

Введение Нехватка и дороговизна традиционных энергоресурсов заставляют человечество обратиться к практически неиссякаемому источнику – солнечной энергии, но ее непосредственное применение связано со значительными трудностями. Поэтому более перспективно использовать солнечную энергию, аккумулированную в биомассе в виде химических связей за счет фотосинтетической деятельности растений. Эта энергия высвобождается при микробной деструкции биомассы. Но если при аэробном расщеплении (компостировании) значительная часть запасенной энергии рассеивается в окружающей среде и безвозвратно теряется, то анаэробное разложение способствует ее переводу в экологически чистый энергоноситель – биотопливо.

История изучения биогаза Простейшие биогазовые технологии применялись еще в древнем мире для нагрева воды. Использование биогаза в настоящее время оказалось возможным благодаря совместным усилиям ученых самых разных направлений и разных стран. Современное исследование биогаза началось в XVIII в. с изучения болотного газа физиками А. Вольтом и М. Фарадеем. Химики Я.Б. Гельмонт, Д. Хэмфри, Д. Дальтон и А. Авогадро на рубеже XVIII-XIX вв. установили, соответственно, что разлагающаяся биомасса выделяет воспламеняющиеся газы, биогаз содержит метан, состоящий из углерода и водорода, правильная химическая формула которого CH_4 . Бактериолог Л. Пастер в 1884 г. предложил использовать биогаз, полученный им из твердого навоза парижских конюшен, на освещение улиц. Дальнейшие успехи микробиологии привели в 1930 г. к открытию метаногенных бактерий, принимающих участие в производстве биогаза. В конце XIX европейские ученые начали опыты по производству и использованию биогаза, полученного в результате брожения сточных вод, для обогрева помещений и освещения улиц. Первый крупномасштабный биогазовый реактор по переработке осадков сточных вод был построен в 1911 году в Великобритании. Получаемый биогаз использовался для производства электроэнергии. Для переработки твердых отходов первая биогазовая установка объемом 10 м³ появилась в Алжире в 1938 году. В первой половине XX века началось массовое строительство анаэробных установок для очистки сточных вод и использования канализационных газов, выделявшихся в экстракторах ассенизационных станций. Этот газ использовался для обогрева самих установок. Перед второй мировой войной были созданы маленькие ферментаторы навоза; производимый биогаз применялся для сельскохозяйственных нужд. В 1950-е годы биогазовые установки сооружались в основном в Германии, и действовали они по принципу системы последовательных резервуаров. Дальнейшие исследования велись в направлении увеличения выхода биогаза, поисков оптимальных видов и соотношений субстратов, сфер приложения биогазовых технологий и повышения производительности анаэробных установок. Для этого изучалось метаногенное сообщество и физико-химические условия его максимального функционирования

– значения pH, температуры, концентрации питательных веществ; оценивался ресурс коферментации различных видов местного органического сырья, включая отходы; определялась технологическая схема процесса анаэробной ферментации; совершенствовались сами биогазовые установки (БГУ) – их компоновка и размеры, зависящие от потребностей и применяемых ресурсов. Современное положение в биоэнергетической отрасли Сегодня анаэробному сбраживанию органических веществ, особенно биополимеров, уделяется все большее внимание во многих странах, как развитых, так и развивающихся, благодаря заинтересованности в возобновляемых источниках энергии (ВИЭ). При этом решается триединая задача – сокращается объем многотоннажных отходов – сельскохозяйственных и бытовых, производится энергоноситель – биогаз и снижаются выбросы в атмосферу метана CH_4 и закиси азота N_2O – одних из самых сильных парниковых газов, которые оказывают более сильное, по сравнению с углекислым газом CO_2 , воздействие на атмосферу – в 23 и 296 раз, соответственно [1, 2]. С помощью биогазовых установок выбросы парниковых газов от навоза можно уменьшить на 25 % [3], что вполне соответствует целям Евросоюза – сократить к 2020 г. выбросы парниковых газов на 20 % (к 2030 г. – на 40 %) от уровня 1990 г. и увеличить долю возобновляемых источников энергии на 20 % [4, 5]. К тому же, согласно Директиве ЕС 2009/28/ЕС [4] при получении энергии на основе биомассы углекислый газ нейтрален, так как сама биомасса образуется за счет усвоения CO_2 из атмосферы в результате фотосинтеза на протяжении вегетационного периода растений, то есть потребляемый и выделяемый углерод находится в пределах естественного круговорота, в отличие от углерода ископаемых видов топлива, который был выведен из круговорота сотни миллионов лет назад, а сейчас возвращается в атмосферу. Биогазовые установки оперативно внедрялись во всей Европе на протяжении многих десятилетий, но недостаточно представлены в России в первую очередь из-за доступности ископаемых энергоресурсов и вследствие этого исторически низких затрат на получение энергии. Когда в Европе тоже было большое количество дешевой нефти (с середины 50-х годов до энергетического кризиса 1972 г.), производство биогаза и там стало низкорентабельным и сошло на нет. Сегодняшнему резкому росту количества установок в развитых странах способствовало, помимо понимания ответственности перед ныне живущими и будущими поколениями за сохранность окружающей среды и природных ресурсов и стремления к сокращению импорта традиционных энергоносителей, экономическое стимулирование государствами своих производителей биотоплива. Были приняты законы, поощряющие выработку собственной электрической и тепловой энергии и гарантирующие возможность ее продажи в общественные сети и даже по более высокой цене – «зеленому» тарифу. В России говорить о развитии биоэнергетики можно только при условии высокой экономической отдачи

