

# ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ЖИДКИХ БОЕНСКИХ ОТХОДОВ В БИОГАЗ<sup>1</sup>

**Мирошниченко Ирина Владимировна**

К.б.н., доцент, ФГБОУ ВО «Белгородский  
государственный аграрный университет имени  
В.Я. Горина»  
imiroshnichenko\_@mail.ru

## FEATURES OF THE PROCESSING OF LIQUID SLAUGHTERHOUSE WASTE INTO BIOGAS<sup>2</sup>

**I. Miroshnichenko**

*Summary.* Recently, in connection with the development of alternative energy, livestock waste and processing companies are increasingly being considered as co-substrates for biogas stations. Slaughterhouse waste has a high potential and, in selecting the optimal processing technology, can cover a significant proportion of production costs. Despite this, when bioconversion into biogas, they can create technological difficulties: their high protein content leads to a high load of ammonium nitrogen, to which the microflora of the bioreactor must be resistant. In this paper, the authors conducted a study of sludge flotation sludge slaughtering and processing of pigs. Based on this study, the results and conclusions are presented.

*Keywords:* biogas; methane; batch experiment; anaerobic fermentation; sediment flotation sludge; stomach contents; slaughterhouse waste.

*Аннотация.* В связи с развитием альтернативной энергетики отходы животноводства и перерабатывающих предприятий все чаще рассматриваются в качестве ко субстратов для бигазовых станций. Боенские отходы обладают высоким потенциалом и при подборе оптимальной технологии переработки могут покрывать значительную долю производственных затрат. Несмотря на это, при биоконверсии в биогаз они могут создавать трудности технологического характера: высокое содержание в них белка ведет к высокой нагрузке по аммонийному азоту, к которой должна быть устойчива микрофлора биореактора. В данной работе авторами было проведено исследование осадка флотационного шлама предприятия по убою и переработке свиней. На основании данного исследования представлены результаты и выводы.

*Ключевые слова:* биогаз; метан; batch-эксперимент; анаэробная ферментация; осадок флотационного шлама; каньга; боенские отходы.

## Введение

**В** процессе убою и переработки сельскохозяйственных животных образуются отходы, включающие кровь, обрезь, слизистые оболочки, участки и содержимое желудочно-кишечного тракта, мездру и др. [1]. В связи с доступностью, энергетической и биологической ценностью, биоразлагаемостью такие отходы обладают высоким экономическим потенциалом. Внедрение современных малоотходных технологий позволяет максимально извлекать ценные компоненты отходов и превращать их в полезные продукты, в том числе и в энергоносители. При использовании оптимальных способов переработки такого биоматериала доходы от нее могут превышать прибыль от реализации основной продукции, что способно значительно снизить себестоимость последней, а также повысить экологическую безопасность пищевых и перерабатывающих цехов [2, 1].

## Литературный обзор

Сточные воды предприятий по переработке сельскохозяйственных животных богаты органическими веществами (до 90%) и при неправильной утилизации наносят значительный вред окружающей среде. Основными способами их очистки являются отстаивание в песколовках, жиroleвках, отстойниках, разделение на фракции, флотация, коагуляция, очистка на полях фильтрации, биологические пруды и биофильтры, аэробная и анаэробная ферментация и т.д.

Песколовки, жиroleловители и отстойники позволяют извлечь из сточных вод до 60–65% нерастворенных и всплывающих примесей. Эти отходы богаты жиром, их годовой объем в нашей стране достигает около 250 тыс. тонн. Они способны забивать канализационную систему, их запрещено сбрасывать в водоемы. Как правило, их утилизируют путем захоронения. Ввиду своего химиче-

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 18-47-310008 p\_a

<sup>2</sup> The reported study was funded by RFBR according to the research project № 18-47-310008 p\_a

ского состава осадок, всплывшая жировая масса и флотационная пена могут служить ценным сырьем для дальнейшей переработки [3].

Каныга — содержимое желудка животных — используется в качестве удобрений, служит сырьем для получения термоизоляционного материала, кормовых дрожжей, витамина  $B_{12}$ , при приготовлении вареных кормов для свиней и птицы, а также для производства топливного метана [3].

