

Анаэробная переработка органических отходов (значительную долю которых составляют биополимеры) с получением биогаза, энергии, удобрений относится к ресурсо- и энергосберегающим технологиям. В настоящее время государство взяло курс на повышение энерго- и ресурсоэффективности экономики страны [1-3], в том числе, на сохранение природных ресурсов, на ликвидацию потерь энергоресурсов и повышение эффективности их использования. Энерго-, а вслед за ним и ресурсосбережение являются не только хозяйственно-экономической проблемой, но и в значительной степени экологической: для выработки электроэнергии, обеспечения горячим водоснабжением и обогрева зданий сжигается огромное количество топлива. Это приводит, кроме истощения одного из видов природных ресурсов, к колоссальным выбросам в атмосферу, к загрязнению почвы, поверхностных и подземных вод. Следовательно, одним из преимуществ повышения энергоэффективности является снижение уровня загрязнения окружающей среды. Экологические аспекты производства биогаза. Экологические преимущества производства и утилизации биогаза имеют как глобальный, так и локальный характер. К глобальным преимуществам относятся: сокращение потребления ископаемых видов топлива и тем самым продление срока их истощения; получение практически неиссякаемого источника энергии, так как биомасса (включая биоорганические отходы) постоянно возобновляется; отсутствие пополнения парниковых газов в атмосфере и тем самым защита климата. Метаногенез, как процесс биосинтеза метана, играет важную роль в круговороте углерода в природе. Вовлекая сознательно в этот процесс антропогенные органические отходы и утилизируя затем получаемый биогаз, мы снижаем нагрузку на окружающую среду как за счет ускорения разложения отходов и уменьшения их количества и объема, так и за счет снижения выбросов более сильного, чем двуокись углерода, парникового газа – метана. Если мы используем в качестве органической субстанции навоз, то мы вообще прекращаем эмиссию метана и закиси азота, которая является обязательным спутником хранения навоза на открытой поверхности (рис. 1). Кроме того, использование навоза для производства биогаза уменьшает выбросы углекислого газа, во-первых, из-за того, что большое количество углерода переходит в метан, и, во-вторых, благодаря замене ископаемых видов топлива. При перевозках переход транспортных средств с бензина и дизельного топлива на биогаз из навоза снижает выбросы CO₂ на 180 % на автомобиль [4] и дает экологический эффект от сокращения выбросов других загрязняющих веществ в густонаселенных регионах даже выше, чем при использовании биогаза для выработки электроэнергии. Для конкретных территорий основными экологическими преимуществами использования биогазовых технологий являются: уменьшение количества отходов и объемов их накопления и, соответственно, загрязнения окружающей среды; уменьшение местного загрязнения воздуха благодаря меньшему

количеству вредных выбросов по сравнению с ископаемым топливом; экологическая безопасность местности, расположенной в непосредственной близости от предприятий агропромышленного комплекса (АПК); сокращение содержания органических веществ в отходах и сточных водах; экологическая замкнутость производства; сокращение территорий, отводимых под хранение и захоронение отходов, а в сельской местности – более рациональное использование сельскохозяйственных угодий (только в Татарстане имеется 110 навозохранилищ общей вместимостью 2895,7 тыс. т/год [5]); повышение плодородия почвы или восстановление нарушенных земель за счет использования переброженного осадка (на территории РФ имеется 130 млн га нарушенных земель сельхозназначения [6], на территории РТ – 2,59 млн га [5]); сокращение сроков утилизации животноводческих отходов; решение ряда санитарно-гигиенических задач, таких как улучшение эпидемиологической обстановки в результате гибели патогенной микрофлоры, содержащейся в отходах, уменьшение неприятных запахов и т.п. Например, навоз, один из самых крупнотоннажных видов органических отходов, относится к категории нестабильных органических контаминантов и по данным Всемирной Организации Здравоохранения является фактором передачи более 100 видов различных возбудителей болезней животных и человека [6, 7]. Кроме того, навоз отличается высоким содержанием экологически опасных веществ: аммиака, сероводорода, меркаптана, фенола, солей тяжелых металлов и др. [8] и по уровню химического загрязнения окружающей среды в 10 раз более опасен в сравнении с твердыми бытовыми отходами [6]. На животноводческих комплексах навоза образуется так много, что он зачастую даже не используется в качестве удобрения, а накапливается на территории ферм [5]. При переработке навоза в биогаз и биогумус, помимо выхода товарной продукции происходит также и обеззараживание продукции, так как анаэробное сбраживание обеспечивает дегельминтизацию, потерю всхожести семян сорняков, подавление патогенных форм микроорганизмов, повышение удобрительной ценности обрабатываемого продукта и получение биогаза [9]. Гибель патогенов происходит не только из-за высокой температуры процесса брожения, но и из-за бактерицидного действия летучих жирных кислот, образующихся на этапе ацидогенеза [10]. При очистке сточных вод анаэробным методом образуется гораздо меньше осадка, так как метаногены, в отличие от аэробных микроорганизмов, растут очень медленно и накапливают мало биомассы, потому что реакции образования метана из водорода и углекислоты, хоть и экзотермические, но выход энергии мал [10]. При переработке 1 кг субстрата в аэробных условиях образуется 0,5 кг, а в анаэробных – 0,1 кг ила [11]. Аэробный избыточный активный ил – отход, требующий дальнейших утилизации и захоронения, а анаэробный активный ил – ценный товарный продукт. Конечным продуктом при производстве биогаза из отходов, как и при очистке сточных вод, также является переброженный остаток

