

## РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ АПК

В.В. Аксенов, А.И. Резепин

*В статье сделан анализ процессов переработки биомассы с получением биогаза. Предложена инновационная биотехнологическая схема переработки отходов АПК на биогаз на основе кавитационно-вихревых технологий.*

*Ключевые слова: биогаз, биотехнологическая переработка отходов АПК, кавитация.*

Одним из непреложных законов развития мировой экономики является доступ к энергетическим ресурсам, желательным дешевым и возобновляемым.

И здесь на первый план выходит биоэнергетика, которая основывается на технологиях переработки биомассы. Биомасса, как аккумулятор солнечной энергии, служит исходным возобновляемым сырьем для получения топлива в различных формах: твердом, жидком и газообразном.

К биомассе, с нашей точки зрения, можно отнести органические массы не только растительного происхождения, но и отходы в результате человеческой деятельности и отходы животного происхождения в сельскохозяйственной отрасли.

К сожалению, следует отметить, что в России развитие биоэнергетики идет медленно, что связано, на наш взгляд, в первую очередь с концентрацией внимания на добыче невозобновляемых источников энергии – нефти и газа. Поиск новых технологий и внедрение производства основанное на альтернативных источниках энергии, после последних событий в Японии на атомной станции Фукусима-1, вероятно, получит новый виток в развитии.

Преимущества при использовании биомассы:

1. Возобновляемое сырье.
2. Малозатратная конвертация в различные виды топлив.
3. Малозатратное хранение исходного сырья.
4. Наличие большого числа технологий.
5. Вовлечение в переработку всех видов органических отходов.
6. Экологическая значимость и безопасность получения и использования энергии из возобновляемых источников.
7. Уменьшение экологической нагрузки на биосферу Земли.

Отрицательные стороны использования биомассы:

1. Необходимость использования земельной площади, воды и т. д.
2. Значительные законодательные изменения в сельскохозяйственной и лесоводческой отраслях.
3. Относительная дороговизна электроэнергии из биомассы;
4. Локальное использование биомассы;
5. Наличие в сырье большого количества воды;
6. Сезонность и значительная зависимость от климатических условий переработки на основе биомассы.

Биомасса относится к вторичным возобновляемым источникам энергии (ВИЭ) и ее запасы в биосфере оцениваются ~ 800 млрд. т. Ежегодно прирост биомассы на Земле составляет ~ 220 млрд. т. Энергетическое содержание производимых в мире сельскохозяйственных отходов составляет ~  $93 \cdot 10^{18}$  Дж в год и при использовании только 50 % этих отходов можно закрыть ~ 15 % мировой потребности в энергии.

На сегодняшний день вклад вторичных ВИЭ на основе биомассы в мировое производство энергии составляет ~ 1,8 %, а в России производство электроэнергии и тепла из биомассы находится в зачаточном состоянии. Таким образом перспективы по использованию биомассы в энергетических целях весьма заманчивы. Широкое внедрение технологий по переработке биомассы в энергетических целях в России сдерживается следующими факторами:

- отсутствием законодательной базы по поддержке технологий по переработке биомассы в энергетических целях;
- направленность российских отраслей промышленности на добычу и переработку невозобновляемых источников сырья (нефть, газ, уголь);

## РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ АПК

- высокие цены на невозобновляемые источники сырья;
- отсутствием законченных высокоэффективных технологий по переработке биомассы;
- отсутствие кадрового потенциала, неудовлетворительный технический и технологический уровень подготовки работников агропромышленного комплекса;
- незаинтересованность и слабая материальная база производителей биомассы (с/х предприятий, деревообрабатывающих организаций) к внедрению технологий по переработке биомассы.

При общем производстве энергии в мире оцениваемой в 10 млрд. т. нефтяного эквивалента (н.э.) вклад биомассы в 2001 г. составил ~ 1,2 млрд. т. н.э. В 2004 г. вклад биомассы в общий энергобаланс Европейского Союза составлял 4,13 % от общего объема потребляемых энергоресурсов.

Биомасса составляет около двух третей всех возобновляемых источников энергии в Европе, и это является наиболее быстро растущим сектором энергетики.

По различным причинам – историческим, экономическим, техническим, аграрным, биомасса для энергетики используется неравномерно. Из 72,3 Мт н.э. – 66,8 % идет на производство тепла, 30,5 % – для производства электроэнергии и 2,7 % – для производства жидкого моторного топлива [1,2].

Основными источниками биомассы служат отходы лесной и деревообрабатывающей промышленности 61,5 Мт н.э. (85 %), бытовые отходы – 7,3 Мт н.э. (10 %), отходы сельскохозяйственной деятельности 3,5 Мт н.э. (5 %).