Таким образом, отходы боен представляют собой неоднородную смесь, включающую зачастую ткани животных, содержимое желудочно-кишечного тракта и др. в этом случае обеспечение биобезопасности является сложной задачей [4]. Их утилизация в России и за рубежом может осуществляться несколькими способами, включая компостирование, переработку в кормовую продукцию, включая рендеринг, и анаэробное сбраживание. Каждый способ имеет свои недостатки и преимущества. Так, во время компостирования в атмосферу выделяются значительные количества метана и закиси азота. При анаэробном сбраживании выбросы парниковых газов гораздо ниже, так как емкости, в которых протекают процессы, и куда выделяются продукты реакций, герметичны [4].

Согласно регламенту по обращению с побочной продукцией животноводства в Германии (TNP-VO 1774/2002), содержимое желудочно-кишечного тракта животных, флотационный шлам и подобные отходы перед утилизацией следует подвергать обработке при температуре от 133°C и выше и давлении не менее 3 бар в течение как минимум 20 минут. Далее их можно использовать в качестве субстратов в биогазовой установке, компостировать, вводить в состав кормов, вносить в почву [5, 6]. И хотя на сегодняшний день боенские отходы играют второстепенную роль как сырье для получения биогаза, они могут покрывать до 49% потребности предприятия в энергии [7, 8]. Например, на биогазовой установке в Сент-Мартине (Австрия), функционирующей совместно со скотобойней и перерабатывающей непищевые боенские отходы (кровь, задняя кишка, содержимое желудков, жир), произведенное из биогаза электричество подается в сеть, а вырабатываемое в котельной тепло используется на бойне и покрывает 80% ее потребности в энергии [9].

В последнее время в связи с развитием альтернативной энергетики данное сырье все чаще рассматривается в качестве косубстрата для биогазовых станций. Однако недостаток информации о его особенностях на практике может привести, например, к закислению содержимого реактора, выходу из строя теплоэлектроцентрали и другим проблемам [7].

Исследованиями в сфере переработки боенских отходов в биогаз занимаются ученые стран Африки, Азии, Европы, Австралии. P. Klintonberga с соавт. изучали биогазовый потенциал субстратов бойни в Намибии, представленный смесью навоза, крови, содержимого желудка и кишечника овец в разных соотношениях. Лучшие результаты показала смесь содержимого желудка и кишечника: выход биогаза составил около 32,5 мл из 1 г органического вещества (мл/г оСВ) с содержанием метана порядка 94% (что соответствует специфическому выходу метана 30,55 мл/г оСВ) [10]. Pratima KC и Bhakta Bahadur Ale установили, что выход биогаза из боенских отходов в Непале на разных предприятиях в среднем составляет 201 мл/г оСВ, содержание метана — от 48,5 до 59,7% [11].

Согласно A. Ware и N. Power, отходы переработки крупного рогатого скота с высоким содержанием жира (28,4%) обеспечивают выход метана до 641,55 мл/г оСВ [8]. В другом исследовании этих авторов специфический выход метана из отходов переработки крупного рогатого скота составил 515,47 мг/л оСВ, из остатков мягких тканей и слизистых оболочек сельскохозяйственной птицы (кур) — 499,11 мг/л оСВ при инкубации субстратов в течение 30 суток, а из отходов переработки свиней — 465,34 мг/л оСВ (время инкубации — 50 суток); предварительная пастеризация субстратов не проводилась [12]. В исследованиях P. D. Jensen с соавт. специфический выход метана из содержимого желудочно-кишечного тракта крупного рогатого скота составил от 242 до 337 мл/г оСВ [13].

По данным A. Ware и N. Power, специфический выход метана из пены флотационного шлама при переработке птицы достигает 261,35 мл/г оСВ, из смеси отходов — 594,59 мл/г оСВ [14].

В исследованиях P. W. Harris и B. K. McCabe энергетический потенциал сточных вод и жира с жироловок бойни при анаэробной ферментации составляет соответственно 278 и 271 мл/г оСВ [15].

M. A. Rouf с соавт. установлено, что биогазовая продуктивность каныги в смеси с навозом крупного рогатого скота в разных соотношениях составляет от 160 до 270 мл/г оСВ с содержанием метана от 72 до 76%. Степень разложения органического вещества — от 28,26 до 32,29% [16].

Несмотря на высокий биоэнергетический потенциал, при переработке в биогаз боенские отходы могут создать трудности технологического характера. Они богаты белком, что ведет к высокой нагрузке по аммонийному азоту, к которой должна быть устойчива микрофлора биореактора.