биотопливных технологий. Такие установки могут быть полезны при энергодефиците традиционных носителей энергии (в отдаленных, труднодоступных, малонаселенных или недобывающих регионах) и при больших запасах и перспективах роста возобновляемого сырья – биомассы – из разных источников[1]. Экономическая эффективность биогазовых установок особенно велика при переработке большого непрерывного потока отходов. Малые предприятия тоже неубыточны при адекватном техническом решении [7, 8]. Сейчас, в связи с резким подорожанием природного газа внутри страны (с 1 957 в 2009 г. до 3 051 руб./1000 м³ в 2012 г. [9] и прогнозируемом росте оптовых цен на газ в среднем на 15 % в год до 2015 г. [10]) и в связи с необходимостью управлять все возрастающими потоками отходов, и в России начинают приходить к пониманию неотвратимости использования биогазовых технологий. Крупные производители энергии, конечно, не нуждаются в альтернативных источниках, но малые хозяйства, сельскохозяйственные предприятия могут значительно улучшить свое экономическое и экологическое положение, уменьшить долю затрат на электрическую и тепловую энергию в себестоимости продукции вследствие перехода на самообеспечение энергией из собственных источников, причем практически неиссякаемых, пока они функционируют [11, 12]. Государственная поддержка использования биоорганических материалов в энергетических целях в России и отдельных субъектах федерации пока находится на низком уровне, хотя было принято несколько основополагающих документов по возобновляемым источникам энергии [13, 14] и биотехнологии [15]. В государственной программе РФ и целевой программе Республики Татарстан (РТ) об энергосбережении и повышении энергетической эффективности до 2020 года [16, 17] даже нет упоминания о каком-либо виде биотоплива, несмотря на то, что оно, как местное топливо, может дать значительную экономию первичных энергоресурсов и способствовать, тем самым, выполнению указанных программ. В Госпрограмме РФ «Энергоэффективность и развитие энергетики» на 2013–2020 г. [14] о биомассе как источнике энергии среди других возобновляемых источников энергии упоминается только вскользь. В проекте Госпрограммы по развитию сельского хозяйства в России на период 2013-2020 годы намечалось, по словам прежнего министра сельского хозяйства [18], увеличение доли электроэнергии, производимой сельхозтоваропроизводителями с использованием возобновляемых источников энергии, с 0,3 % до 4,5 % от общего объема потребления электроэнергии в АПК, но в самой Программе [19] этого уже не оказалось. И только в программе и «дорожной карте» РФ по развитию биотехнологии до 2020 года говорится о росте энергетической утилизации отходов АПК (птицеводства, растениеводства, животноводства, лесопереработки, пищевой промышленности, включая производство спирта и пива) с 3 % в 2010 г. до 90 % в 2020 г. [15, 20]. А в программе РТ приводятся уже

конкретные мероприятия и проекты по получению биогаза от переработки отходов на территории республики [21]. Планируется оснастить установками для биотехнологической переработки отходов 15 животноводческих и птицеводческих комплексов, производить биогаз в объеме 500 млн м³, моторное топливо в количестве 3 % от объема потребления в Республике Татарстан, утилизировать не менее 30 % органических отходов на базе биотехнологических процессов. Сейчас энергосбережение базируется в основном на уменьшении потребления первичных энергоресурсов в топливно-энергетическом комплексе (ТЭК) страны и на транспорте, сокращении потребления электрической и тепловой энергии во всех сферах народного хозяйства и поиске и ликвидации потерь ресурсов и энергии, но никак не на замене ископаемых источников энергии на возобновляемые. О том, что для нашей страны использование возобновляемых энергоресурсов – не самая актуальная задача, свидетельствуют и значения целевых показателей производства и потребления электрической энергии на основе возобновляемых источников – к 2020 г. они должны достигнуть всего лишь 4,5 % в энергобалансе страны [13]. А в Госпрограмме РФ по энергоэффективности, утвержденной на четыре года позже, этот показатель еще ниже и составляет уже только 2,5 % [14]. Не стоит забывать и о том, что к ВИЭ относится не только энергия биомассы, но и энергия Солнца, воды, ветра, приливов, внутренняя энергия Земли. На сегодняшний день удельный вес ВИЭ (включающих все упомянутые источники кроме гидроэлектростанций с установленной мощностью более 25 МВт) в общем объеме производства электроэнергии в России составляет менее 1 % [13]. Для сравнения: в странах ЕС этот показатель сегодня составляет уже 8,5 %, а к 2020 г. должен достичь 20 % [4]. Производства биогаза в Европе сегодня превышает 10 млрд м³ в год, а в Китае – около 15 млрд м³ ежегодно [22]. Таким образом, чтобы Россия не отстала от мировых лидеров в использовании альтернативных источников энергии, необходимо обратить самое пристальное внимание на технологию извлечения энергии из биомассы, запасы которой неограниченны и распространены повсеместно. В дальнейшем будут рассмотрены биоконверсионные процессы различных составляющих органических отходов и технологии на их основе. Биомасса – все виды веществ растительного и животного происхождения, продукты жизнедеятельности организмов и органические отходы, образующиеся в процессах производства, потребления продукции и на этапах технологического цикла отходов [6].