффективного использования электрической энергии в электроприемниках основного и вспомогательного технологического оборудования сельскохозяйственного назначения 35/10-6/0,4 кВ;

- обоснованы методы снижения потерь электрической энергии электроприемников электроосветительных систем технологического и бытового назначения, а также электроприемников жилых и административных зданий 0,4-0,23 кВ и даны рекомендации по обеспечению эффективного использования электрической энергии;

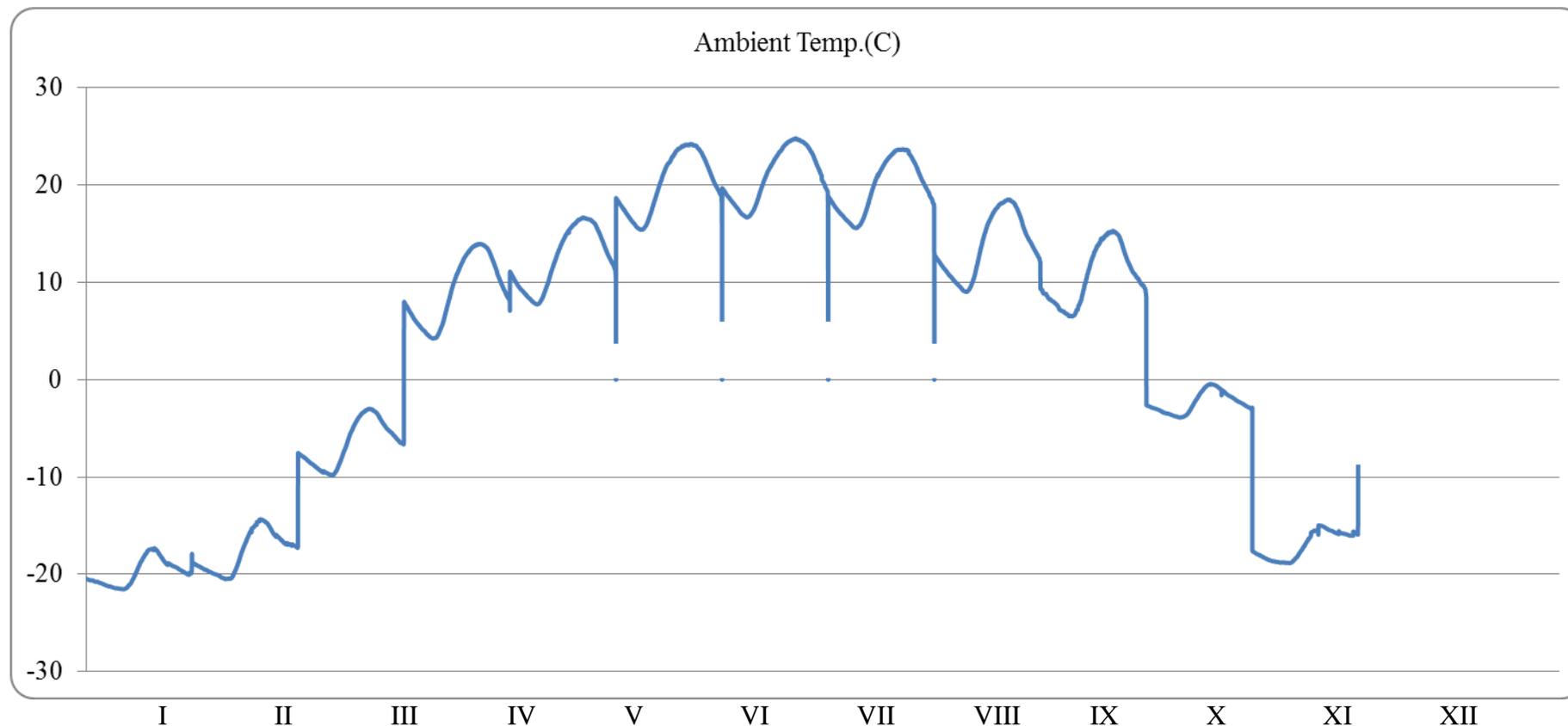
- выявлена необходимость для повышения энергетической эффективности указанных выше объектов применения методов, средств и систем, основанных на расширенном использовании источников возобновляемой энергии – солнечной, ветровой и пр.;

- выполненная оценка потенциала ВИЭ для регионов РК показала их техническую достаточность и коммерческую осуществимость, применительно к технологическим и административно-жилым объектам сельскохозяйственного назначения;

- на основе предложенных математических моделей и выполненных на их основе расчетов, были разработаны - для объектов сельского хозяйства с использованием ВИЭ: автономный источник электрической энергии на базе фотоэлектрической установки мощностью 5 кВт; система электроснабжения автономного объекта – светонепроницаемой теплицы; система электроснабжения объекта сельскохозяйственного назначения на базе комбинированной биогазовой установки; автономная энергоэффективная комбинированная электроустановка для увлажнения и прогрева почвы; система электроснабжения объекта сельхозназначения на базе установки из двойных солнечных панелей с зеркальными концентраторами и прямоточной системой охлаждения.

### ПРИЛОЖЕНИЕ А

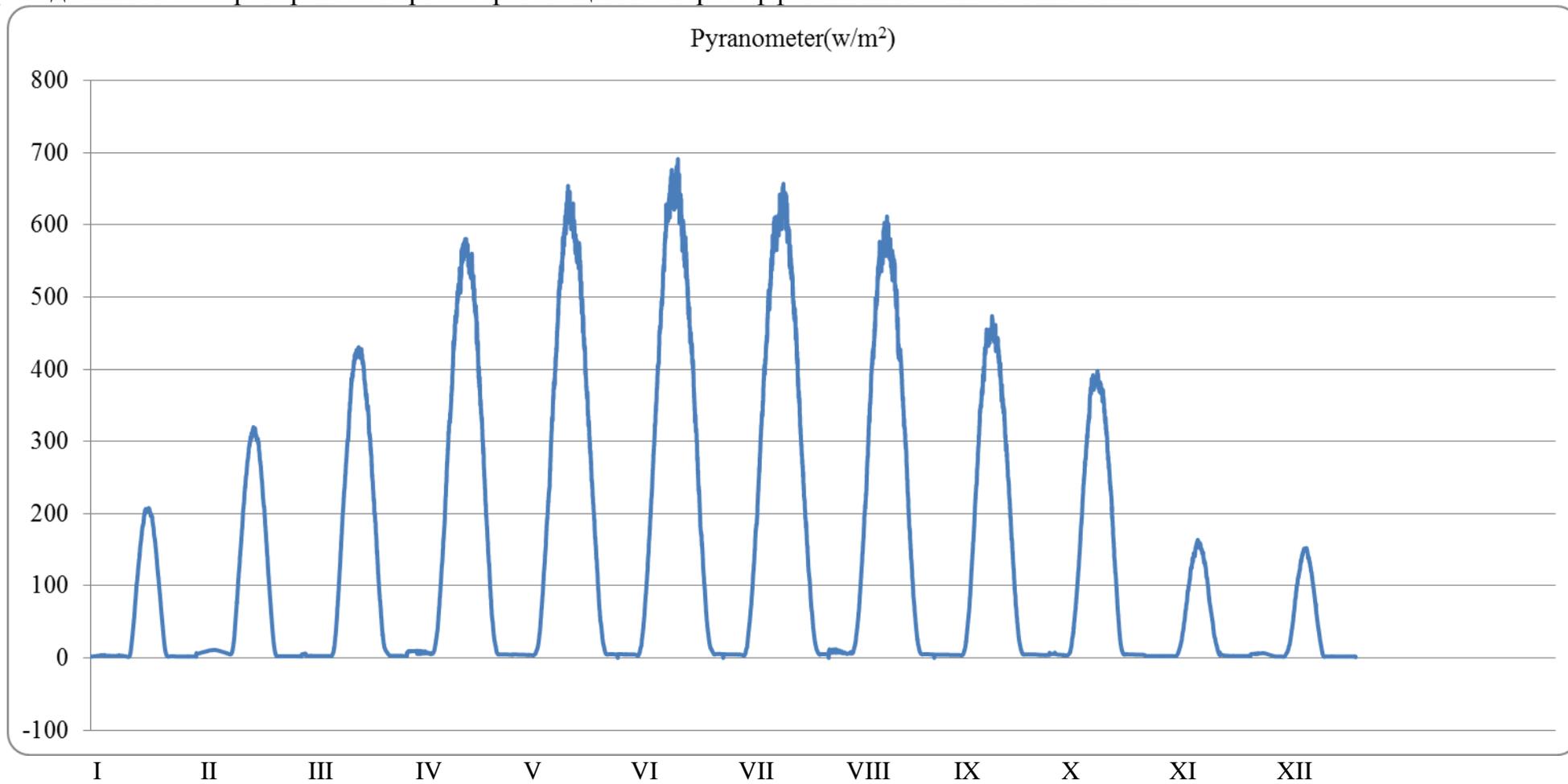
Годовой график изменения температуры в течении суток для города Павлодар. Данные наблюдений за период 2009-2012 г., проведенных в лаборатории «Энергосберегающих и энергоэффективных технологий» ИнЕУ.