Концентрации азотсодержащих соединений оказывают значительное влияние на протекание процесса ферментации. При повышении значений pH и температуры в содержимом реактора растет концентрация аммиака, который является токсичным для местной микрофлоры. Предел устойчивости к его концентрациям для биоценоза каждой установки индивидуален [17, 5]. А.Е.В. Ек и соавт. отмечают, что для стабилизации процесса ферментации при переработке боенских отходов время нахождения субстрата в реакторе должно быть более длительным, по сравнению с биогазовыми установками, работающими на навозе и растительном сырье. Для культивирования окисляющей ацетат синтрофной мезофильной микрофлоры в таких реакторах требуется 45–55 дней [17].

Белгородская область России — развитый аграрный регион, где успешно функционируют животноводческие комплексы и предприятия по убою и переработке сельскохозяйственных животных и птицы. Свиноводство и птицеводство здесь особенно развиты. Отходы боен чаще всего используются в приготовлении комбикормов, а непищевые — такие как флотационный шлам, каныга и т.п. — вносятся в почву в качестве удобрения. В области сданы в эксплуатацию две биогазовые станции; одна из них использует в качестве ко-субстрата отходы мяскокомбината, которые при переработке свиней могут достигать 20% от живой массы, и 10% от их представлены желудочно-кишечным трактом и его содержимым [6]. Биогазовыми станциями непрерывно ведется поиск наиболее дешевых и эффективных субстратов, и в последнее время интерес представляют непищевые боенские отходы.

## Материалы и методы

Исследования проведены на базе Белгородского государственного аграрного университета имени В.Я. Горина.

Материал исследования — осадок флотационного шлама, содержащее желудков свиней (каныга).

При проведении эксперимента руководствовались методиками, приведенными в DIN38~<414 (S8) и VDI 4630 [18–19]. Он включал подготовительную стадию, анаэробную ферментацию и период досбраживания.

В ходе подготовительной стадии были определены исходные параметры сырья и рассчитаны нормы загрузки реакторов. Массовая доля влаги, сухого вещества (СВ), золы и органических веществ в субстратах и инокулюме определяли по методикам, описанным в сборнике D. Pfeiffer [20].

Для проведения эксперимента использовалась установка периодического принципа действия (batch-система), состоящая из герметично закупоренных стеклянных колб (биореакторов) объемом 300 мл каждая. Подогрев реакторов осуществлялся с помощью водяной бани, оснащенной измерителем-регулятором универсальным «ОВЕН ТРМ 138» (Россия) и термодатчиками. Ферментацию субстратов проводили в мезофильном температурном режиме ( $37 \pm 0,5^\circ\text{C}$ ) в течение 35 суток (стандартная минимальная продолжительность batch-экспериментов) при регулярном перемешивании. Досбраживание осуществлялось в течение 15 суток при той же температуре, но без перемешивания. Образующийся биогаз по трубкам поступал в пластиковые мешки объемом 3 л каждый. Отбор газа проводили еженедельно (а на стадии досбраживания — в начале и в конце этапа). Объем биогаза определяли с помощью колбы для Хоэнхаймского теста выхода биогаза [21], состав (объемную долю метана и некоторых других газов) — с помощью газоанализатора «Optima — 7 Biogas» (Германия).

Для обеспечения сравнимости результатов исследования объем газа приводили к нормальным условиям по уравнению (1):

$$V_0 = (P \cdot V \cdot T_0) / (T \cdot P_0), \quad (1)$$

где:

$V_0$  — объем сухого газа при нормальных условиях, мл<sub>н.н.</sub>

$V$  — зарегистрированный объем газа, мл,

$P$  — давление газа в момент измерения, мбар,

$P_0$  — атмосферное давление при н.у.;  $P_0 = 1013$  мбар,

$T_0$  — температура воздуха при н.у.;  $T_0 = 273$  К,

$T$  — температура биогаза, К.

Каждый субстрат исследовали в трех повторениях.

Результаты и обсуждение

Массовая доля сухих веществ и органики являются основными показателями для расчета норм загрузки реакторов. В производственных условиях они особенно важны: если субстрат будет недостаточно жидким, то в распространенных на сегодняшний день конструкциях биогазовых установок будет сложно осуществлять его перекачивание и перемешивание, при этом затрудняется выход пузырьков образующегося газа из биомассы.