С развитием отраслей АПК и, в первую очередь животноводства и птицеводства, все более остро встает вопрос утилизации и переработки отходов, образующихся в результате хозяйственной деятельности. Наиболее целесообразно подвергать эти отходы биотехнологической переработке, в результате которой получают биогаз и органические удобрения, что уже делается в ряде стран. Так, например, в Германии работает более 8000 биогазовых установок различной производительности. По оценкам экспертов для этой страны необходимо строительство 220 тысяч биогазовых установок, из которых 86 % должны перерабатывать помет и навоз. При реализации этих планов доля биогаза может достичь 11 % общего объема потребления газа в Германии [2].

В Индии с 1981 по 2006 гг. было установлено 3,8 млн. малых биогазовых устано-

вок. В Китае на конец 2006 г. действовало 18 млн. биогазовых установок, что позволяет экономить около 10,9 млн. т условного топлива [2].

Все возрастающий интерес к вопросам переработки отходов жизнедеятельности помимо энергетической важности имеет и значительную экологическую составляющую. Наиболее эффективными и экологически безопасными способами переработки отходов являются биотехнологические способы переработки. Это обусловлено рядом причин. Биотехнологические способы переработки отходов агропромышленного комплекса приводят к получению *мультипликативного* эффекта:

- энергетический: генерирование биогаза с целью использования для производства тепла и электроэнергии непосредственно на предприятиях АПК, а при избытке этих ресурсов – на продажу;
- экологический: снижение биологического, химического и микробиологического загрязнения почвы, воды и воздуха; снижение содержания метана, который вызывает парниковый эффект в 21 раз более сильный, чем углекислый газ, и который не разлагается в атмосфере в течение 12 лет;
- природовосстанавливающий: получение биоорганоминеральных удобрений, которые имеют повышенное содержание гуматов и могут способствовать восстановлению солончаковых, опустыненных и заброшенных почв.

Для создания эффективных способов переработки отходов сельскохозяйственной деятельности и бытовой деятельности требуется создание прорывных технологий, основанных на глубокой научной проработке всех вопросов и новейших технологических средствах – машинах и аппаратах. Для этого требуется:

- разработка научных основ эффективных технологий по биоконверсии отходов АПК различного происхождения;
- разработка принципиально новых технических средств для переработки (подготовки) биомассы к метангенерации;
- разработка новых видов аборигенных штамм-продуцентов для биохимической переработки;
- разработка новых типов метантенков с повышенным коэффициентом метангенерации;
- разработка систем автоматизации всех технологических процессов переработки, метангенерации, хранения и переработки метана.

Это необходимо в связи с тем, что существующие технологии и аппараты недостаточно эффективны, а большая часть России находится в климатической зоне с другим температурным режимом, чем Европа, Индия, Китай, что требует существенного изменения и усовершенствования имеющихся технологических схем.

Нами разработаны кавитационные установки, которые позволяют осуществлять эф-

фективную предобработку и стерилизацию перерабатываемых отходов АПК с целью дальнейшего получения биогаза. А использование ферментеров с газовихревым способом перемешивания позволит существенно ускорить метанобразование. Эти инновационные технические средства объединены в единый технологический процесс, схематично представленный на рисунке 1.

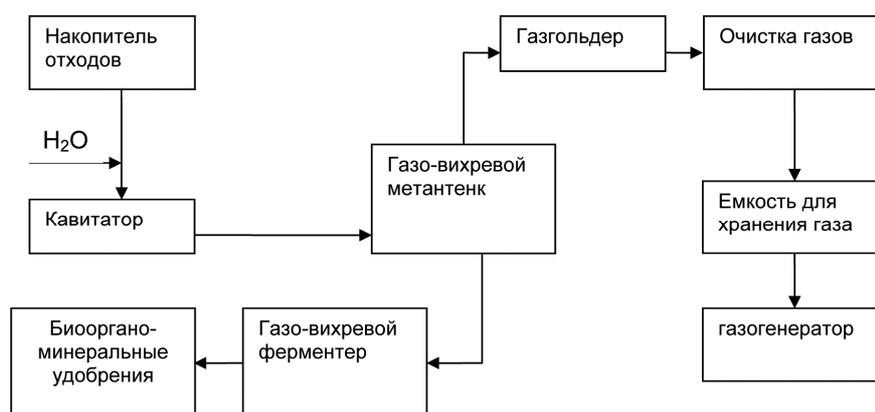


Рисунок 1 – Принципиальная схема получения биомассы

Все это дает конкурентные преимущества для реализации технологий по биоконверсии отходов АПК в биогаз и удобрения. В России ежегодно накапливается до 300 млн. т в сухом эквиваленте органических отходов, из них около 250 млн. т в АПК и 50 млн. т бытовых отходов. Потенциальный объем биогаза после переработки всех отходов может составить около 90 млрд. м<sup>3</sup> [3,4].