### ПРИЛОЖЕНИЕ Б

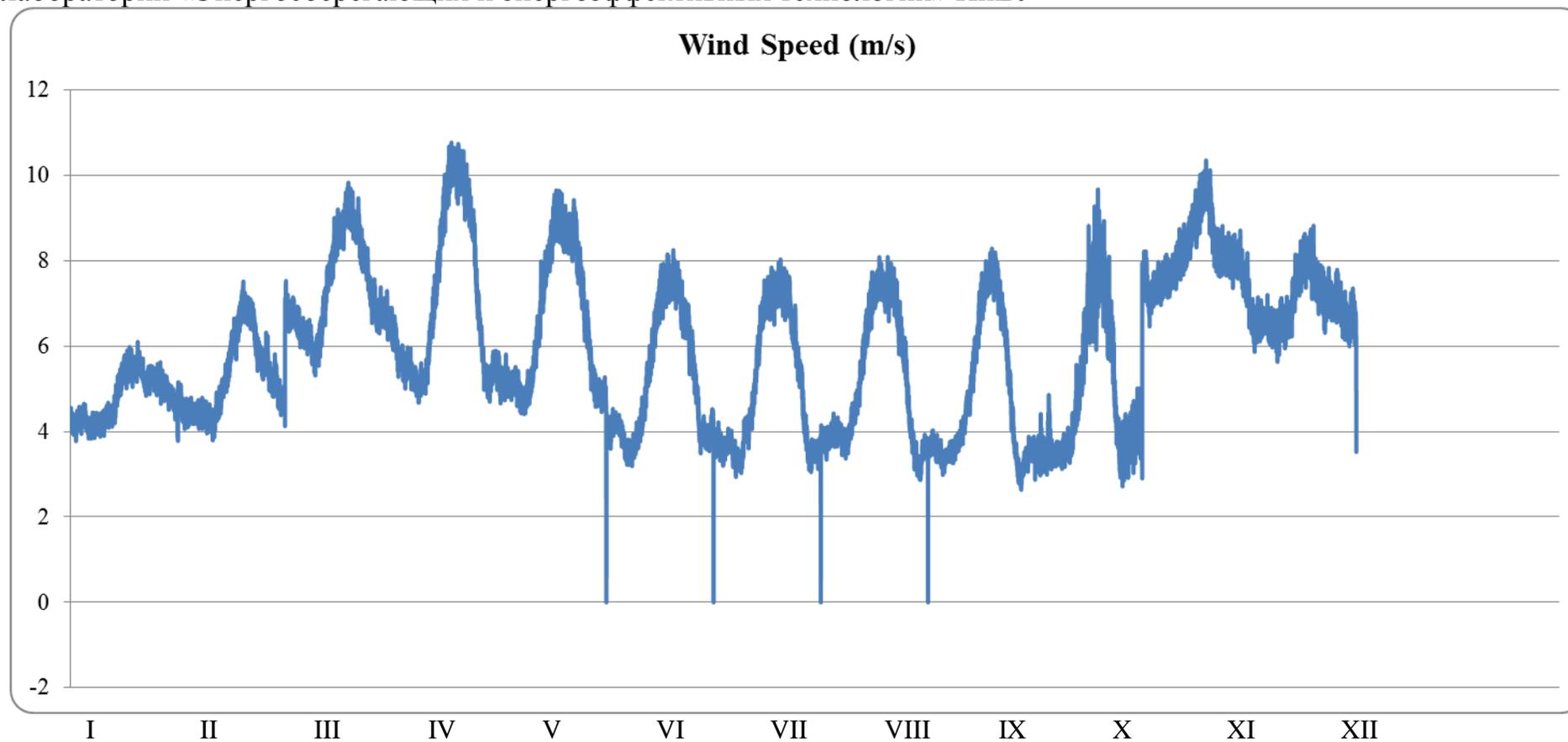
Годовой график изменения солнечного излучения в течении суток для города Павлодар. за период 2009-2012 г.,

проведенных в лаборатории «Энергосберегающих и энергоэффективных технологий» ИнЕУ



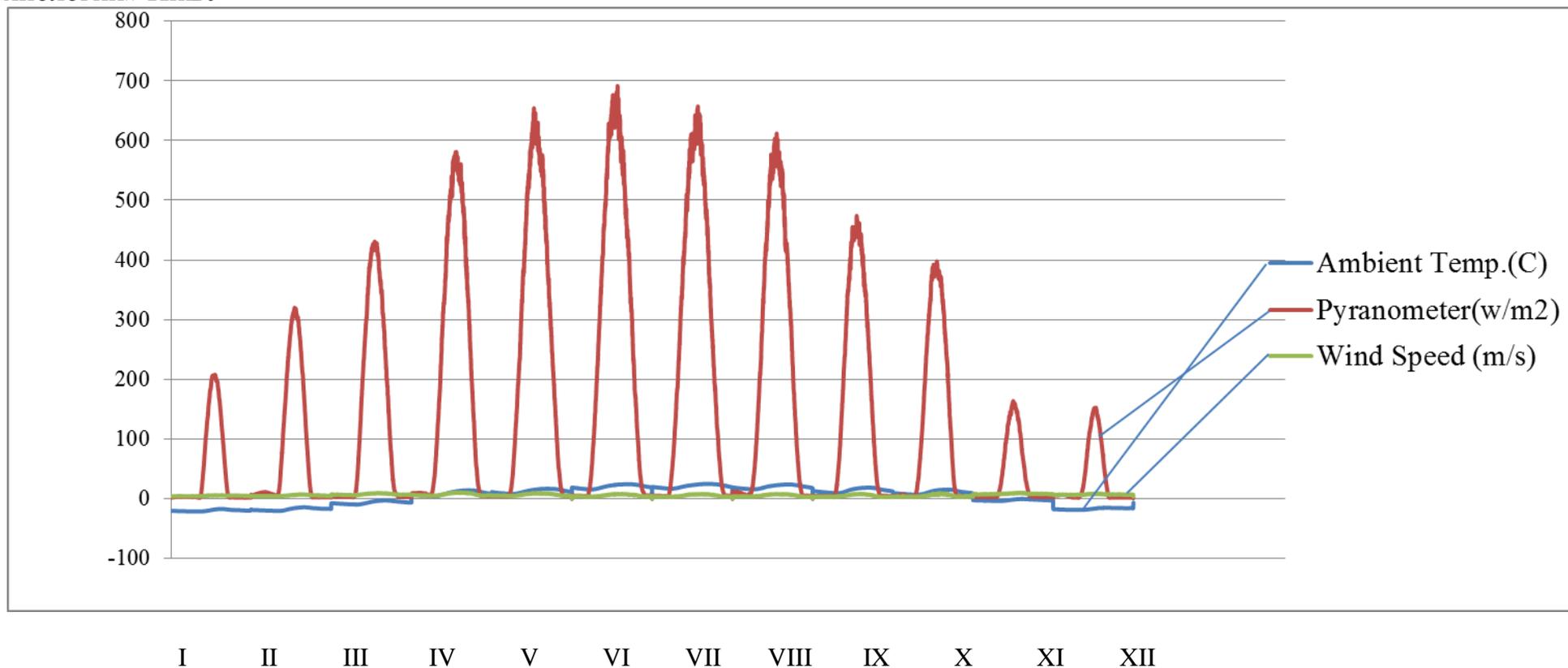
## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Годовой график изменения скорости ветра в течении суток для города Павлодар. за период 2009-2012 г., проведенных в лаборатории «Энергосберегающих и энергоэффективных технологий» ИНЕУ



## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Совмещенный годовой график изменения температуры, солнечного излучения и скорости ветра в течении суток для города Павлодар. за период 2009-2012 г., проведенных в лаборатории «Энергосберегающих и энергоэффективных технологий» ИнЕУ



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Брилевский М.Ю. и др. Экономия топливно-энергетических ресурсов в сельском хозяйстве.- Мн.: Урожай, 1982.- 120 с.
2. М. Б. Перова «Качество сельского электроснабжения: комплексный подход» «ИПЦ «Легия» г. Вологда.
3. Левин М.С. и др. Качество электроэнергии в сетях сельских районов/ Под ред. акад. ВАСХНИЛ И.А.Будзко.- М.: Энергия, 1975.- 224 с.
4. Красников В.И. Аварийные режимы сельских электрических сетей напряжением 0,38 кВ// В сб.: Повышение качества электрификации сельскохозяйственного производства и его электроснабжения. - Труды МИИСП, М., 1981, с.63-65.
5. Косоухов Ф.Д. Потери мощности и напряжения в сельских сетях 0,38 кВ при несимметричной нагрузке//Техника в сельском хозяйстве, 1988, №3, с.5-8.
6. Кузнецов В.Г., Николаенко В.Г. Оценка экономического ущерба от несимметрии и несинусоидальности напряжений в промышленных системах электроснабжения// Техническая электродинамика, 1980, №1
7. Игнашкин А.И., Короленок В.К., Перова М.Б. К вопросу повышения качества электроснабжения агропромышленных потребителей//Известия вузов «Энергетика».- 1992, №1
8. Компенсация реактивной мощности сельских потребителей Кировской области: Отчет о НИР/ Кировский политехнический ин-т: Руководитель Г.А.Андреев.- №ГР76066760; ИНВ№Б812076.- Киров, 1979
9. Лещинская, Т.Б. Электроснабжение сельского хозяйства [Текст] / Т.Б. Лещинская, И.В. Наумов. – М.: Колос, 2008. – 655 с.
10. Будзко, И.А. Электроснабжение сельскохозяйственных предприятий и населенных пунктов [Текст] / И.А. Будзко, М.С. Левин. – М.: Агропромиздат, 1985. – 320 с.
11. Железко, Ю.С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях [Текст] / Ю.С. Железко. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 176 с.
12. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий [Текст] / под общ. ред. А.А. Федорова, Г.В. Сербиновского.– Кн. 2. Технические сведения об оборудовании. – М.: Энергия,1973. – 528 с.
13. Справочник по проектированию электросетей в сельской местности [Текст] / Э.Я. Гричевский, П.А. Катков и др. – М.: Энергия, 1980. – 352 с.
14. Кравчик, А.З. Асинхронные электродвигатели серии 4А: Справочник [Текст] / А.З. Кравчик. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 504 с
15. Низамутдинов Р.Г. Эффективность электрификации сельского хозяйства и пути ее повышения: Автореферат дисс...канд. экон. наук: 08.00.05.- Казань, 1975.- 25 с.
16. Рубцов П.А. и др. Применение электрической энергии в сельском хозяйстве [Текст] М.: Колос 1981

17. <http://ru.wikipedia.>].
18. [http://ru.wikipedia.Реки\\_Казахстана](http://ru.wikipedia.Реки_Казахстана)
19. <http://www.atlas.windenergy.kz/>
20. <http://human-earth.narod.ru/wind.htm>
21. [http://www.200stran.ru/maps\\_group28\\_item2911.html](http://www.200stran.ru/maps_group28_item2911.html)
22. В.Д. Румянцев. "Приоритетные исследования и разработки в области фотоэлектрического преобразования солнечной энергии" e-mail: [ramyan@scell.ioffe.ru](mailto:ramyan@scell.ioffe.ru)
23. В.Д. Румянцев. "Приоритетные исследования и разработки в области фотоэлектрического преобразования солнечной энергии" e-mail: [ramyan@scell.ioffe.ru](mailto:ramyan@scell.ioffe.ru)
24. Проект Программы развития ООН и Правительства Казахстана «Казахстан -инициатива развития рынка ветроэнергетики»
25. [http://www.cleandex.ru/articles/2012/05/21/obzor\\_mirovogo\\_rynka\\_vetroe\\_nergetiki\\_za\\_2011\\_god](http://www.cleandex.ru/articles/2012/05/21/obzor_mirovogo_rynka_vetroe_nergetiki_za_2011_god)
26. [http://www.cleandex.ru/articles/2012/05/21/obzor\\_mirovogo\\_rynka\\_vetroe\\_nergetiki\\_za\\_2011\\_god](http://www.cleandex.ru/articles/2012/05/21/obzor_mirovogo_rynka_vetroe_nergetiki_za_2011_god)
27. <http://www.zakon.kz/150671-v-kazahstane-razrabotan-pervyj.html>
28. <http://www.enecsis.ru/>
29. <http://solnce-generator.ru/proizvoditeli-solnechnyx-batarej/>
30. <http://solnce-generator.ru/proizvoditeli-solnechnyx-batarej>
31. Источник: По материалам бизнес-издания «Эксперт» №5 (546), 5.02.2007г.  
[http://www.expert.ru/printissues/expert/2007/05/biomassa\\_poIzet\\_v\\_bak/](http://www.expert.ru/printissues/expert/2007/05/biomassa_poIzet_v_bak/)
32. В.Ю. Мельников, Д.В. Мосияш, А.С. Ермензин. Оценка ветрового потенциала в условиях города Павлодара. Павлодар: ИнЕУ, 2009 – Т.1 – 244 с.
33. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1990–по настоящее время.
34. В.Ю. Мельников, Д.В. Мосияш, Р.Ж. Альназаров, Е.В. Зигангирова. Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар, "Определение солнечного потенциала для северных регионов Казахстана"// Творчество молодых - инновационному развитию Казахстана: Материалы IX Респ. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, 22-24 апреля 2010 г. - Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2010 Г. с.31-32
35. М.В. Солонович, Д.В. Мосияш, Е.В. Зигангирова, Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар, "Возможности использования фотоэлектрических преобразователей в г.Павлодар"// Творчество молодых - инновационному развитию Казахстана: Материалы IX Респ. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, 22-24 апреля 2009 г. - Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2009. - 4.V. - 286 с. с. 68-69.
36. В.В. Кибартас, О.Г. Волошанин «Анализ существующего программного обеспечения и результатов использования данных программы-симулятора фотопреобразовательных систем PVSYST version 4.33 в условиях северного Казахстана» Материалы XXXVIII научно-практической конференции МАН РК «Интеграция образования и науки – шаг в будущее» посвященная 100-летию

академика Ш.Чокина, ИнЕУ, г. Павлодар, 2012 г.

37. Д.В. Мосияш, А.С. Ермензин, Р.Ж.Альназаров, «Гибридная система электроснабжения на основе возобновляемых источников», Второй республиканский конкурс проектов по энергосбережению и альтернативным источникам энергии среди учащихся, студентов, молодых специалистов и ученых», г. Алматы, 2010 г., 2 том, с.70-71

38. А.Х. Тлеуов, И.А. Пястолова, А.А. Тлеуова. Казахский государственный агротехнический университет, г. Астана, "Прогнозирование поступления солнечной радиации"// Вестник Челябинского государственного агроинженерного университета. Т. 47. с. 117-120. 2006 г.

39. Специализированная программа-симулятор фотопреобразовательных систем PVSYST, [www.pvsyst.com](http://www.pvsyst.com)

40. Г.Г. Волошанин, Д.В. Мосияш, О.Г. Волошанин, М.Г. Жумагулов «Перспектива использования комплекса солнечных энергетических систем на малых тепловых электрообъектах», Сборник материалов международного молодежного форума «Постиндустриальный мир: наука в диалоге Востока и Запада», Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова, Усть-Каменогорск, 2011 г., 285 с. с.28-31.

41. В.Ю. Мельников, Г.Г.Волошанин, Использование энергии солнца для повышения эффективности мини-ТЭЦ», Материалы международной конференции «Индустриально-инновационное развитие на современном этапе: состояние и перспективы», ИнЕУ, Павлодар, 2009 г.

42. Г.Г. Волошанин «Использование энергии солнца на малых тепловых энергообъектах», Материалы международной научной школы, Челябинск, ЮрГУ, 2010г.

43. Д.В. Мосияш «Моделирование фотопреобразовательной системы 1,55 кВт» Магистерская диссертация, ИнЕУ, Павлодар, 2010 г. 85 с.

44. Специализированные программные продукты Matchad 8 и Matlab 6.5 [www.matlab.exponenta.ru](http://www.matlab.exponenta.ru)

45. Chemical Journal, РосБизнесКонсалтинг «Рынок фтовольтаики – солнечные батареи», <http://research.rbc.ru>

46. V. M. Andreev, V. A. Grilikhes, V. D. Rummyantsev, Photovoltaic Conversion of Concentrated Sunlight (Published by John Wiley & Sons Ltd), 1997.

47. Б. Мукашев, академик, лауреат Государственной премии Республики Казахстан, [www.liter.kz](http://www.liter.kz)

48. Ж.И.Алферов, В.М.Андреев, В.Д.Румянцев «Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики», «Физика и техника полупроводников, том 38, вып. 8, 2004, стр. 937-948.

49. Вестник Союза инженеров-энергетиков РК "Энергетика", 2008, № 2(25), стр. 72, [www.kazenergy.kz](http://www.kazenergy.kz)

50. Журнал Sun & Wind Energy 2/2009

51. В.М.Андреев, В.А.Гриликес, В.Д.Румянцев «Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения (монография)», изд-во «Наука», 1989

52. Solar Energy Laboratory, Univ. of Wisconsin-Madison, [www.sel.me.wisc.edu/trnsys](http://www.sel.me.wisc.edu/trnsys)

53. В.М.Лантратов, Н.А.Калюжный, С.А.Минтаиров, Н.Х.Тимошина, М.З.Шварц, В.М.Андреев «Высокоэффективные двухпереходные GaInP/GaAs солнечные элементы, полученные методом МОС-гидридной эпитаксии», ФТП, том 41, вып. 6, 2007, стр. 751-755

54. The NASA Surface Meteorology and Solar Energy Data Set

55. Solar Energy Laboratory, Univ. of Wisconsin-Madison, [www.sel.me.wisc.edu/trnsys](http://www.sel.me.wisc.edu/trnsys)

56. TESS – Thermal Energy Sustersms Specialists, <http://tess-inc.com>

57. Шкаф автоматического ввода резерва (АВР), ООО «Электроцит» г. Москва.

58. В.А. Агеев. «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии», Кафедра теплоэнергетических систем, 2004 г.

59. Вестник ПГУ 1'2014 серия - энергетика УДК 621. 311. 25 В.П. Марковский, О.Г. Волошанин, А.Б. Кайдар «Перспектива совместного использования солнечных, ветроэнергетических, теплонасосных систем и биогазовых установок».

Волошанин Олег Геннадьевич

**Разработка мероприятий и комплексных решений по увеличению  
энергоэффективности объектов сельского хозяйства**

6M0718 – Электроэнергетика

Реферат  
диссертации на соискание академической  
степени магистра электроэнергетики

Республика Казахстан  
Павлодар, 2013

Работа выполнена в Инновационном Евразийском университете

Научный руководитель: \_\_\_\_\_ кандидат технических наук,  
профессор  
Мельников В.Ю.

Секретарь государственной  
аттестационной комиссии

\_\_\_\_\_

## Введение

Современные сельскохозяйственные предприятия потребляют большое количество энергии в её различных формах. Для многих технологических процессов объектов сельскохозяйственного назначения в структуре используемых энергоносителей доминирующую роль играет электрическая энергия, которая наряду с тепловой энергией является основой формирования энергобаланса предприятий животноводства, птицеводства растениеводства, объектов коммунально-бытового назначения и жилого сектора. Общая величина электропотребления складывается не только из расходов электроэнергии на основные и вспомогательные технологические процессы сельского хозяйства, но включает также расходы на освещение, отопление, вентиляцию, хозяйственно-бытовые нужды и потери при передаче и распределении энергии. Кроме того, системы электроснабжения сельскохозяйственных предприятий часто обеспечивают отпуск электроэнергии сторонним потребителям в районе своего размещения, например сопутствующим производствам и прилегающему жилому сектору. Таким образом, на базе сельскохозяйственных предприятий формируются крупные нагрузочные узлы, максимальная нагрузка которых может достигать нескольких мегаватт, а основным источником их электроснабжения, как правило, являются распределительные линии электропередач и подстанции электроэнергетических систем (ЭЭС) 35/10-6/0,4 кВ.

Системы электроснабжения представляют собой сложный комплекс сооружений и оборудования, требующий значительных затрат средств как капитальных, при их создании, так и текущих, при их эксплуатации и обслуживании. Таким образом, системы электроснабжения оказывают существенное влияние на экономику сельскохозяйственных предприятий, а их рациональное построение и эксплуатация, использование энергосберегающих технологий в целях повышения энергоэффективности и являются необходимым условием повышения конкурентоспособности производимой продукции, обеспечивающей продовольственную безопасность страны.

В этой связи работа является **актуальной**.

**Идея работы** заключается в анализе существующих и поиске новых, инновационных методик, способов, оборудования и технических и технологических решений, повышающих эффективность использования электрической энергии в объектах сельского хозяйства путем применения традиционных и возобновляемых источников энергии.

**Целью работы** является изучение возможностей повышения эффективности использования электрической энергии объектами сельского хозяйства и создания инновационных средств и технологий для их реализации.

**Научная новизна** работы заключается в обобщении и развитии научно-технических и научно-методических основ создания и применения комплексного подхода, учитывающего в решении задач повышения эффективности использования электрической энергии объектами сельского хозяйства на основе использования средств, методов, технологий и оборудования, использующих как традиционные средства повышения энергетической эффективности, так и ВИЭ.

В рамках поставленных в данной работе задач предложены следующие инновационные научные и практические разработки:

- обобщен и развит научно-технический, научно-технологический и научно-методический опыт в решении задач энергосбережения и повышения энергетической эффективности объектов сельского хозяйства.

- решены поставленные научные и практические задачи, а именно, разработаны научно-обоснованные и технические предложения по обеспечению эффективного использования электрической энергии объектов сельского хозяйства, в том числе и на основе применения ВИЭ.

**Практическая ценность работы** заключается в том, что внедрение результатов работы в эксплуатационную, проектную и исследовательскую практику обеспечивает повышение эффективности использования электрической энергии в объектах сельского хозяйства.

**Экспериментальные исследования** выполнялись с использованием аналитических и практических методов, научных и методических материалов, специализированных программных продуктов, приборов и технического оборудования научно-исследовательского института «Энергоресурсосберегающих технологий», учебно-исследовательской лаборатории «Возобновляемые источники энергии» Инновационного Евразийского университета.

**Методы исследования.** В процессе выполнения исследований применялись методы теории научного познания, научно-техническое обобщение литературных источников и интернет ресурсов, а также методы: теории электрических систем и сетей, теории моделирования; теории электрических машин и электромеханических систем; теории гидравлических и механических систем; теории оптимизации; экономико-математические методы; методы математического и компьютерного моделирования.

**На защиту выносятся:**

- научно-обоснованные предложения, обоснованные мероприятия и рекомендации по применению энергоэффективного оборудования и режимов в электрических сетях, подстанциях 35/10-6/0,4 кВ внегородского расположения;

- научно-обоснованные рекомендации по обеспечению эффективного использования электрической энергии в электроприемниках основного и

вспомогательного технологического оборудования сельскохозяйственного назначения 35/10-6/0,4 кВ; методы снижения потерь электрической энергии электроприемников электроосветительных систем технологического и бытового назначения, а также электроприемников жилых и административных зданий 0,4-0,23 кВ и даны рекомендации по обеспечению эффективного использования электрической энергии;

- научно-обоснованные рекомендации применения методов, средств и систем повышения эффективности использования электрической энергии, основанных на расширенном использовании источников возобновляемой энергии – солнечной, ветровой и пр.;

- научно-обоснованные рекомендации для объектов сельского хозяйства с использованием ВИЭ: автономный источник электрической энергии на базе фотоэлектрической установки мощностью 5 кВт; система электроснабжения автономного объекта – светонепроницаемой теплицы; система электроснабжения объекта сельхозназначения на базе комбинированной биогазовой установки; автономная энергоэффективная комбинированная электроустановка для увлажнения и прогрева почвы; система электроснабжения объекта сельхозназначения на базе установки из двоярных солнечных панелей с зеркальными концентраторами и прямооточной системой охлаждения.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на заседаниях: научного семинара кафедры «Электроэнергетика»; научно-технического совета НИИ «Энергоресурсосберегающих технологий»; исследовательской научной группы лаборатории «Возобновляемые источники энергии» Инновационного Евразийского университета; на XXXVIII научно-практической конференции МАН РК «Интеграция образования и науки – шаг в будущее» посвященная 100-летию академика Ш.Чокина, состоявшаяся 5-6 апреля 2012, в Инновационном Евразийском Университете, а также на Международном молодежном форуме «Постиндустриальный мир: наука в диалоге Востока и Запада» посвященная 20-летию Независимости Республики Казахстан и проведенной под эгидой Евразийской Ассоциации Университетов в Восточно-Казахстанском государственном университете им. С. Аманжолова, состоявшийся 23-24 июня 2011 года.

Основные положения диссертационной работы были представлены на Республиканском конкурсе идей «Инновационный Казахстан» под эгидой АО «Фонд национального благосостояния Самрук Казына», и в Инновационном конкурсе бизнес планов на тему «Энергоснабжение сельских хозяйств с использованием альтернативных источников энергии» организованного под эгидой NIF50\$, проходившем в г. Астане, бизнес центр «Корме», и в конкурсе инновационных проектов на тему «Применение возобновляемых источников энергии для инновационного эффективного энергообеспечения зданий» организованного Национальным Инновационным фондом, состоявшийся 27 июля 2011 года в г. Астана, а также в конкурсе проектов организованного МОН РК «Комитет науки» на

тему «Возобновляемые источники энергии для инновационного электрообеспечения объектов жилого фонда и административных зданий», состоявшийся 29 августа 2011 года в г. Астана, Дом Министерств.

**Настоящие исследования, изложенные в диссертационной работе, выполнялись в рамках:** плана научных исследований по Программе энергосбережения и повышения энергетической эффективности НИИ «Энергоресурсосберегающих технологий», а также в рамках плана НИР кафедры «Электроэнергетика» Инновационного Евразийского университета.

**Публикации.** Содержание работы изложено в двух научных трудах.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа структурирована в 4 главах, один параграф с итоговыми заключениями, список используемых источников и содержит 83 страницы, 12 таблиц, 35 рисунков, 58 библиографических источников и 4 приложения.

**В первой главе** были рассмотрены вопросы электроснабжения и электрификации типовых потребителей сельского хозяйства. Рассмотрены вопросы проблемы эффективного использования электрической энергии в системах электроснабжения сельскохозяйственных объектов, качества электроэнергии и экономичность передачи электроэнергии. Эффективность использования электрической энергии в электроснабжении современного сельского хозяйства в значительной степени зависит от надёжности электроснабжения, качества электроэнергии, снижения потерь в линиях электропередач и непроизводительного расхода электроэнергии потребителями, которые не могут быть достигнуты применяемыми технологиями и оборудованием и требуют комплекса мероприятий по обеспечению энергосбережения и эффективного использования электрической энергии.

**Во второй главе** приведены мероприятия по энергосбережению и повышению эффективности использования электрической энергии в объектах сельского хозяйства. Описаны методы снижения потерь электрической энергии в сетях 35/10-6/0,4 кВ, а также рекомендации по применению энергоэффективного оборудования и режимов в сетях 35/10-6/0,4 кВ сельскохозяйственного назначения. Проведен анализ энергосберегающих мероприятий в оборудовании и режимах подстанций 35/10-6/0,4 кВ, а также в электроприёмниках основного и вспомогательного технологического оборудования сельскохозяйственного назначения. Рассмотрены энергосберегающие мероприятия электроприёмников электроосветительных систем технологического и бытового назначения 0,4/0,23 кВ, а также энергосберегающие мероприятия электроприёмников жилых и административных зданий 0,4/0,23 кВ. Мероприятия по повышению эффективности использования электрической энергии потребуют применения возобновляемых источников, а также разработки новых устройств и систем на их основе.

**В третьей главе** представлены возобновляемые источники энергии в Республике Казахстан. Выявлены перспективы и потенциал использования

солнечной энергии в Республике Казахстан для электроснабжения сельских районов. Описана методика расчета солнечной радиации и методы количественной оценки приходящей солнечной радиации на наклонную приемную площадку. Рассмотрено применение системы PVSYS для компьютерного исследования и анализа солнечной активности на примере Северного Казахстана.

Проведено экспериментальное исследование ФЭП. Определена экспериментальная зависимость мощности ФЭП от солнечной интенсивности.

Проведен анализ математической модели СЭ, на модели адекватно описывающую процессы в СЭ [39]. Она позволяет оценить влияние на работу СЭ таких параметров, как уровень освещенности СЭ, температура окружающей среды, а также угол падения светового потока (Рисунок 19).

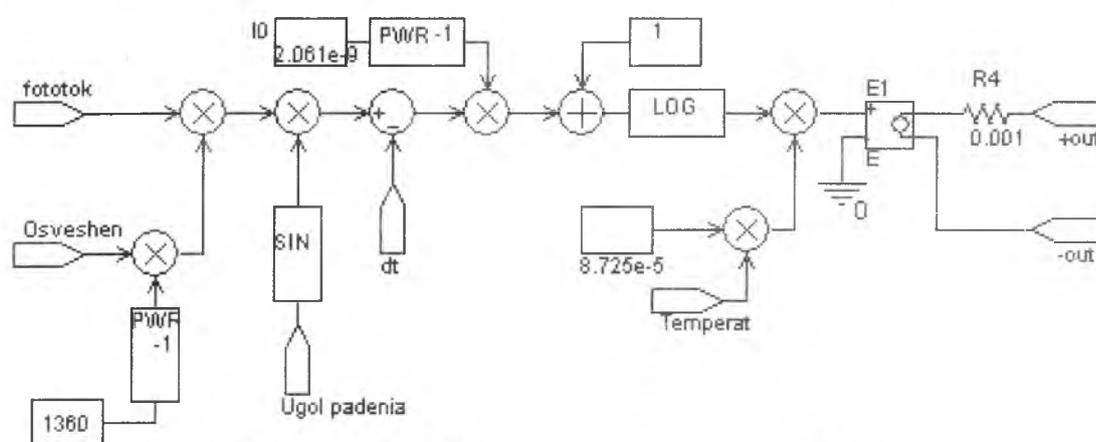


Рисунок 19 Математическая модель СЭ

#### Математическая модель СЭ состоит из блоков:

**fototok** – блок, в котором включены значения токов неосновных носителей, генерируемых светом (фототок), зависящий от уровня освещенности СЭ;

**Osveshen** – блок, который отражает значение уровня освещенности СЭ;

**1360** – блок, отражающий значение солнечной постоянной, с учетом сигнала с выхода блока PWF-1 на рассеянное солнечное излучение;

**Ugol padenia** – блок учитывающий угол падения светового потока ( $\alpha=90^\circ = \pi/2$  рад);

**I<sub>0</sub>** – блок, учитывающий ток обратного насыщения и зависящий от исходных параметров СЭ и сигнала с выхода блока PWF-1 на прямое солнечное излучение;

**LOG** – блок логарифмирующий значения тока СЭ с учетом всех зависимостей;

**Temperat** – блок, который отражает значение температуры СЭ ( $K=273+25=298$  °K), с учетом блока  $8,725 \cdot 10^{-5}$  (постоянная Больцмана);

**E<sub>1</sub>** – блок разности потенциалов;

**R<sub>4</sub>** – блок собственного сопротивления СЭ и зависящий от исходных параметров СЭ;

+out – блок выход положительного заряда;

-out – блок выход отрицательного заряда;

Произведено моделирование СБ с различным соединением СЭ, а именно три последовательно, два параллельно и шесть последовательно-параллельно.

Разработана модель расчета количества приходящей солнечной радиации на наклонную приемную площадку с применением пакета MATHCAD для моделирования солнечной радиации.

#### Исходные данные:

Восход Солнца в 5 ч 46 мин, заход — в 21 ч 07 мин; продолжительность светлого времени суток — 15 ч 21 мин; солнечную радиацию рассчитывают через каждый час с 6 ч до 21 ч;

$$S_0 = 1395 \text{ Вт/м}^2;$$

$$N = 121;$$

$$c = 0,43 \text{ для нормальной прозрачности атмосферы [ 26];}$$

$$\varphi = 52^\circ 3' \text{ северной широты или } 0,3134\pi \text{ рад для г. Павлодар;}$$

$\gamma = 0$  — плоскость ориентирована на юг (соответствует наибольшей продолжительности облучения плоскости);

$$a = 0,383 \text{ на суше на широте г. Павлодар;}$$

$$b = 0,38;$$

$$n = 0,7 \text{ при облачной погоде с прояснениями}$$

#### Порядок расчета

Находим значение склонения Солнца. Определяем высоту Солнца и угол падения прямого солнечного излучения на площадку при различных углах наклона плоскости к горизонту.

Находим плотность потока суммарной солнечной радиации, падающей на наклонную площадку в ясную погоду при различных углах наклона площадки к горизонту.

Выбираем оптимальный угол наклона плоскости к горизонту из условия максимального поступления солнечной радиации в ясную погоду.

Определяем поступление суммарной солнечной радиации на плоскость, наклоненную к горизонту под оптимальным углом в облачную погоду с прояснениями.

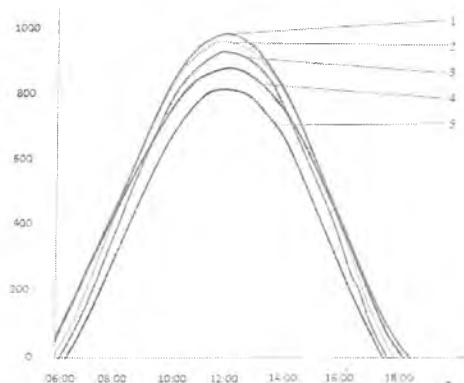


Рисунок 26 График поступления суммарной солнечной радиации на плоскость, наклоненную под разными углами 1 мая в ясный день:

- 1 — угол наклона к горизонту  $\pi/4$ ;
- 2 —  $\pi/6$ ;
- 3 —  $\pi/3$ ;
- 4 —  $\pi/12$ ;
- 5 —  $5\pi/12$

На Рисунок 26 представлен график поступления суммарной солнечной радиации на плоскость, наклоненную под разными углами к горизонту в ясный день 1 мая. Максимальное количество солнечной радиации поступает на плоскость, наклоненную к горизонту под углом, лежащим между  $\pi/12$  и  $\pi/3$  рад.

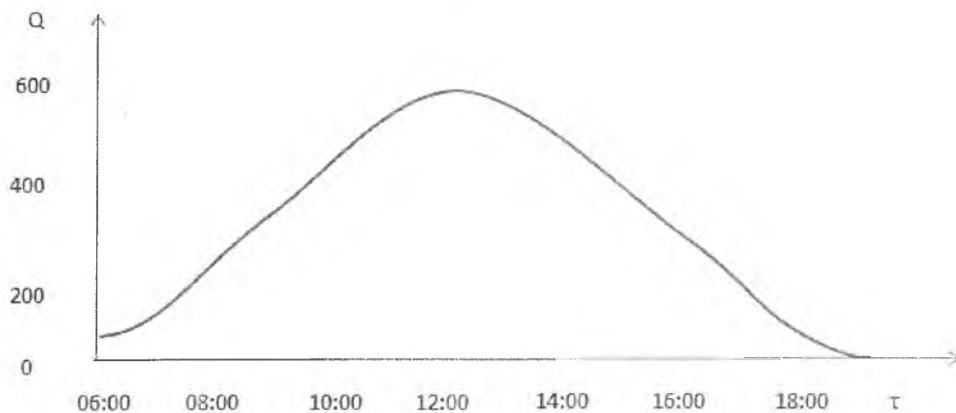


Рисунок 27 График поступления суммарной солнечной радиации на плоскость, наклоненную под углом  $\pi/6$  к горизонту 1 мая в облачный день с прояснениями

Для более точного определения оптимального угла наклона 1 мая необходимо найти суммарное количество энергии, поступившей на плоскость площадью  $1 \text{ м}^2$  в течение дня для  $s = \pi/12, \pi/6, \pi/4, \pi/3$ , а именно:

$$s = \frac{\pi}{12}, \int_{6\text{ч}}^{19\text{ч}} Q_{\text{накл}}(\tau) * d\tau = 1926 \text{ Дж/м}^2$$

$$s = \frac{\pi}{6}, \int_{6\text{ч}}^{19\text{ч}} Q_{\text{накл}}(\tau) * d\tau = 2029 \text{ Дж/м}^2$$

$$s = \frac{\pi}{4}, \int_{6\text{ч}}^{19\text{ч}} Q_{\text{накл}}(\tau) * d\tau = 2002 \text{ Дж/м}^2$$

$$s = \frac{\pi}{3}, \int_{6\text{ч}}^{19\text{ч}} Q_{\text{накл}}(\tau) * d\tau = 1848 \text{ Дж/м}^2$$

На Рисунке 27 приведен график поступления суммарной солнечной радиации 1 мая в облачный день с прояснениями на плоскость, наклоненную к горизонту под углом  $\pi/6$ .

Оценка потенциала ВИЭ дает основания для технического применения, обеспечивающего повышение энергетической эффективности объектов сельского хозяйства.

Предложенные математические модели и выполненные на их основе расчеты показали возможности ВИЭ для объектов сельского хозяйства РК.

**В четвертой главе** разработаны рекомендации по техническим и технологическим средствам реализации и эффективного использования электрической энергии объектами сельского хозяйства на основе ВЭИ, а именно:

### **1. Автономный источник электрической энергии на базе фотоэлектрической установки мощностью 5 кВт**

Для реализации эффективного использования электрической энергии разработан автономный источник - фотопреобразовательная система мощностью 5 кВт, предназначенная для обеспечения автономного электроснабжения потребителя. Основной целью является комплексное решение задач:

- Бесперебойной работе серверов и систем автоматики;
- Освещение территории;
- Аварийное питание

На южной стороне здания устанавливается 46 – модульная система площадью  $S_1 = 89 \text{ м}^2$  и  $S_2 = 67 \text{ м}^2$  с пиковой мощностью 5000 Вт.

В дневное время используется энергия системы ФЭП, а в ночное время используется энергия из АКБ Feon Silver 6ст-200, пусковой ток-1300А ). Линии Л1.4 и Л2.3 подсоединяются к 6 АКБ напряжением в 48 В и емкостью в 800А/ч.

Инвертор предназначен для преобразования постоянного напряжения в переменное синусоидальное напряжение с частотой 50 Гц и выходом 220В.

АВР позволяет переключить питание объекта при отсутствии солнечной энергии и полном разряде аккумуляторов на электросеть. Эта же схема может использоваться и наоборот – Солнечный фотомодуль, как резервный источник питания. В этом случае АВР переключает на аккумуляторные батареи модуля при потере питания от электросети.

Для обеспечения питания ответственных потребителей, а также освещения в ночное время части территории и подсветки фасада требуется мощность 5 кВт от сети переменного напряжения 220 В, промышленной частоты 50 Гц. Для обеспечения бесперебойного питания потребителей, согласно графика потребления в течении 5 часов ежедневно, предусматривается параллельное питание электропотребителей от сети и автономной фотопреобразовательной установки (Рисунок 28).

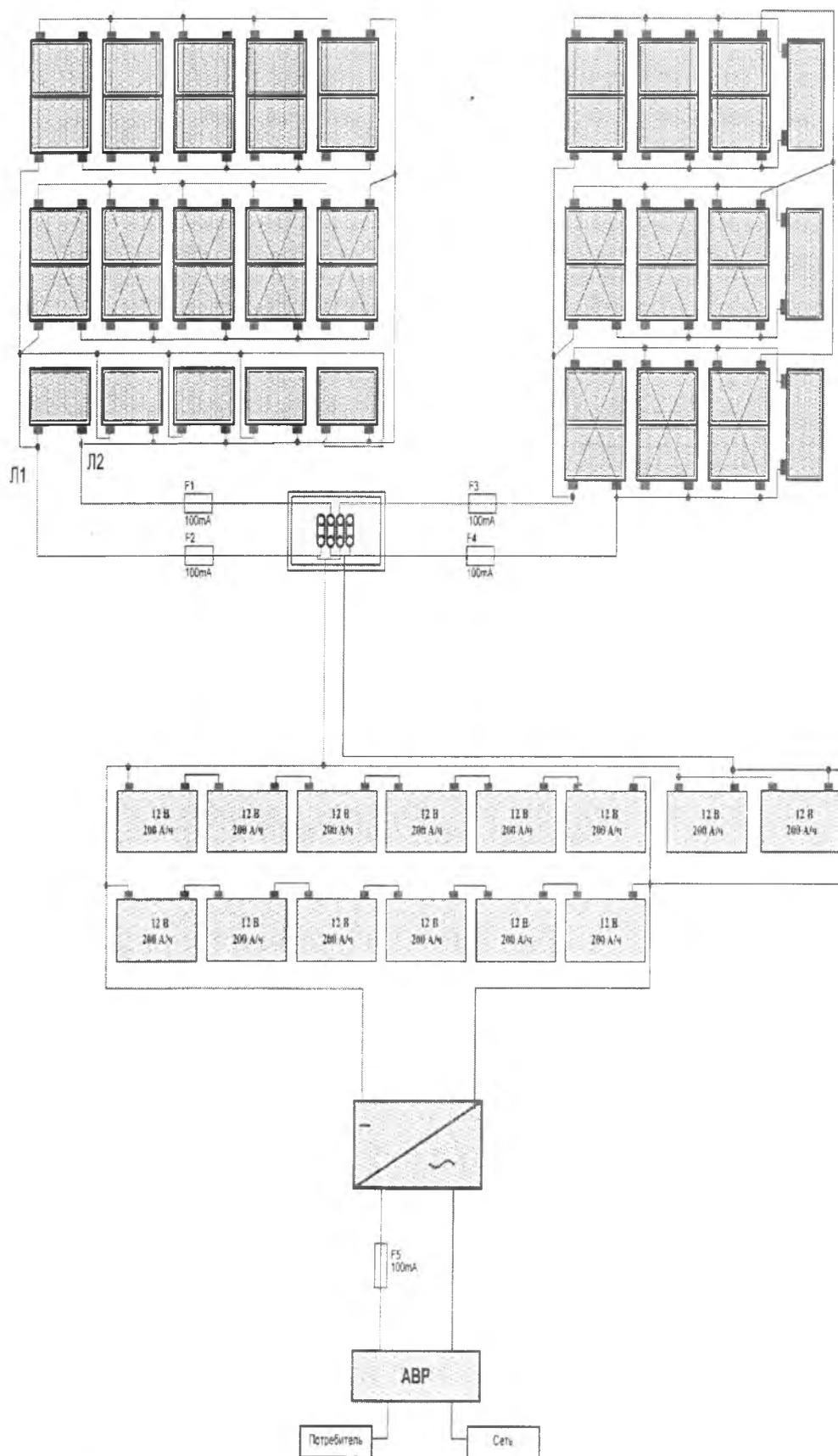


Рисунок 28 Схема фотопреобразовательной установки мощностью 5 кВт

## 2. Система электроснабжения автономного объекта – светопроницаемой теплицы

Разработана светопроницаемая теплица (Рисунок 30) с системой автономного электроснабжения, использующей энергию возобновляемых источников энергии, позволяющей получать до двух урожаев светокультур в течении года [16]. Работа предусматривает создание надежной системы электроснабжения для обеспечения бесперебойного энергоснабжения объектов по выращиванию овощной продукции в «закрытых грунтах» и использования гидропонных и аэропонных технологий, что повышает энергоэффективность, в объектах сельского хозяйства.

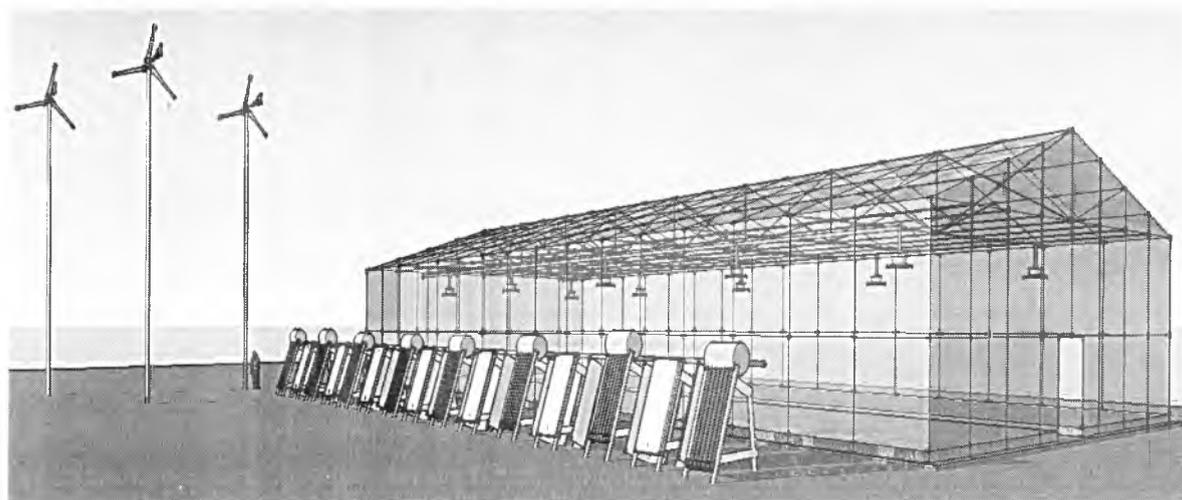


Рисунок 30 Внешний вид светопроницаемой теплицы

Энергия, вырабатываемая СП и ВЭУ по, схеме представленной на Рисунке 31, расходуется на досвечивание светокультур, систему кондиционирования, полива и питание устройств автоматизированного управления технологическими процессами.

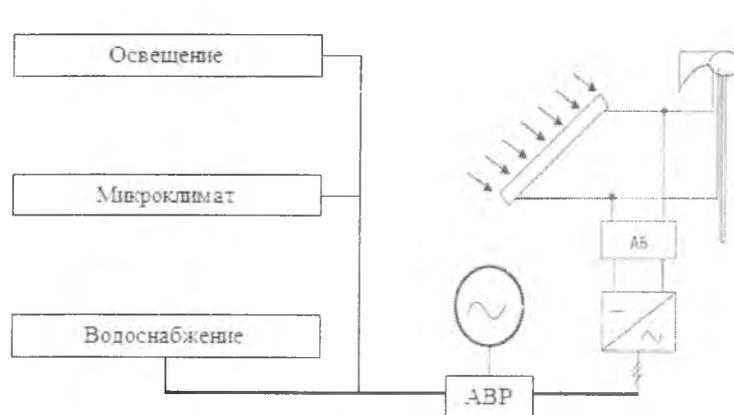


Рисунок 31 Структурная схема электроснабжения светопроницаемой теплицы

### 3. Система электроснабжения на базе комбинированной биогазовой установки для получения электрической энергии

Разработана комбинированная биогазовая установка (Рисунок 32) для получения электрической энергии, которую возможно рассматривать как комплексное решение проблемы повышения энергоэффективности объектов сельского хозяйства. Помимо биогаза, необходимого для получения электрической энергии, установка производит экологически чистое органическое удобрение натурального типа – биоудобрение, содержащее биологически активные вещества и микроэлементы, что повышает урожайность на 30...50%. Основным преимуществом биоудобрений по сравнению с традиционными удобрениями, является форма, доступность и сбалансированность всех элементов питания, высокий уровень гумификации органического вещества. Кроме этого утилизируются отходы и улучшается экологическая обстановка в сельскохозяйственных районах и производственных зонах.

За счет применения в качестве электропитания возобновляемых источников (солнечных модулей, коллекторов и ветрогенераторов) общий КПД всей автономной установки повышается на 20-25%.

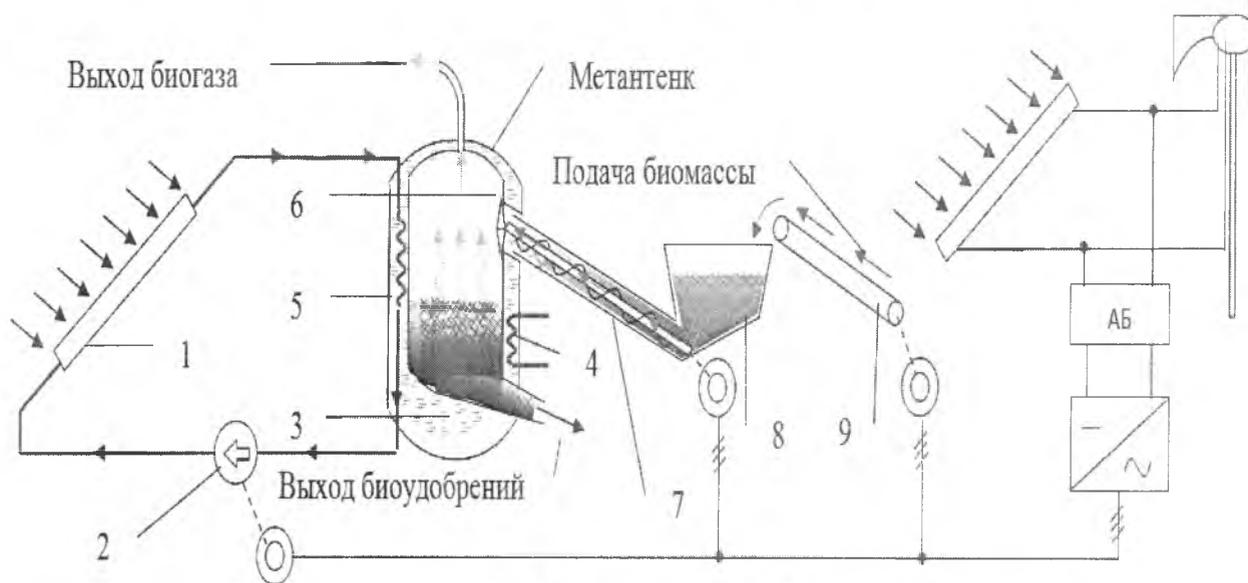


Рисунок 32 Автономная комбинированная биогазовая система электроснабжения

### 4. Автономная энергоэффективная комбинированная электроустановка для увлажнения и прогрева почвы открытых грунтов на основе ВИЭ

В последние годы во всём мире все большее распространение получает практика использования автономных систем электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии [38]. В соответствии с

данными, полученными в лаборатории возобновляемых источников энергии Инновационного Евразийского Университета [32], на территории Павлодарской области имеется достаточный потенциал солнечной и ветровой энергии объектов сельского хозяйства [33].

Предложено, совместное использование ветровой и солнечной энергии [34] в совокупности с применением технологии капельного орошения, которое может привести к снижению себестоимости продукции и снижению рисков, зависящих от погодных условий, перебоев подачи воды и электроэнергии, а также появляется возможность автоматизации процесса полива, возделываемой культуры и дополнительного прогрева почвы (Рисунок ).

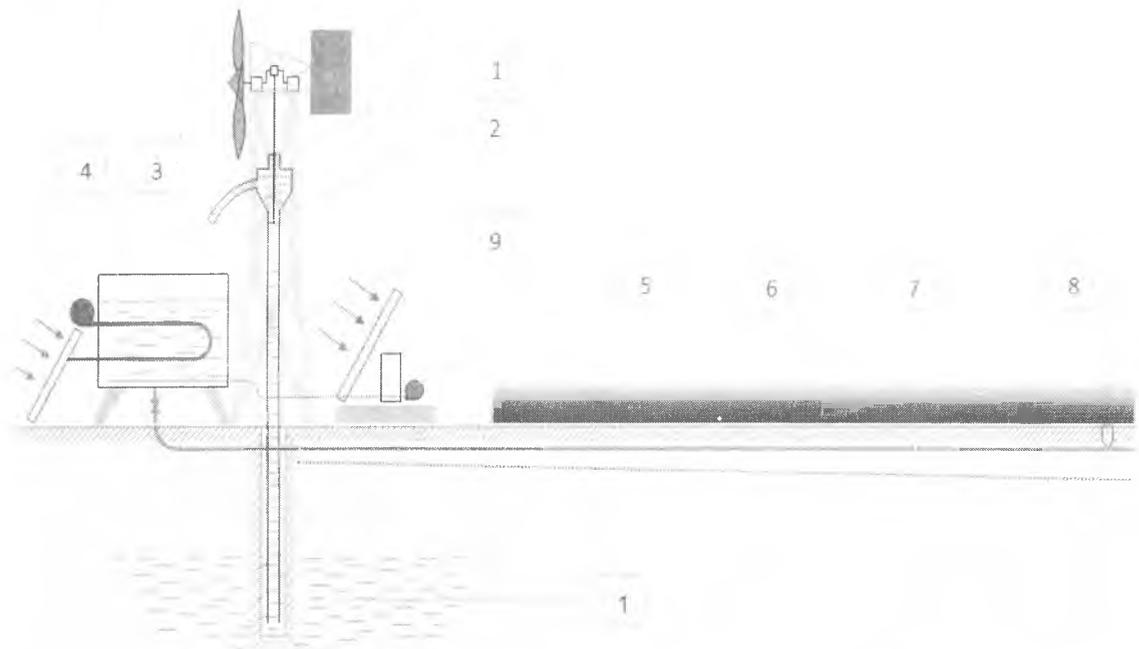


Рисунок 33 Структурная схема установки увлажнения и прогрева почвы

Разработанная установка (Рисунок 33) обеспечивает подачу грунтовой воды 1 для полива посредством поршневого насоса 2, использующего ветровую энергию, в бак – накопитель 3, где поступившая вода подогревается от солнечных коллекторов 4 и обогащается кислородом, подаваемым компрессором 5, использующего электрическую энергию, полученную от солнечных панелей. Далее по отводящей системе заглублённых труб 6, имеющих калиброванные отверстия подогретая и обогащённая вода поступает в изолированный перфорированной плёнкой 7 грунтовый поддон, поддерживая оптимальные параметры температуры и влажности, контролируемые системой и датчиками 8, которые управляют вентилем подачи питающей смеси 9 прогревающей и увлажняющей грунт возделываемого участка.

Наибольшая эффективность предлагаемой системы обеспечивается наличием крытой светопроницаемой конструкции. Работающий компрессор в случае приготовления питающих смесей выполняет роль активатора.

Датчики температуры и влажности автоматически управляют процессами прогрева и полива почвы с помощью микроконтроллеров. Бак – накопитель возможно так же использовать для приготовления питающих смесей для возделываемых культурных растений.

Таким образом, и в климатических условиях северного Казахстана становится возможным возделывание ранних сельскохозяйственных культур и получение до двух урожаев в год благодаря применению автономной установки увлажнения и прогрева почвы на возобновляемых источниках энергии.

Кроме того достигается экономия сетевой электроэнергии на прогрев, что является выгодной мерой повышения энергоэффективности в объектах сельского хозяйства.

## **5. Система электроснабжения объекта сельхоз назначения на базе установки из сдвоенных солнечных панелей с зеркальными концентраторами и прямоточной системой охлаждения**

Разработана специальная конструкция фотопреобразовательной установки. Крылья концентрирующей системы создают двустороннюю засветку приемного блока, в котором располагается ФЭП. Для увеличения эффективности использования светового потока поверх приемного блока устанавливается сдвоенный ФЭ модуль, этот модуль может быть применен для питания потребителей. Для электрического присоединения к приемному блоку служит коммутационный узел.

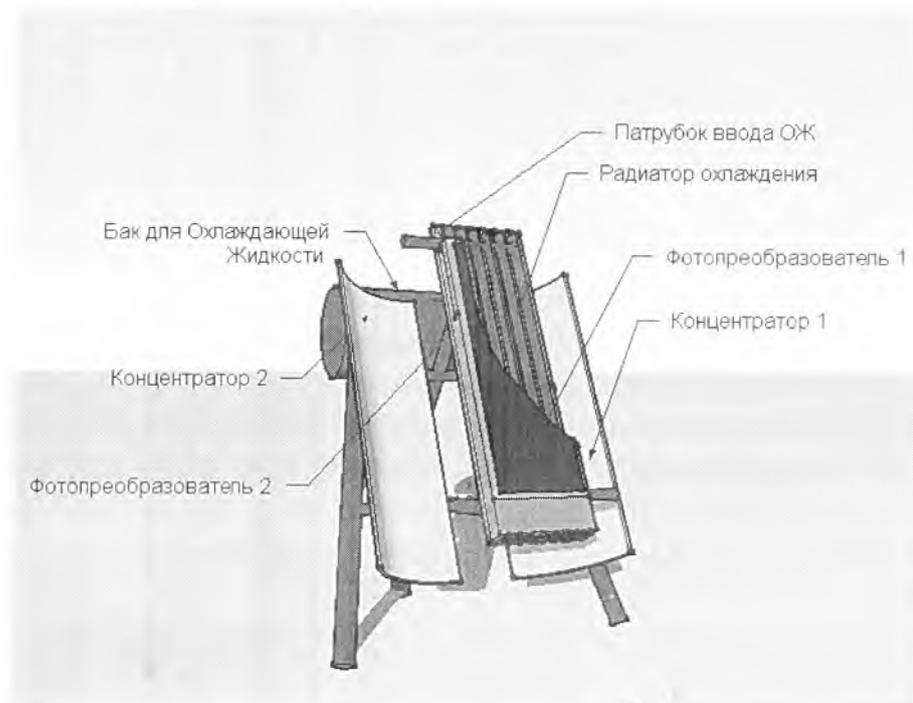


Рисунок 34 Установки из сдвоенных солнечных панелей с зеркальными концентраторами и прямоточной системой охлаждения

На Рисунке 34 представлена установка из сдвоенных солнечных панелей с зеркальными концентраторами и прямоточной системой охлаждения. Здесь солнечное излучение собирается зеркальным концентратором 1, состоящим, из выгнутых пластин, направляющих солнечное излучение с двух сторон на ФЭП с вертикальными р-п переходами [53] 1,2, представляющие собой фотоэлектрический приёмник. Концентратор 1 с ФЭП 2, с ФЭ модулем находящиеся на несущей конструкции. Блок накопления электрической энергии с согласующим зарядным устройством (не показано) аккумулирует генерируемую ФЭП электроэнергию с помощью аккумуляторов или преобразует ее в водород, получаемый электролизером путем гидролиза воды или топливным элементом. Распределительно-преобразовательное устройство выдает заданное постоянное или переменное напряжение в зависимости от нужд потребителя электроэнергии. Теплота, отбираемая теплоносителем радиатором охлаждения от задних стенок солнечных модулей непосредственно передается в солнечный коллектор (на схеме не указан), что позволяет одновременно увеличить КПД спаренного солнечного модуля и солнечного коллектора. Это является одним из средств повышения эффективности использования фото и гелио преобразовательных систем.

Предложенная геометрия концентрирующей поверхности, обеспечивающая двустороннюю засветку фотопреобразователя, повышает эффективность концентратора, в частности, при точности работы системы слежения за Солнцем  $0,4^\circ$  и допуске на отклонение нормалей к отражающей поверхности  $\pm 0,4^\circ$ , по сравнению с концентратором, обеспечивающим одностороннюю засветку с коэффициентом концентрации 40 крат, оптический КПД увеличивается с 65% до 81%.

Увеличение КПД спаренного солнечного модуля за счет прямоточной системы охлаждения и солнечного коллектора за счет отбора избыточного тепла от задней стенки солнечных панелей, повышает эффективность использования совмещённых фото-и гелио- преобразовательных систем.

## **6. Автономный источник электрической энергии на базе комбинированной электроснабжающей установки**

Разработано устройство автономной комбинированной электроснабжающей установки [40] (АКЭУ) структурная схема которой представлена на Рисунок .

Биогазовые установки для потребителей собственных нужд и поддержания основных технологических процессов потребляют от 15 до 20% вырабатываемой мощности. Использование энергии низко потенциального тепла [58], ветровой и солнечной энергии позволит минимизировать расход мощности станции. Структурная схема (АКЭУ) представлена на рисунке 35.

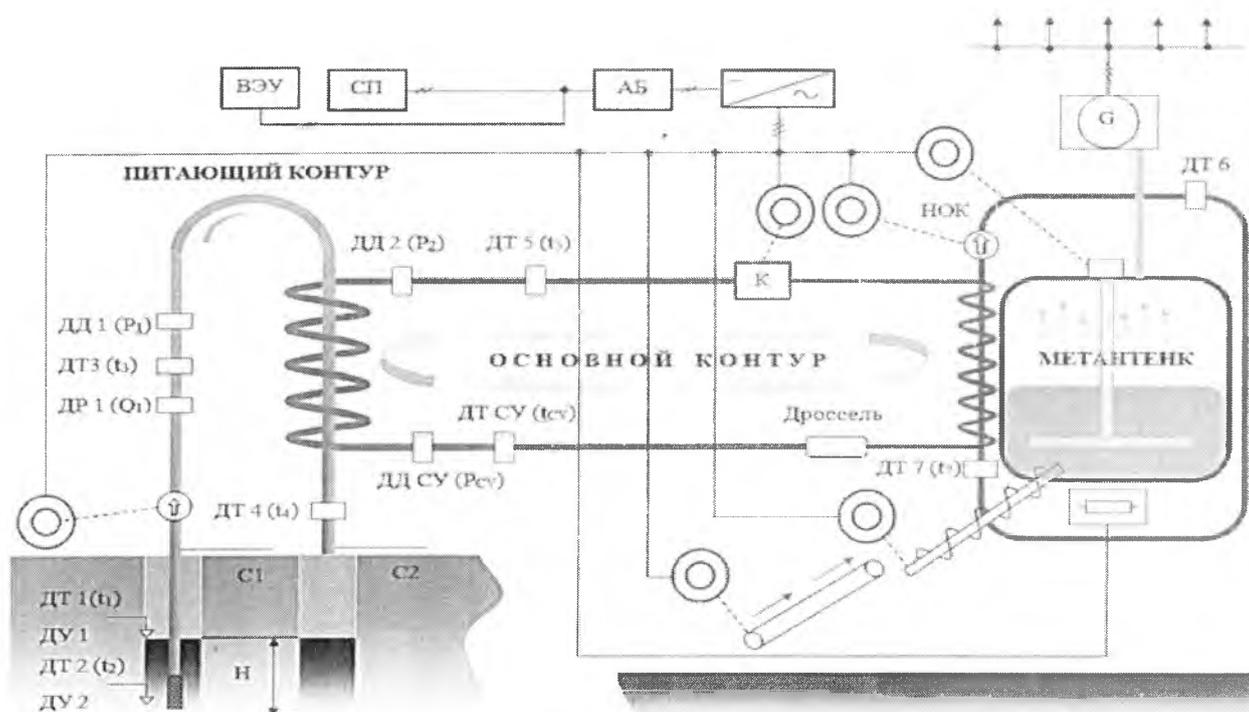


Рисунок 35 Схема АКЭУ

Постоянное напряжение  $U_d$  может быть получено от совмещенной фото преобразовательной установки и ветрогенераторной установки, рассчитываемой согласно известных методик, вырабатываемая ими электрическая энергия расходуется на питание технологических механизмов и прогрев контура метантека.

Благодаря применению автономной комбинированной электроснабжающей установки (АКЭУ) цена за 1 кВт\*ч составляет 1,98 тенге, что значительно более выгодно, по сравнению с традиционными источниками энергии. Электроснабжение от СП и ВЭУ, обеспечивает повышение производительности установки, по сравнению с аналогичными на 10-15%. Использование низкопотенциального тепла, для обеспечения технологических процессов, также даёт повышение энергоэффективности на 7-10%. Применение подобных установок позволит сократить вредные выбросы в атмосферу, получать биоудобрения и биогаз, а следовательно тепло и дешевую электроэнергию, в количестве достаточном для автономного электроснабжения небольшого населенного пункта. Таким образом решается проблема сокращения потерь электроэнергии в электроснабжении объектов сельского хозяйства.

Передоложенные устройства используют энергию возобновляемых источников энергии, что обеспечивает повышение энергетической эффективности объектов сельского хозяйства в целом.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе, на основе анализа международного опыта в области повышения энергетической эффективности:

1) Обобщен и развит научно-технический, научно-технологический и научно-методический опыт в решении задач энергосбережения и повышения энергетической эффективности объектов сельского хозяйства.

2) Решены поставленные научные и практические задачи, а именно, разработаны научно-обоснованные предложения по обеспечению эффективного использования электрической энергии объектов сельского хозяйства:

- обоснованы мероприятия и даны рекомендации по применению энергоэффективного оборудования и режимов в электрических сетях, подстанциях 35/10-6/0,4 кВ внегородского расположения;

- обоснованы методы снижения потерь электрической энергии и даны рекомендации по обеспечению эффективного использования электрической энергии в электроприемниках основного и вспомогательного технологического оборудования сельскохозяйственного назначения 35/10-6/0,4 кВ;

- обоснованы методы снижения потерь электрической энергии электроприемников электроосветительных систем технологического и бытового назначения, а также электроприемников жилых и административных зданий 0,4-0,23 кВ и даны рекомендации по обеспечению эффективного использования электрической энергии;

- выявлена необходимость для повышения энергетической эффективности указанных выше объектов применения методов, средств и систем, основанных на расширенном использовании источников возобновляемой энергии – солнечной, ветровой и пр.;

- выполненная оценка потенциала ВИЭ для регионов РК показала их техническую достаточность и коммерческую осуществимость, применительно к технологическим и административно-жилым объектам сельскохозяйственного назначения;

- на основе предложенных математических моделей и выполненных на их основе расчетов были разработаны для объектов сельского хозяйства с использованием ВИЭ: автономный источник электрической энергии на базе фотоэлектрической установки мощностью 5 кВт; система электроснабжения автономного объекта – светонепроницаемой теплицы; система электроснабжения объекта сельхозназначения на базе комбинированной биогазовой установки; автономная энергоэффективная комбинированная электроустановка для увлажнения и прогрева почвы; система электроснабжения объекта сельхозназначения на базе установки из двоярных солнечных панелей с зеркальными концентраторами и прямоточной системой охлаждения.