На основе характеристик субстратов осуществляется проектирование биогазовых установок. Органическое вещество является сырьем для производства биогаза микроорганизмами, его массовая доля оказывает непосредственное влияние на продуктивность субстратов.

В нашем эксперименте оба субстрата достаточно жидкие (табл. 1), но с высоким содержанием органиче-

Таблица 1. Исходные параметры сырья

| Исследуемый материал       | Массовая доля влаги, % | Массовая доля сухого вещества, % | Массовая доля органического вещества% от СВ | Массовая доля золы, % от СВ |
|----------------------------|------------------------|----------------------------------|---|-----------------------------|
| Инокулум                   | 92,68±0,03             | 7,32±0,03                        | 71,95±0,40                                  | 28,05±0,40                  |
| Каныга                     | 93,71±0,14             | 6,29±0,14                        | 91,48±0,75                                  | 8,52±0,75                   |
| Флотационный шлам (осадок) | 92,52±0,21             | 7,48±0,21                        | 89,59±0,40                                  | 10,41±0,40                  |

Таблица 2. Загрузка реакторов

| Вариант                    | Загрузка сырья, г на реактор |          | Нагрузка по оСВ, г на реактор |               |             |
|----------------------------|------------------------------|----------|-------------------------------|---------------|-------------|
|                            | инокулум                     | субстрат | оСВ инокулума                 | оСВ субстрата | оСВ в сумме |
| Инокулум                   | 250,00                       | -        | 13,16                         | -             | 13,16       |
| Каныга                     | 172,36                       | 77,64    | 9,08                          | 4,47          | 13,55       |
| Флотационный шлам (осадок) | 180,27                       | 69,73    | 9,49                          | 4,68          | 14,17       |

Таблица 3. Биогазовая продуктивность субстратов

| Субстрат                   | Специфический выход биогаза, мл <sub>н</sub> /г оСВ | Специфический выход метана, мл <sub>н</sub> /г оСВ |
|----------------------------|---|--|
| Каныга                     | 103,45±23,92  | 2,56±0,93  |
| Флотационный шлам (осадок) | 362,39±34,52  | 97,53±16,20  |

ского вещества. Разница по содержанию в них сухого вещества и органики незначительна — в пределах 1–2%. Оба субстрата представляют собой неоднородную кашу с хлопьями, частицами жира, слизистых оболочек и т.п.; осадок флотационного шлама бурого цвета, каныга — зеленовато-коричневого.

Нормы загрузки реакторов рассчитывали таким образом, чтобы соотношение массы оСВ инокулума и оСВ субстрата в реакторе составило 2:1 (табл. 2). Экспериментальные варианты были представлены смесью субстратов и инокулума, нулевой — инокулумом. Рабочий объем реактора — 250 мл.

Суммарный выход биогаза за весь период (ферментация и досбраживание) по каждому варианту в среднем составил 327,95±94,82, 688,59±106,95 и 1930,89±161,41 мл для инокулума, каныги и осадка флотационного шлама соответственно; содержание метана — в среднем 6,35, 5,72 и 24,44% соответственно. Специфический выход биогаза и метана для субстратов с учетом продуктивности инокулума приведены в таблице 3.

Для корректировки продуктивности субстратов в каждом варианте из суммарного объема образовавшегося биогаза/метана вычитали долю биогаза/метана, приходящуюся на инокулум в данном варианте. Последнюю

вычисляли, основываясь на количестве оСВ загруженного в реактор инокулума и его продуктивности, рассчитанной по данным нулевого варианта.

Таким образом, изученные субстраты показали относительно невысокую продуктивность, по сравнению с результатами исследований A. Ware и N. Power. Однако, отличался вид и химический состав субстратов — указанные авторы тестировали смешанные отходы убоя и переработки свиней, содержащие 27,9% СВ и 95,2% оСВ. К тому же, здесь мог проявиться и эффект масштабирования — A. Ware и N. Power использовали реакторы объемом 1000 мл (рабочий объем — 900 мл).