– эффлюент, который, будучи эффективным источником питательных веществ для выращивания сельскохозяйственных культур, можно использовать в качестве удобрения [12], заменяя тем самым продукцию нефтехимической отрасли. Рис. 1 Распределение углерода из навоза животных при производстве биогаза и традиционных методах переработки навоза [132] Экономические аспекты производства биогаза В прогнозе British Petroleum (BP) отмечается [14], что темпы проникновения на энергетический рынок возобновляемых источников энергии, к числу которых относится и биомасса [15], можно сравнить с темпами, наблюдавшимися при зарождении ядерной энергетики в 1970-80-х годах, хотя рост возобновляемой энергетики в Евросоюзе сейчас и замедляется из-за необходимости значительных субсидий в эту отрасль. Для ликвидации данной проблемы требуется быстрое снижение себестоимости альтернативных источников энергии. Сегодня удельные затраты производства электроэнергии из биогаза в 4-5 раз выше, чем из природного газа [4], и составляют 85-210 \$/МВт*ч [16]. Но на биогазовых установках сравнительно малый срок окупаемости. Экономические факторы оказывают как стимулирующее, так и сдерживающее воздействие на возможность применения биогазовых технологий в стране. Причем эти факторы могут быть государственного, регионального или местного масштаба. При переработке отходов на биогазовых установках (БГУ) мы получаем, как уже отмечалось выше, несколько видов товарной продукции: биогаз, который может использоваться либо как топливо при непосредственном сжигании вместо обычного природного газа, либо для выработки электрической и тепловой энергии. Биогаз можно накапливать, сжимать, перекачивать, применять после дополнительной очистки: от H_2S – для получения электроэнергии, от CO_2 – для заправки автотранспорта. Эффективное производство биогаза возможно только в том случае, когда суммарная энергия газа будет значительно выше расходов энергии на его производство; электроэнергию; тепловую энергию – либо при прямом сжигании, либо, без дополнительного сжигания газа, от охлаждения электрогенератора в когенерационной установке; биоудобрения. Остаток после анаэробного сбраживания – это экологически чистые жидкие и твердые удобрения, агрономически высокоэффективные, повышающие урожайность на 40-50 %; углекислый газ, выделенный из биогаза при его очистке, можно использовать либо для производства углекислоты, либо для питания растений в теплицах. Там, где используются квоты на выбросы парниковых газов, эффект уменьшения эмиссии CO_2 в атмосферу делает проекты рационального использования органических отходов, в частности, навоза скота, наиболее экономически целесообразными. Исследователи из Орхусского университета (Дания) рассчитали рыночную цену для уменьшения выброса CO_2 в атмосферу, что составило 10-12 Евро на тонну CO_2 [17]. К прямым экономическим выгодам анаэробного сбраживания органических отходов для непосредственных