Выход биогаза при использовании навоза КРС составляет около 3 м<sup>3</sup> с 1 м<sup>3</sup> реактора, а при использовании птичьего помета – около 6 м<sup>3</sup> с 1 м<sup>3</sup> реактора.

Выход биогаза из навоза (помета), полученного от одной головы составляет:

- корова – 1,5 м<sup>3</sup>/сут;
- свинья – 0,2 м<sup>3</sup>/сут
- птица – 0,012 м<sup>3</sup>/сут.

При сгорании 1 м<sup>3</sup> биогаза выделяется 22 МДж тепла, что эквивалентно сгоранию 0,6 л бензина, 0,85 л этанола, 1,75 кг дров. Из 1 м<sup>3</sup> биогаза вырабатывается до 2 кВт·ч электроэнергии, что обусловлено его высокой теплотворной способностью.

Расчеты показывают, что в сельской местности производство биометана может считаться рентабельным при наличии 20 коров, 200 свиней или 3500 кур [3,4].

В процессе анаэробного брожения биоотходов, помимо биогаза генерируются органико-минеральные отходы, которые легко конвертируются в биоорганико-минеральные удобрения, в которых по сравнению с обычным навозом возрастает содержание аммонийного азота в 4 раза.

Таким образом, предлагаемая технология позволяет интенсифицировать процессы дезагломерации, дезинтеграции и стерилизации исходной биомассы путем кавитационной обработки, а также ускорять процессы анаэробного и аэробного брожения в газо-вихревом ферментере.

Факторы, влияющие на процессы брожения:

– **температура:** метаболическая активность и репродуктивная способность микроорганизмов находятся в прямой функциональной зависимости от температуры. Наибольшее значение метаболической активности микроорганизмов наблюдается в диапазоне от 33 до 54 °С [1]. Микробиологическая активность прекращается при температурах менее 15 °С. Микроорганизмы очень чувствительны к перепадам температур и реагируют на это снижением метаболической активности и способностью к воспроизведению. Тем-

## РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ АПК

пература влияет на количество метана в биогазе. При возрастании температуры установлено снижение доли метана в общем объеме выделяющихся газов.

### – исходный материал:

а) концентрация: в классических технологиях концентрация исходного субстрата составляет от 5 до 12 %. Это связано с увеличением вязкости массы, что приводит к снижению выхода газа [1];

б) состав исходного материала: среди отходов сельскохозяйственного производства наиболее благоприятным субстратом для метангенерации являются экскременты животных и, в первую очередь, помет. При наличии в исходном субстрате соломы и других органических остатков выход метана снижается. Это вызвано высоким содержанием лигнина, который практически не подвергается процессам газообразования;

в) размеры частиц: в связи с тем, что процессы метангенерации являются диффузионно-контролируемыми, то увеличение площади поверхности твердой массы повышает скорость биохимических обменных процессов. Так, например, измельчение субстрата до частиц менее 1 мм повышает выход биогаза на 20 %;

г) pH - показатель среды: активность метангенерирующих бактерий сильно зависит от величины pH среды. Наиболее оптимальными значениями pH являются от 6,7 до 8,0 ед.;

д) питательность среды: в массе, в которой идет метангенерация должно обеспечиваться оптимальное количество углерода, кислорода, водорода, азота, серы и фосфора. Наиболее благоприятным соотношением C : H для выделения метана является диапазон от 10 до 16;

е) ингибиторы метанобразования: к веществам, препятствующим жизнедеятельности метангенерирующих микроорганизмов, относятся: тяжелые металлы и их соли, щелочные и щелочноземельные металлы, аммиак, нитраты, сульфиды, детергенты, органические растворители, антибиотики [1].

В работе предлагается классическую схему переработки исходного сырья [1,2] дополнить рециркулирующей емкостью со встроенным кавитатором и газовихревыми реакторами анаэробного и аэробного брожения. Рециркулирующая емкость с кавитатором обеспечивает предварительное обеззараживание и измельчение субстрата. Газовихревые реакторы позволяют повысить скорость диффузионно-контролируемых процессов брожения.

На рисунке 2 представлена предлагаемая схема, которая была исследована с помощью методов компьютерного моделирования.

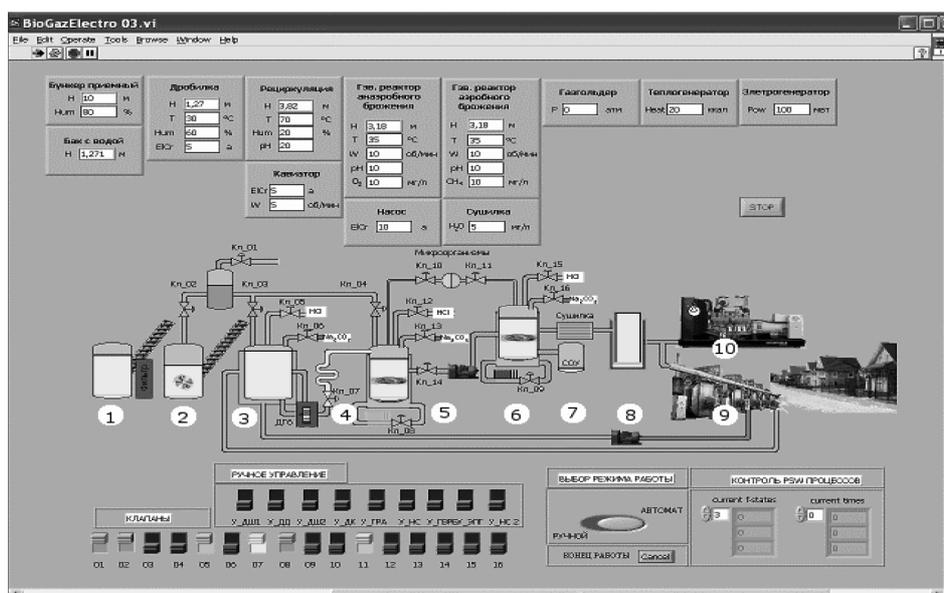


Рисунок 2 – Модель технологической линии получения биогаза

Сокращение времени переработки навоза крупного рогатого скота оцениваются в

36 % (сокращение времени переработки с 28 до 18 суток). Предварительное обеззаражи-

вание обеспечивает не только отсутствие микроорганизмов, угнетающих бактерии сбраживания, но и чистоту получаемых органических удобрений от яиц глистов и других возможных патогенов, а также от семян сорняков.

Предлагаемая технологическая линия состоит из приемного бункера (1), дробилки предварительного измельчения (2), кавитатора (4) с емкостью рециркуляции (3), ферментера аэробного (5) и анаэробного (6) брожения, устройства для сушки и очистки биогаза (7), газгольдера (8). Получаемый газ преобразуется в тепло или электроэнергию.

В процессе анаэробного брожения значительно улучшаются свойства биомассы как удобрения за счет минерализации азота. При традиционном компостировании биомассы потери азота составляют до 40 %. По сравнению с обычным компостированием анаэробная переработка увеличивает содержание в удобрении аммонийного азота до 4 раз и от 20 до 40 % азота переходит в аммонийную форму. Содержание усваиваемого растениями фосфора удваивается и доходит до 50 % от общего количества. Так например анаэробно сброженный навоз позволяет повысить урожайность на 10-20 % по сравнению с использованием обычного навоза.

Несмотря на достаточно хорошую изученность процесса анаэробного сбраживания, эффективность работы биогазовых установок в целом оставляет желать лучшего. Поэтому в настоящее время продолжают поиск способов позволяющих сделать производство биогаза более рентабельным. При этом, уже сформировались основные инновационные направления повышения эффективности биогазовых установок среди которых можно выделить следующие: анаэробное сбраживание субстратов, представляющее собой смесь навоза и коферментов; предва-

рительная подготовка исходного субстрата путем измельчения; строгое соблюдение оптимальных параметров и режимов процесса анаэробного сбраживания; твердофазная метангенерация; контроль и управление процессом анаэробного сбраживания путем компьютерного моделирования; создание новых технических средств для эффективного преобразования энергии биогаза в электрическую и тепловую.

Преимущества кавитационно-вихревой технологии переработки отходов АПК в биогаз:

- увеличение выхода биогаза до 20%;
- уменьшение времени процесса до 36 %;
- ресурсо- и энергосбережение;
- низкая стоимость линий;
- научное, техническое и технологическое сопровождение.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баадер, В. Биогаз: теория и практика (Пер. с нем. и предисловие М.И. Серебряного) / В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер. – М.: Колос, 1982. – 148 с.
2. Биоэнергетика: мировой опыт и прогноз развития. Научное издание – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 404 с.
3. Перспективы использования возобновляемых источников энергии в Европе и Азии // БИКИ. – 2006. – №48. – С. 14-15.
4. Ковалев, А.А. Эффективность производства биогаза на животноводческих фермах / А.А. Ковалев // Техника в сельском хозяйстве. – 2001. – №3. – С. 25-27.

**Аксенов В.В.**, зав. лаб., к.х.н., доц., ГНУ СибНИИП, тел. 8(338) 348-65-82,  
E-mail: padova2008@yandex.ru;

**Резепин А.И.**, науч. сотрудник, ГНУ СибНИИП, тел. 8(338) 348-65-82,  
E-mail: and77579242@yandex.ru.