Немаловажное значение имеет продолжительность ферментации [12]. В нашем эксперименте она была недостаточной, о чем свидетельствует резкий рост продуктивности субстратов после 42-го дня эксперимента (рис. 1–2). В варианте с каныгой отмечено два пика газообразования: первый приходится на конец первой недели, второй — в течение пятой недели (рис. 1). В варианте с осадком флотационного шлама первый пик также приходится на конец первой недели, второго пика не наблюдалось — начиная с третьей недели, газообразование стало расти. Кривая свидетельствует, что данный субстрат не достиг второго пика газообразования. Первый пик обусловлен биодegradацией простых углеводов,

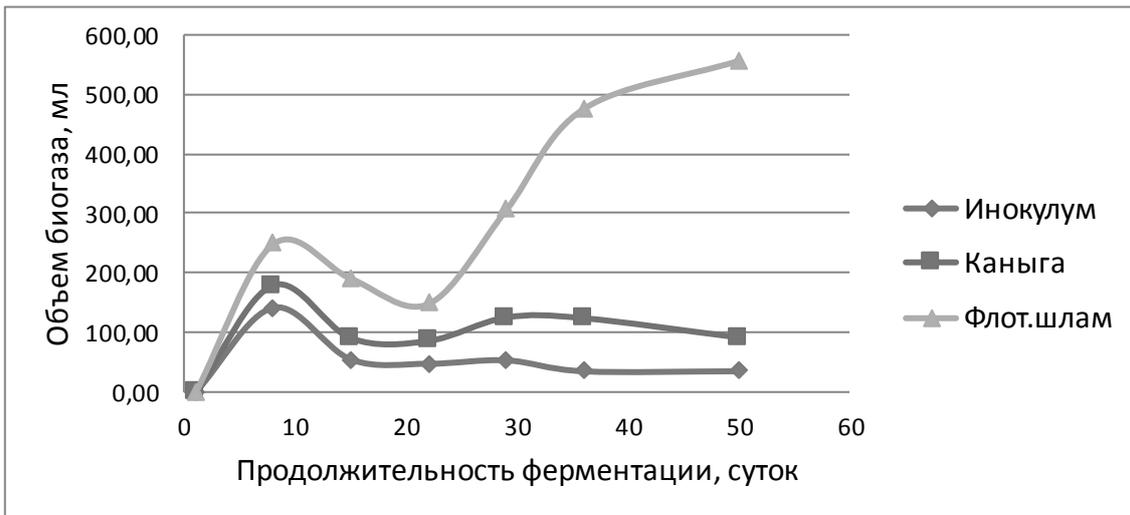


Рис. 1. Динамика образования биогаза

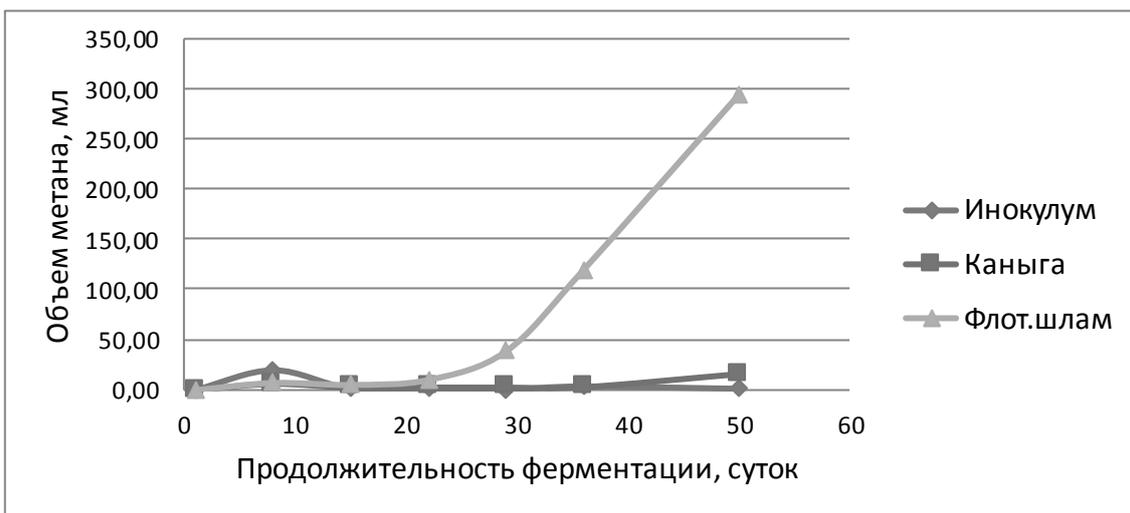


Рис. 2. Динамика образования метана

а дальнейший рост газообразования — более сложных веществ (жиров, протеина, некоторой доли клетчатки и т.п.), которые за 50 дней эксперимента не успели полностью разложиться.