производителей относится: сокращение расходов на приобретение энергии, энергоносителей, удобрений, гербицидов и управление отходами (сбор, транспортировку, обеззараживание, размещение и захоронение [18-20]), что, в свою очередь, зависит от объема и КПД установки; отсутствие уплаты тарифа за подключение дополнительной электрической мощности, который может достигать, в зависимости от подключаемой мощности, расстояния от точки присоединения и условий подключения, нескольких десятков-сотен тысяч рублей; сокращения платежей за загрязнение окружающей среды; извлечение дохода от продажи излишков продукции БГУ (биогаза, энергии, пара, удобрений); получение дополнительной прибыли от утилизации чужих отходов. К положительным экономическим аспектам биогазовых технологий можно также отнести: самообеспечение топливом и энергией; дешевое (почти бесплатное) и в достаточном количестве исходное сырье (отходы); снижение потребности в покупных топливно-энергетических ресурсах (ТЭР); снижение транспортных расходов на доставку топлива; отсутствие перебоев с поставками топлива и энергии; отсутствие сложных коммуникаций с необходимым им техническим обслуживанием; энергонезависимость; постоянный, причем низкий тариф на энергию (только эксплуатационные затраты); интенсификация производства; возможность применения, в зависимости от объема исходной биомассы, как малых, так и высокопроизводительных БГУ и энергоустановок на их основе; возможность различной компоновки БГУ, их модульность и, благодаря этому, возможность наращивания производственных мощностей при изменении количества образующихся отходов; малозатратная организация и управление подачей отходов в БГУ; быстрая окупаемость установки; сокращение расходов хозяйства на очистку и утилизацию отходов; снижение себестоимости иной выпускаемой продукции; повышение урожайности сельскохозяйственных культур за счет применения биоудобрений; эффективное использование территорий (сельскохозяйственных и городских). Минусами биогазовой технологии для хозяйства являются достаточно высокие капитальные, но единовременные вложения. Уровень этих вложений зависит от мощности установки, оснащения современными средствами автоматизации и контроля и производителя конкретных устройств. Высокая стоимость специального оборудования вызвана еще и тем, что в отсутствие достаточного спроса оно производится в небольших количествах. Сама установка наиболее рентабельна при эксплуатации ее в хозяйстве в качестве дополнительного оборудования. Капитальные затраты окажутся выше, чем в других странах из-за более холодного российского климата и связанной с этим необходимости повышенной теплоизоляции, влекущей большую материалоемкость оборудования. Также, часть производимой энергии будет расходоваться на собственные производственные нужды установок – на перемешивание и поддержание температуры [12], причем, во-первых, неравномерно в течение года и, во-вторых,

чем холоднее климат, тем больше эта часть: на отопление метантенка и подогрев поступающей массы до мезофильной температуры зимой в условиях средней полосы России (к которой относится Татарстан) затрачивается 70 % получаемого биогаза [9]. Для сравнения: в Дании, где среднемесячная температура воздуха более высокая, этот показатель составляет 15 (для мезофильного) – 25 % (для термофильного сбраживания) [17]. Такое повышенное потребление энергии на собственные нужды, в свою очередь, уменьшит долю получаемой прибыли от продажи энергии. Кроме того, если собственных отходов не хватает и субстратом для БГУ служат отходы нескольких хозяйств, то, во-первых, необходимы система сбора и гарантированных (постоянных) поставок этих ресурсов и, во-вторых, для сбора и доставки сырья в одно место потребуются дополнительные транспортные расходы. Эти расходы зависят, с одной стороны, от расстояния и логистических возможностей, а с другой, – от энергетической ценности субстрата. Но эти расходы могут нивелироваться эффектом масштаба от централизации переработки отходов. Повсеместному развитию технологии анаэробной утилизации отходов мешают низкая платежеспособность населения и организаций, отсутствие современной системы управления отходами и государственной поддержки. При рыночной экономике впереди идут рыночные механизмы и приоритетным для всех хозяйствующих субъектов является извлечение прибыли, причем, желательно, максимальной [21]. Поэтому, пока получение и утилизация биогаза требуют существенно больших совокупных затрат, чем применение нефти и газа, объем использования биогаза будет небольшим и без протекционистской политики правительства и региональных властей не обойтись. Ориентироваться здесь нужно не только на стоимостную конкурентоспособность определенного энергоносителя, но и на экологический эффект от его применения, что рассматривалось выше.

Сдерживанию государственной поддержки может способствовать, помимо доступности ископаемых видов топлива, недополучение прибыли от их реализации на внутреннем рынке. Кроме того, при стимулировании хозяйствующих субъектов данной области биоэнергетики к прямым государственным затратам будут относиться: необходимость субсидирования установок на частичное покрытие затрат по внедрению технологий и ссуд со сниженными процентными ставками; установление налоговых льгот; необходимость ввода «зеленых» (повышенных закупочных) тарифов на электроэнергию, полученную по экологически чистым технологиям. Но при реализации энергосберегающей политики, базирующейся на биогазовых технологиях, государство получит следующие экономические преимущества: выравнивание энергоснабжения участков с различной плотностью населения; сокращение транспортных перевозок (при доставке энергоносителей к конечным потребителям) и расходов на доставку топлива в труднодоступные регионы; появление дополнительных источников топлива, конкурирующего с

другими видами топлива, и энергии; появление автономных энергоисточников; возможность размещения в любом регионе страны; сокращение дефицита мощности и энергии в дефицитных энергосистемах за счет крупных объектов биоэнергетики; уменьшение затрат на сооружение энергопроводящих путей, передающих и распределительных мощностей и на покрытие всей территории страны дорогостоящими газо- и электрораспределительными сетями с сопутствующей им сложной инфраструктурой; возможность замены устаревших региональных котельных; улучшение безопасности энергетической системы – большое количество децентрализованных (независимых) энергоустановок обеспечивают невозможность их одновременного выхода из строя и связанных с этим перебоев с поставками энергии на значительных территориях. Малые БЭУ (биоэнергетические установки), по сравнению с большими энергетическими установками, равномерно распределены географически, более ремонтпригодны, имеют меньшее время простоя; уменьшение потерь в энергетической системе за счет непосредственной близости БГУ как к источнику сырья, так и к потребителю энергии; более полное удовлетворение потребностей сельского хозяйства в органических удобрениях; увеличение урожайности в растениеводстве благодаря применению удобрений и отсюда повышение сельскохозяйственной производительности; удешевление сельскохозяйственной продукции (за счет уменьшения энергетической составляющей) и связанное с этим повышение ее конкурентоспособности; минимизация затрат на оздоровление окружающей среды и решение санитарно-гигиенических задач благодаря тому, что сами биогазовые технологии выполняют эти функции; уменьшение расходов на здравоохранение вследствие улучшения санитарно-гигиенических условий жизни населения; ускоренное развитие российского сельского хозяйства и АПК и появление новых предприятий; увеличение доходов в государственный (федеральный и местный) бюджет благодаря созданию новых предприятий; развитие смежных отраслей; развитие наукоемких технологий и оборудования; расширение рынка изделий машиностроения; создание новых рабочих мест. Таким образом, развитие биогазовых технологий будет способствовать реализации курса страны на энерго- и ресурсосбережение. Социальные аспекты производства биогаза

Несмотря на приведенные выше экологические и экономические преимущества биогазовых технологий, для страны в целом получение энергии таким способом экономически незначительно и даже требует определенных затрат. Но у данной проблемы есть еще один аспект – социальный, связанный с интересами населения. При производстве биогаза и его дальнейшем использовании удовлетворяется не просто растущий спрос населения на дополнительные источники энергии, но иногда и сама потребность в отсутствующих на определенных территориях топливе и энергии. Биогазовые технологии способны улучшить благополучие и качество жизни людей в отдаленных районах,

сельской местности, а это более 10 млн человек, благодаря местному бесперебойному, дешевому электро-, тепло- и водоснабжению, использованию газа, например, вместо дров, для домашних целей. Это позволит экономить время на ведение хозяйства, население сможет пользоваться бытовой техникой, средствами коммуникации, иметь доступ к современному медицинскому и образовательному оборудованию. При использовании местного топлива стимулируется местное экономическое развитие, увеличивается количество рабочих мест в сельскохозяйственном секторе, где безработица, миграция и социальные проблемы наиболее высоки. В мире прямая и косвенная занятость работников в производстве энергии на основе биогазовых технологий насчитывает 266 тыс. чел. (в ЕС – 71 тыс.) [22]. Согласно зарубежным исследованиям [23] трудоемкость биогазовых технологий составляет 3,71 чел./МВт (для строительства) и 2,28 (для эксплуатации установки). Для сравнения: трудоемкость производства энергии из природного газа составляет 1,02 и 0,13 чел./МВт, соответственно. То есть при использовании биогазовых технологий создается больше рабочих мест и на стадии строительства и на стадии эксплуатации, причем именно в той местности, где эти технологии непосредственно используются, и при этом не требуется очень большое количество людей, что актуально для малых, рассредоточенных по территории хозяйств. Так как общая потребность России в биогазовых заводах для переработки отходов оценена Российским энергетическим агентством в 20 тысяч предприятий [24], то, соответственно, биогазовые технологии создадут в России минимум 50 тыс. долговременных рабочих мест, не говоря уже о кратковременной занятости при возведении самих предприятий. Образование дополнительной стоимости в регионах (за счет экономии местных затрат на привозные товары и услуги, используемые в традиционной энергетике, и на энергоимпорт и/или получения прибыли от регионального энергоэкспорта) и дополнительных рабочих мест в биогазовой сфере будет способствовать уменьшению оттока людей из села, улучшит демографическую ситуацию, упрочит социальную стабильность. Использование современных технологий повысит эффективность сельского хозяйства, облегчит развитие малого бизнеса, будет способствовать повышению уровня образования и культуры, так как при обслуживании БГУ требуются определенные знания и квалификация. Еще одной серьезной социальной проблемой, вытекающей из экологической, является ухудшение здоровья людей из-за плохого состояния окружающей среды. Так, уровень заболеваемости населения в районах функционирования крупных животноводческих предприятий и птицефабрик в 1,6 раза превышает его средний показатель в РФ [6]. В этих же местах население обеспокоено неприятным запахом, вызванным разложением биологических отходов от животноводческой деятельностью или внесением навоза на поля, и пытается противодействовать появлению таких комплексов рядом со своим населенным

пунктом. Биогазовые технологии повлияют на повышение качества природной среды благодаря уменьшению количества отходов, загрязнения ими окружающей среды, обеззараживанию, что приведет к улучшению здоровья людей. Местное население получит возможность перерабатывать собственные хозяйственно-фекальные стоки и отходы, увеличивая тем самым как сырье для БГУ, так и выход удобрений, которые можно без опасения использовать на приусадебных участках. При этом, благодаря уничтожению патогенной микрофлоры, сокращению численности вредных насекомых и мест их размножения, снижаются риск желудочно-кишечных заболеваний и, соответственно, расходы населения на лекарства. Использование биогаза для приготовления пищи и обогрева жилищ уменьшает опасность глазных и респираторных заболеваний, обусловленных дымом от сжигания традиционного твердого топлива. Уничтожение семян сорных трав в ходе анаэробного разложения отходов экономит время и усилия при удалении сорняков (прополке) с обрабатываемых участков при использовании эффлюента в качестве удобрения. Потребление экологически чистой качественной сельскохозяйственной продукции при применении экологически чистых (биологических, а не химических) удобрений будет благоприятствовать оздоровлению всего населения. Биогазовая энергетика в целом менее опасна по отношению к окружающей среде, чем традиционные источники энергии. Для того, чтобы снизить общенациональные и частные издержки по повсеместному применению биогазовых технологий, необходим весь комплекс мероприятий – подготовка специалистов в области биоэнергетики, проведение информационной, разъяснительной и рекламной кампаний как среди лиц, принимающих решения, так и среди производителей и потребителей получаемой продукции, создание демонстрационных проектов разрабатываемых технологий и оборудования, содействие научным исследованиям и инновациям в данной области, укрепление рыночных механизмов получения и продвижения биогазовой продукции, развитие сотрудничества с зарубежными странами, уже активно использующими наилучшие технологии в этой сфере и имеющими большой опыт по их применению. Оптимальные соотношения традиционных и альтернативных, на основе биомассы, источников энергии и централизованной и распределенной энергетики позволят значительно улучшить экологическую, экономическую и социальную ситуацию в конкретных регионах.