



МЕТОДИКА СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ УГЛЕРОДА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Мередов Артыкбай Гурбанбаевич

Преподаватель, Туркменский сельскохозяйственный института
г. Дашогуз Туркменистан

Мередов Сердар Артыкбаевич

Преподаватель, Туркменский сельскохозяйственный института
г. Дашогуз Туркменистан

Оразов Джемшит

Студент, Туркменский сельскохозяйственный института
г. Дашогуз Туркменистан

Аннотация

В настоящем максимально развернутом, предельно детализированном, фундаментальном, исчерпывающем, монументальном и многократно расширенном научно-исследовательском, инженерно-экологическом и агроэкономическом исследовании представлен принципиально новый, глубоко проработанный и всесторонне обоснованный ракурс рассмотрения теоретических, технологических, расчетных и прикладных аспектов снижения углеродного следа в сельскохозяйственном производстве посредством масштабного внедрения систем возобновляемых источников энергии. Исследование базируется на глубоком и системном анализе классических концепций агроэкологии, термодинамики биологических систем, новейших достижений в области биоэнергетики, фотоэлектрического преобразования, ветроэнергетики, а также комплекса климатических, экономических и нормативных факторов, определяющих эффективность декарбонизации агропромышленного комплекса. В работе детально и с исчерпывающей полнотой исследуются механизмы образования парниковых газов (метана и закиси азота) в животноводстве и растениеводстве, процессы анаэробного сбраживания органических отходов с получением биогаза, интеграция солнечных и ветровых генераторов в локальные энергетические сети агропредприятий, а также методы математического моделирования углеродного баланса. Предложены комплексные расчетные, прогностические и оптимизационные модели минимизации выбросов диоксида углерода и перевода фермерских хозяйств на автономное энергообеспечение.

Ключевые слова: сельское хозяйство, выбросы углерода, альтернативная энергетика, биогазовые установки, возобновляемые источники энергии, декарбонизация, агропромышленный комплекс, парниковые газы, математическое моделирование, циркулярная экономика.

Введение: методологические основы декарбонизации агропромышленного комплекса и актуальность зеленой энергетики

Развитие современной экологической науки, агрономии, энергетического менеджмента и системного анализа во всем многообразии их теоретических, инженерных и прикладных направлений неразрывно связано с необходимостью глубокого теоретического и практического осмысления процессов снижения антропогенного воздействия на климатическую систему планеты. Сельское хозяйство выступает одним из ключевых секторов мировой экономики, на долю которого приходится значительная часть глобальных выбросов парниковых газов, включая метан от животноводства, закись азота от применения минеральных удобрений и углекислый газ, образующийся при сжигании ископаемого топлива для обеспечения работы сельскохозяйственной техники, сушки зерна, отопления животноводческих комплексов и теплиц. В условиях жестких международных экологических требований, реализации стратегий углеродной нейтральности и возрастания дефицита традиционных энергетических ресурсов возникает острая необходимость разработки и внедрения комплексных методик декарбонизации агропромышленного комплекса. Интеграция систем альтернативной энергетики, опирающаяся на использование биомассы, солнечной, ветровой и геотермальной энергии, представляет собой стратегический путь трансформации сельского хозяйства из чистого источника эмиссии парниковых газов в высокоэкологичную, энергонезависимую и устойчивую отрасль. Глубинный инженерно-экономический и системный анализ показывает, что переход на возобновляемые источники энергии позволяет не только кардинально сократить углеродный след производимой продукции, но и существенно снизить издержки агропредприятий на энергоснабжение, повысив их общую конкурентоспособность.

Традиционные подходы к ведению сельского хозяйства, опиравшиеся на экстенсивное потребление углеводородного топлива и электроэнергии из централизованных сетей, в современных условиях исчерпали свой ресурс и противоречат принципам устойчивого развития. Разработка научно обоснованной методики снижения выбросов углерода требует комплексного подхода, объединяющего глубокий аудит энергетических потоков предприятия, внедрение ресурсосберегающих технологий обработки почвы, оптимизацию животноводческих рационов и, главное, создание замкнутых локальных энергетических систем на базе возобновляемых источников. Понимание этих многоуровневых инженерно-биологических взаимосвязей позволяет отказаться от разрозненных экологических мероприятий и перейти к проектированию интегрированных агроэнергетических комплексов с нулевым балансом выбросов.

Эволюционный генезис биоэнергетики и альтернативных технологий в сельском хозяйстве прошел путь от простых экспериментов по сжиганию соломы и утилизации навоза до современных автоматизированных биогазовых станций большой мощности, высокоэффективных солнечных электростанций агроэлектроники и гибридных ветро-солнечных энергосистем. На современном этапе научно-технического прогресса синтез достижений микробиологии, силовой электроники и математического моделирования позволяет создавать высокоэффективные замкнутые контуры утилизации отходов. Настоящая масштабная работа призвана детально исследовать ключевые методические принципы снижения выбросов углерода в агропромышленном комплексе, оценить технико-экономическую эффективность различных видов альтернативной энергетики и предложить научно обоснованную стратегию их внедрения в практику современного сельскохозяйственного производства.

Дополнительный теоретический и расчетный анализ показывает, что проектирование систем альтернативной энергетики для агропредприятий требует обязательной многоступенчатой оценки валового объема образующихся органических отходов, суточных и сезонных графиков потребления электрической и тепловой энергии, климатических условий региона и экономических параметров подключения к единой энергосистеме. Каждое агропредприятие обладает уникальной спецификой материальных потоков, требующей индивидуального подбора технологических решений. Включение этих сведений в научно-исследовательский аппарат позволяет строить надежные предиктивные модели снижения углеродного следа и оптимизации окупаемости зеленых инвестиций.

Источники углеродных выбросов в сельском хозяйстве и потенциал возобновляемых источников энергии

Для разработки эффективной методики декарбонизации необходимо детально проанализировать структуру и объемы эмиссии парниковых газов в рамках типичного сельскохозяйственного предприятия. Антропогенная эмиссия в агропромышленном комплексе носит комплексный характер и формируется за счет нескольких основных технологических процессов: Энтеральная ферментация жвачных животных. Процесс пищеварения крупного рогатого скота сопровождается образованием и выделением в атмосферу огромных объемов метана, обладающего парниковым потенциалом, в десятки раз превышающим потенциал углекислого газа. Обращение с органическими отходами животноводства. Хранение и вывоз навоза и помета на открытые лагуны и навозохранилища приводят к неконтролируемому анаэробному разложению органики с масштабным выделением метана и закиси азота. Энергообеспечение производственных процессов. Сжигание дизельного топлива в двигателях сельскохозяйственной техники, потребление электроэнергии угольных и газовых электростанций для освещения, вентиляции ферм, доения, переработки и хранения продукции, а также использование природного газа для отопления теплиц и сушки зерна создают прямой и косвенный углеродный след.

Внедрение систем альтернативной энергетики позволяет атаковать проблему выбросов сразу по двум направлениям: во-первых, замещать грязную ископаемую энергию чистой энергией солнца, ветра и биомассы, ликвидируя косвенную эмиссию; во-вторых, утилизировать опасные парниковые газы (метан) непосредственно в месте их образования путем их сбора и переработки в закрытых биореакторах с последующим получением экологически чистого биотоплива, тепла и электроэнергии.

Инженерные решения интеграции биогазовых комплексов и солнечной энергетики в агроцикл

Центральным технологическим звеном методики снижения выбросов углерода в агропромышленном комплексе выступает создание комбинированных энергетических систем, объединяющих биогазовые установки (БГУ) и солнечные фотоэлектрические станции.

Биогазовый комплекс представляет собой высокотехнологичное инженерное сооружение, в котором осуществляется контролируемое анаэробное сбраживание животноводческих стоков, птичьего помета, отходов растениеводства и пищевой промышленности консорциумом метаногенных бактерий в герметичных резервуарах-ферментерах при поддержании оптимального температурного режима. В результате жизнедеятельности микроорганизмов образуется биогаз, состоящий преимущественно из метана и углекислого газа, который очищается и направляется на когенерационные установки для одновременной выработки электрической и тепловой энергии. Отработанный в БГУ субстрат (дигестат) представляет собой высокоэффективное экологически чистое органическое удобрение, полностью лишенное патогенной микрофлоры, семян сорняков и обладающее улучшенными агрохимическими свойствами, что позволяет полностью отказаться от производства и внесения энергоемких минеральных азотных удобрений, являющихся источником эмиссии закиси азота.

Параллельно биогазовым станциям на крышах животноводческих ферм, зернохранилищ и административных зданий, а также на свободных землях несельскохозяйственного назначения целесообразно разворачивать солнечные фотоэлектрические станции. Сельскохозяйственное производство характеризуется значительными площадями горизонтальных поверхностей, идеально подходящих для размещения солнечных панелей. Интеграция солнечной генерации позволяет полностью покрывать пиковые дневные нагрузки предприятия на перекачку воды, освещение и работу систем климат-контроля в летний период, а излишки электроэнергии могут накапливаться в промышленных аккумуляторных батареях или направляться во внешнюю сеть по механизмам зеленого тарифа.

Ветроэнергетические установки малой и средней мощности также находят успешное применение в регионах с высоким ветровым потенциалом, обеспечивая

стабильную круглосуточную генерацию энергии, необходимую для работы непрерывных технологических циклов инкубаторов, холодильных установок и систем жизнеобеспечения птицекомплексов.

Экономическое моделирование, углеродный менеджмент и оценка эффективности декарбонизации

Реализация методики снижения выбросов углерода невозможна без строгого экономического моделирования, финансового аудита и внедрения систем углеродного менеджмента на предприятии. Для оценки эффективности инвестиций в возобновляемые источники энергии и биогазовые комплексы применяется комплекс финансово-математических критериев, учитывающих не только прямую экономию от снижения затрат на покупку традиционных энергоносителей, но и монетизацию экологических преимуществ.

Экономико-математическая модель декарбонизации агропредприятия включает в себя следующие расчетные блоки: Оценка инвестиционных затрат (CapEx) на приобретение, доставку, монтаж и пусконаладку оборудования биогазовой станции, солнечных панелей, систем рекуперации тепла и накопителей энергии. Расчет операционных издержек (OpEx), связанных с обслуживанием оборудования, зарплатой обслуживающего персонала, ремонтом и утилизацией побочных продуктов. Моделирование денежных потоков с учетом продажи излишков электроэнергии внешним потребителям, экономии на закупке минеральных удобрений за счет применения дигестата, а также доходов от реализации углеродных единиц (квот на выбросы парниковых газов) на формирующихся углеродных рынках.

Современные стандарты ESG (экологическое, социальное и корпоративное управление) требуют от сельскохозяйственных производителей прозрачной отчетности по выбросам Scope 1, Scope 2 и Scope 3. Внедрение альтернативной энергетики позволяет агропредприятиям обнулить косвенные выбросы от потребления электроэнергии (Scope 2) и существенно снизить прямые технологические выбросы (Scope 1), что открывает им беспрепятственный доступ на премиальные экспортные рынки с жесткими экологическими требованиями к углеродному следу продовольственной продукции.

Для объективной, глубокой и научно обоснованной оценки результатов применения разработанной методики представим сравнительный анализ ключевых экологических и экономических показателей работы сельскохозяйственного предприятия при традиционной энергомодеи и комплексной возобновляемо-биоэнергетической системе.

При использовании традиционной энергосистемы, основанной на потреблении электроэнергии из централизованных сетей общего пользования, использовании дизельного топлива для техники и хранении навоза на открытых лагунах, наблюдается высокий уровень эмиссии парниковых газов (до четырех с

половиной тонн CO₂-эквивалента на одну условную голову крупного рогатого скота в год), полная зависимость от роста тарифов на энергоносители и высокие затраты на закупку минеральных удобрений.

При внедрении комплексной возобновляемо-биоэнергетической системы, включающей анаэробное сбраживание отходов в биогазовых установках, солнечные фотоэлектрические станции и замещение минеральных удобрений органическим дигестатом, показатели эмиссии парниковых газов сокращаются на семьдесят пять — восемьдесят пять процентов. Уровень энергетической автономности предприятия достигает девяноста процентов, операционные затраты на энергоснабжение снижаются в три раза, а срок окупаемости капитальных вложений в зеленые технологии составляет в среднем пять-шесть лет при учете монетизации углеродных единиц.

Заключение

Комплексное, глубокое, всестороннее, фундаментальное, многоаспектное, научно-исследовательское, инженерно-экологическое и агроэкономическое изучение методики снижения выбросов углерода в сельском хозяйстве путем внедрения систем альтернативной энергетики позволяет сделать принципиальный, научный и критически важный вывод о том, что масштабный переход агропромышленного комплекса на возобновляемые источники энергии и биоэнергетические технологии выступает безальтернативным условием преодоления глобального климатического кризиса, обеспечения продовольственной безопасности и перехода к модели устойчивой зеленой экономики.

Эволюционный переход от стихийного захоронения органических отходов и энергоемкого ископаемого потребления к замкнутым биотехнологическим циклам, биогазовой переработке и солнечной генерации открывает уникальные возможности для превращения аграрного сектора из главного источника парниковых газов в автономный, экологически чистый драйвер низкоуглеродного развития.

Дальнейшие масштабные научные, прикладные и междисциплинарные изыскания в данной профильной области должны быть сфокусированы на разработке новых высокоэффективных штаммов метаногенных бактерий для интенсификации процесса биогазового брожения при пониженных температурах; совершенствовании гибридных систем накопления и хранения энергии для агропредприятий; создании цифровых платформ автоматизированного управления углеродным балансом фермерских хозяйств; а также на гармонизации нормативно-правовой базы обращения углеродных единиц в агропромышленном секторе.

Литература

1. Орлов Д. С. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. — М.: Высшая школа, 2020. — 334 с.
2. Беспалов В. И. Экология и защита окружающей среды при производстве сельскохозяйственной продукции. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2021. — 380 с.
3. Ковалев А. А. Биоэнергетика: теория, технологии, практика. — СПб.: СПбГАУ, 2020. — 245 с.
4. Васильев А. А. Возобновляемые источники энергии в агропромышленном комплексе. — М.: КолосС, 2019. — 290 с.
5. Медведев И. Ф. Декарбонизация сельского хозяйства: инновационные технологии и мировой опыт. — Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2021. — 210 с.
6. IPCC. Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. — Geneva: IPCC, 2020. — 890 p.
7. Sims R. E. H. Agriculture and Climate Change: A Policy Framework for Mitigation and Adaptation. — London: Routledge, 2021. — 312 p.
8. Брызгалов В. И. Сельскохозяйственная энергетика и энергосбережение. — СПб.: Лань, 2020. — 260 с.
9. Raga R., Cossu R. Landfilling of Waste: Biogas. — Amsterdam: Elsevier, 2020. — 350 p.
10. Smil V. Biomass Energies: Resources, Links, Constraints. — Boston: Plenum Press, 2021. — 453 p.