Содержание метана в биогазе в варианте с осадком флотационного шлама с конца третьей недели эксперимента начало резко расти (рис. 2), достигнув в конце четвертой недели 12,62%, пятой — 24,84, в конце периода досбраживания — 50,62%. Рост объемной доли метана в биогазе в варианте с каныгой отмечен лишь спустя пять недель ферментации, максимальное значение — 16,52%. Валовый выход метана рассчитали на основе валового выхода биогаза и объемной доли в нем метана (рис. 2).

В обоих экспериментальных вариантах пики метанообразования плавные, приходятся на конец первой недели ферментации. Далее отмечается некоторое снижение продуктивности; в варианте с каныгой синтез метана начал плавно увеличиваться с пятой недели. Образование метана из осадка флотационного шлама стало плавно расти после третьей недели ферментации, а после четвертой недели отмечается резкое увеличение валового выхода метана.

Для полнейшего разложения входящих в состав субстратов веществ и для лучшей адаптации микрофлоры необходима более длительная ферментация. Не исключено, что микроорганизмы инокула не успели адаптироваться к боенским отходам, так как предоставившая

инокулум биогазовая станция использует другие субстраты — навоз свиней, кукурузный силос, жом сахарной свеклы.

В каньге довольно низкое содержание сухих веществ. В органическом веществе, вероятно, преобладает клетчатка, входящая в состав зерна и далее — комбикорма. Она переваривается свиньями хуже, чем белки, жиры и простые углеводы, поэтому ее массовая доля в содержимом желудочно-кишечного тракта растет. Что касается осадка флотационного шлама, то в нем, скорее всего, преобладают жиры и белки, требующие для разложения анаэробной микрофлорой достаточно длительного времени.

### Заключение

Специфический выход биогаза из осадка флотационного шлама и каньги от убоя и переработки свиней составил соответственно  $362,39 \pm 34,52$

и  $103,45 \pm 23,92$  мл<sub>н</sub>/г оСВ, специфический выход метана — соответственно  $97,53 \pm 16,20$  и  $2,56 \pm 0,93$  мл<sub>н</sub>/г оСВ. Это заниженная продуктивность, и потенциал субстратов гораздо выше. Такой результат может быть обусловлен недостаточной продолжительностью ферментации, т.е. недостаточной адаптацией микрофлоры инокулума к субстратам и неполным разложением органики.

Таким образом, осадок флотационного шлама, по сравнению с каньгой, представляет гораздо больший интерес как субстрат для производства биогаза.

В дальнейшем будет изучен химический состав флотационного шлама (массовая доля сырого жира, сырого протеина, сырой клетчатки и безазотистых экстрактивных веществ), степень разложения органики; будет увеличена продолжительность batch-эксперимента; будет использован инокулум с адаптированной к исследуемым субстратам микрофлорой.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Степанова И.А., Степанов А. С. Утилизация отходов агропромышленного комплекса. Оренбург, 2009. — 172 с.
2. Шванская И. А., Коноваленко Л. Ю. Использование отходов перерабатывающих отраслей в животноводстве: науч. аналит. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. 96 с.
3. Рециклинг отходов в АПК: справочник / И. Г. Голубев, И. А. Шванская, Л. Ю. Коноваленко [и др.]. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. 296 с.
4. Gooding, C. H., Meeker, D.L. Review: Comparison of 3 alternatives for large-scale processing of animal carcasses and meat by-products // URL: <http://dx.doi.org/10.15232/pas.2015-01487> (Дата обращения: 5.01.2019)
5. Kirchmayr, R., Braun, R. Tierische Nebenprodukte in Biogasanlagen: Chancen und Risiken // URL: <https://www.raumberg-gumpenstein.at/cm4/de/forschung/publikationen/downloadsveranstaltungen/viewdownload/49-expertenforum-2004/417-tierische-nebenprodukte-kirchmayer.html> (Дата обращения: 2.01.2019)
6. Biogaserzeugung durch Trockenvergärung von organischen Rückständen, Nebenprodukten und Abfällen aus der Landwirtschaft: Schlussbericht zum Forschungsvorhaben // URL: [https://www.infothek-biomasse.ch/images/2007\\_FNR\\_Trockenvergaerung.pdf](https://www.infothek-biomasse.ch/images/2007_FNR_Trockenvergaerung.pdf) (Дата обращения: 15.01.2019)
7. Von der Lage, A. Planung und Berechnung baulichttechnischer Elemente zur Verwertung von Schlachtabfällen und Speiseresten über den Biogasprozess // URL: <https://cuvillier.de/de/shop/publications/6384> (Дата обращения: 12.01.2019)
8. Ware, A., Power, N. Biogas from cattle slaughterhouse waste: Energy recovery towards an energy self-sufficient industry in Ireland // URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148116304785> (Дата обращения: 13.01.2019)
9. Biogas from slaughterhouse waste: towards an energy self-sufficient industry // URL: <https://www.ieabioenergy.com/publications/biogas-from-slaughterhouse-waste-towards-an-energy-self-sufficient-industry/> (Дата обращения: 13.01.2019)
10. Klinterberga, P., Jamiesonb, M., Kinyagac, V., Odlare, M. Assessing biogas potential of slaughter waste: Can biogas production solve a serious waste problem at abattoirs? // URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/82573574.pdf> (Дата обращения: 15.01.2019)
11. Pratima KC, Bahadur Ale, B. Production of biogas from slaughterhouse waste in Lalitpur sub-metropolitan city // URL: <http://conference.ioe.edu.np/ioegc2015/papers/IOEGC-2015-019.pdf> (Дата обращения: 14.01.2019)
12. Ware, A., Power, N. What is the effect of mandatory pasteurisation on the biogas transformation of solid slaughterhouse wastes? // URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/waste-management/vol/48> (Дата обращения: 4.01.2019)
13. Jensen, P. D., Mehta, C. M., Carney, C., Batstone, D.J. Recovery of energy and nutrient resources from cattle paunch waste using temperature phased anaerobic digestion // URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/waste-management/vol/51/suppl/C> (Дата обращения: 13.01.2019)
14. Ware, A., Power, N. Modelling methane production kinetics of complex poultry slaughterhouse wastes using sigmoidal growth functions // URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148116310291> (Дата обращения: 15.01.2019)
15. Harris, P. W., McCabe, B. K. Review of pre-treatments used in anaerobic digestion and their potential application in high-fat cattle slaughterhouse wastewater // URL: [https://www.researchgate.net/publication/281024747\\_Review\\_of\\_pre-treatments\\_used\\_in\\_anaerobic\\_digestion\\_and\\_their\\_potential\\_application\\_in\\_high-fat\\_cattle\\_slaughterhouse\\_wastewater](https://www.researchgate.net/publication/281024747_Review_of_pre-treatments_used_in_anaerobic_digestion_and_their_potential_application_in_high-fat_cattle_slaughterhouse_wastewater) (Дата обращения: 15.01.2019)
16. Rouf, M. A., Islam, M. S., Rabeya, T. etc. Biogas from slaughter house waste and optimization of the process // URL: <https://www.researchgate.net/publication/307605379> (Дата обращения: 15.01.2019)

17. Ek, A.E.W., Hallin, S., Vallin, L., Schnürer, A., Karlsson, M. Slaughterhouse waste co-digestion — Experiences from 15 years of full-scale operation // URL: <http://www.sgc.se/ckfinder/userfiles/files/LiU16.pdf> (Дата обращения: 2.01.2019)
18. DIN38~<414 (S8): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Schlamm und Sedimente (Gruppe S); Bestimmung des Faulverhaltens (S8) // URL: <https://www.beuth.de/de/norm/din-38414-8/1209064> (Дата обращения: 12.11.2018)
19. VDI 4630: Vergärung organischer Stoffe — Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche // URL: <https://www.beuth.de/de/technische-regel/vdi-4630/244849582> (Дата обращения: 15.11.2018)
20. Pfeiffer, D.; Dittrich-Zechendorf, M. Messmethodensammlung Biogas: Methoden zur Bestimmung von analytischen und prozessbeschreibenden Parametern im Biogasbereich. Leipzig: Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH (DBFZ), 2012. 151 S.
21. Hellfrich D.; Oechsner H. Hohenheimer Biogasertragstest. Vergleich verschiedener Laborverfahren zur Vergärung von Biomasse. Agrartechnische Forschung (9) Heft 3, S.27–30.

© Мирошниченко Ирина Владимировна ( imiroshnichenko\_@mail.ru ).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина