

В. Баалер, Е. Доне, М. Бреннперфер

БИОГАЗ

теория и практика

Перевод с немецкого и предисловие
инженера М. И. Серебряного



МОСКВА «ИЗДАТЕЛЬСТВО АС» 1982

Biogas in Theorie und Praxis

Behandlung organischer Reststoffe aus der Landwirtschaft

Prof. Dr. Ing. Wolfgang Baader
Dipl.-Ing. Dr. Erich Dührer
Dipl.-Ing. Michael BrandlörferHerausgeber
Kurztium für Technik und Bauwesen
in der Landwirtschaft e. V. 6100 Darmstadt-Kirchlein

Baader W., Dührer E., Brandlörfer M. Биогас: теория и практика (Пер. с нем. и предисловие М. И. Сербрантца) — М. Колос, 1982 — 148 с.

Рациональное использование отходов сельскохозяйственного производства — большая и важная проблема современности. Она связана с одной стороны с возможностью использования природного энергетического потенциала биомассы для получения жидкого и газообразного топлива (биогаса), а другой — с необходимостью предотвращения загрязнения водоемов, загрязнение почвы биологическими бактериями и гельминтами, содержащимися в различных сточках животноводческих ферм. Из этих аспектов статьи обобщают исследования и эксперименты как в зарубежных странах, так и в Советском Союзе: с каждым годом растет число действующих биогазовых установок и особенно в странах с теплым и жарким климатом. В книге обобщены результаты исследований и эксплуатации биогазовых установок за последние 30 лет в ФРГ и других странах. Детально охвачены важнейшие проблемы, связанные с тепловой метабиологие брожения: температурными процессами подкисления биогаса и его нейтрализации. Определенный интерес представляет методика оценки энергетической биогазовой установок в условиях сельскохозяйственных предприятий с учетом комплексного использования биогаса для энергетических целей и удобрений в растениеводстве.

Иллюстрации — 36, таблица 33, список литературы — 150 названий.

Рекомендована к изданию Всесоюзным научно-исследовательским институтом электрификации сельского хозяйства

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Последние годы XX века характеризуется невиданными темпами роста производительных сил в большинстве стран мира, что привело к резкому увеличению потребления всех видов энергии, в особенности заключенной в ископаемом топливе — угле, нефти и природном газе. В результате этого в ряде стран стала ощущаться нехватка традиционных видов топлива, главным образом такого универсального и удобного, как нефть. Энергетический кризис, захвативший многие капиталистические государства, вызвал огромный рост цены на нефть, преобладающей в настоящее время 200 долл. за тонну. Созданная ситуация ускорила стремление населения на службе сельского так называемые нетрадиционные источники энергии: солнечную, ветровую, геотермальную.

Хотя солнечная энергия представляет собой практически неисчерпаемый источник и могла бы удовлетворить энергетические потребности всего населения земли на многие века, ее непосредственное применение связано с большими трудностями.

Другой путь сегодня более перспективный — использовать солнечную энергию, запасенную в биомассе в результате фотосинтезной деятельности растений, для получения жидкого и газообразного топлива. Этому пути уделяется сейчас большое внимание как в промышленно развитых, так и в развивающихся странах. Доля биомассы в энергопотреблении разных стран колеблется в широких пределах. Если в США, например, она еще совсем невелика (— 2,5%), то в некоторых развивающихся странах биомасса служит основным источником энергии для бытовых нужд и приготовления пищи.

Наиболее распространены и удобны способы получения энергии из биомассы — анаэробное (без доступа кислорода) брожение или отходы сельскохозяйственного производства. Получающиеся в результате этого процесса продукты — биогаз и перебродившая поджидная масса — представляют собой большую ценность как газообразное топливо и органическое удобрение.

Не менее важная сторона применения биогазовых установок — предотвращение загрязнения воздуха и водоемов бытовыми, почва и посевы благодаря утилизации и детоксикации навозных стоков крупных животноводческих ферм и комплексов, особенно обеззараженных высокоэффективных органических удобрений.

Все это объясняет большой интерес, проявляемый советской наукой к проблемам метанового брожения различных типов и других органических отходов. В СССР научно-исследовательские и экспериментальные работы по этой теме велись в таких научных учреждениях, как ГрузНИИМЭСХ, Институт физики АН Молдавской ССР, в Запорожском филиале ВНИЭСХа и др. Так, на острове Хортица учеными и специалистами Запорожского филиала ВНИЭСХа (ныне ЦНИПТИМЭСХ) еще в 1959 г. была сооружена биогазовая установка, рассчитанная на переработку навоза от 150 коров и 20 свиноматок с поросятами. Помимо самой установки, в которую входили брозовые камеры, газгольдер и хранилище для перебродившей массы (шлама), были построены насосная станция для перекачки шлама на поля и электростанция, работающая на биогазе. Десятилетняя эксплуатация установки, включавшая в себя эксперименты по подбору наилучшего состава биомассы и оптимальных режимов брожения, необходимых для получения биогаза, по обеззараживанию навоза, изучению удобрительных свойств получаемого шлама, дала чрезвычайно результаты и послужила основой для разработки ряда проектов биогазовых установок для ферм и комплексов с различным количеством скота.

Необходимость и развитие нетрадиционных источников энергии, создание новых энергосберегающих технологий, подчеркнутая в решении XXVI съезда КПСС, проблема обеззараживания и утилизации отстойных масс навозных стоков животноводческих ферм и комплексов, имеющая важнейшее природоохранное значение, требуют усиления внимания к современным способам перера-

ботки органических отходов. С этой точки зрения представляемая читателю книга западногерманских ученых, обобщающая опыт исследований и эксплуатацию биогазовых установок в ФРГ и других западных странах за два последних десятилетия, может принести немалую пользу советским специалистам, работающим в данной области. Кроме основ теории метанового брожения, технологических приемов получения биогаза и его использования в сельском хозяйстве, книга содержит экономический анализ производства биогаза и эксплуатации биогазовых установок. Хотя данные этого анализа относятся к условиям частных предприятий и, естественно, не могут непосредственно быть использованы в нашей практике, методы расчетов и некоторые относительные показатели представляю определенную интерес, так как результаты эксплуатации биогазовых установок — многосторонняя проблема, выходящая пределы общего значения при решении вопроса о сооружении таких установок в условиях аналогичных регионов нашей страны.

В списке литературы по тематике книги приводится 150 названий работ авторов из ФРГ и других западных стран за период, охватывающийся 1977 г. Читателям, интересующимся этой проблемой, рекомендуем обратиться к следующим статьям советских ученых и специалистов, опубликованным в журнале «Механизация и электрификация сельского хозяйства»: П. Н. Лисов, Л. Г. Прищеп и П. А. Кучер «Эффективное использование навоза в сельском хозяйстве» — № 1 за 1976 г., с. 21; А. Н. Хитров «Сельскохозяйственная биомасса как источник энергии» — № 4 за 1980 г., с. 57; И. Г. Васильева «Энергетический потенциал отходов сельскохозяйственного производства» — № 7 за 1981 г., с. 57. Кроме того, в последнем из перечисленных номеров журнала приводится актированный список зарубежной литературы по биогазу и биогазовым установкам, опубликованной в 1979 г., 1980 гг.

М. И. Серебряный

ПРЕДИСЛОВИЕ К НЕМЕЦКОМУ ИЗДАНИЮ

Уже в 1947 г. в ФРГ начались инженерная исследовательская работа в области метанового сбраживания органических отходов сельскохозяйственного производства. Исследуя фундаментальные труды немецких и зарубежных ученых по микробиологии метанового брожения, целенаправленные лабораторные исследования и опыт эксплуатации многочисленных экспериментальных установок разных систем, построенных за короткий срок, удалось получить необходимые сведения о протекании процесса, условиях его эффективности и, исходя из этого, важные данные для определения параметров и конструирования биогазовых установок. Куратору по технике и строительству в сельском хозяйстве ФРГ (КТВЛ) активно поддерживал все эти начинания и обеспечил необходимую базу для научной работы. Однако благоприятная конъюнктура опускания цен на энергию в конце 50-х годов привела не только к прекращению активных исследований и практической разработке в рассматриваемой области, но и к «замораживанию» почти всех биогазовых установок. Лишь одна установка из действовавших в тот период еще находится в эксплуатации.

Новые стимулы к решению упомянутой проблемы появились в течение последних четырех лет в связи с развитием мировой экономики в сферах энергетики, сырья и охраны окружающей среды. В отечественной литературе о возможности получения энергии из источников, которые до сих пор совсем не использовались или не использовались лишь в незначительной мере, биогазу стало придаваться большое значение. Значимость его увеличилась еще и потому, что на основе данных о годовом объеме сельскохозяйственных органических отходов би-

ли сделаны весьма оптимистические прогнозы о количестве энергии, которое можно получить из этих отходов, превращая их в биогаз. Однако при этом недостаточно учитывали то обстоятельство, что эти отходы разлагаются между собой не только по виду, составу и количеству, чем оказывают очень сильное влияние на выход газа, но и (в особенности) отходы разлагаются так, что они поступают в различное время на равных мест и большей частью с неодинаковыми качественными и количественными характеристиками.

На затраты труда и денежных средств, которые необходимы, чтобы превратить органические отходы в субстрат для получения газа биологическим способом, обращали так же мало внимания, как и на повышенные затраты, связанные с содержанием содержащегося в этих отходах энергетического потенциала.

Промежуточный баланс, подведенный на заседании Куратору по 10 марта 1974 г., явно указал на узкие границы, в пределах которых и в наши дни возможно эффективное использование биогазового метода в сельском хозяйстве ФРГ. Нане исследовании добавляет и подкрепляет полученные к тому времени выводы. С учетом уровня научных данных, имевшихся в немецкой и зарубежной специальной литературе, в первой части книги даны рекомендации по технологии упомянутого метода, в особенности в отношении факторов и взаимосвязей, характеризующих процесс получения газа, и по определяемым им предельным для выработки биогаса из растительных остатков и отходов сельскохозяйственного производства. Во второй части приведены данные о возможностях использования биогаса в сельском хозяйстве и связанные с этим технические и экономические вопросы производства. Материалы публикации обзора должны облегчить оценку биогазового метода в его различных вариантах как средства для утилизации растительных отходов, благоприятного с точки зрения защиты окружающей среды, а также как источника энергии, позволяющего экономить затраты энергетических ресурсов, поступающих в сельскохозяйственное производство извне.

Исследование представляет собой результат совместной работы: научно-исследовательского института по сельскохозяйственным машинам Федерального центра сельскохозяйственных исследований, Брауншвейг-Фель-

контроле (в биологической области, ч. I) и КТВИ. Дармштадт (в провинциях сельскохозяйственной и экономической областях, ч. II). Авторы приносят большую благодарность г-ну доктору Титтеру из Научно-исследовательского института растениеводства и семеноводства Федерального центра сельскохозяйственных исследований и г-ну доктору Моллю из Института водоснабжения, утилизации сточных вод и землеустройства Технического университета Дармштадт за краткий разбор рукописи и многочисленные ценные указания.

Упомянутые или рассмотренные в данной работе литературные источники представляют собой лишь часть перечня в зарубежных публикациях по этой теме. Отказ от проверки текущего содержания литературы по биологической технологии мы отказались, поскольку он должен вскоре быть выпущен документационным центром «Сельскохозяйственная техника».

Председатель рабочей комиссии КТВИ.
«Сельскохозяйственная техника и защита окружающей среды»
граф. доктор В. Бандер
Апрель 1978 г.

ВВЕДЕНИЕ

К органическим остаткам и отходам сельскохозяйственного производства относятся главным образом экскременты животных и растительные материалы, в частности солома, а также свекловичная и картофельная ботва и другие растительные остатки, если они не используются непосредственно в качестве корма. Содержащиеся в этих органических материалах компоненты в большинстве случаев могут быть использованы как растительные удобрения, что позволяет таким образом заменить минеральные удобрения, требующие больших затрат энергии и средств. Благодаря относительно высокой температуре сгорания (табл. 1) эти материалы обладают также энергетическим потенциалом, который может быть использован различными способами. Одним из них — производство газа (биогаза) с высоким содержанием энергии путем анаэробного брожения.

Данные о ежегодном количестве экскрементов животных, получаемом в сельском хозяйстве ФРГ, прави-

Таблица 1. Температура сгорания различных органических материалов и вид топлива

Органические отходы	Длина зольного остатка в 1 кг при температуре сгорания, %	Температура сгорания Q_{H_2} в МДж на 1 кг сухого вещества
Отходы свекловичной промышленности	95...98	29...39
Экскременты крупного рогатого скота	77	18...11
Экскременты свиней	89	28...11
Солома	77	11...16

Всего отходов

Вид отходов	Источники поступления	Пополнение отхода Q _в , МДж/г*	
		1975	1976
Биогаз	Экскременты животных с добавленными растительными остатками для биогни	20,25	21,7
Генераторный газ	Дерево-отходы	18,20	18,20
Паралитичный газ	Экскременты животных	52,138	46
Светильный газ		33	45
Природный газ		46	59
Метан		14,19	18
Прочие (газообразные)			
Длительное топливо, твердое топливо, газы			
Прочие (жидкие)			
Каменный уголь			
Дрова			

Таблица 3. Пополнение животных, вывоз и состав экскрементов (1975, 1976 г.)

Вид животных	Пополнение*		Вывоз экскрементов** и вывоз***	
	шт.	кг	кг	шт.
Крупный рогатый скот	14,583	10,014	45	161,18
Свиньи	19,827	1,205	37	23,78
Куры	89,215	0,365	70	0,66

Всего отходов

Вид животных	Процентное содержание по азотной основе**			
	содержание азота в веществе	содержание азота в экскрементах	содержание азота в вывозе	коэффициент
Крупный рогатый скот	11,0	0,6	0,5	0,2
Свиньи	8,5	0,7	0,8	0,4
Куры	22,0	17,0	1,3	3,6

* По [20]

** По [9]

*** Для разных пород от-у различны для св. кур-несушек

Таблица 3. Производство важнейших видов продукции растениеводства и количества соответствующих им отходов в ФРГ за 1975 г., тыс. т [14]

Продукт	Всего	Возрастной состав			
		созрел		в том числе газифицируемо	
		созрел	отходы	созрел	отходы
Пшеница	7013	11 631			
Рожь	2324	3 573			
Ячмень	6971	8 577		3 491	
Смешанное зерно	1 007	1 443			
Овес	1 447	1 010			
Кукуруза	531	707			
Какаофоль	10 811		4 341		
Степная свекла	18 813		13 672		8 980
Кормовая свекла	23 051		5 224		4 050

даны в таблице 2, о количестве биогенных остатков и отходов растениеводства — в таблице 3

Биологическое разложение преимущественно органических соединений, а также части легколетучих и реактивных веществ, содержащихся прежде всего в свежих экскрементах животных, приводит к выделению газа и образованию запаха. Неорганические элементы в зависимости от их вида, состава, срока и места поступления могут вызвать неблагоприятные последствия, например снижение урожайности и качества продукции растениеводства или загрязнение вод. Кроме того, наличие в отходах возбудителей болезней представляет собой потенциальную опасность для людей и животных.

Таким образом, подход к проблеме переработки отходов сельскохозяйственного производства должен базироваться прежде всего на требованиях защиты окружающей среды, куда входят:

- устранение эмиссии вредных веществ при получении и хранении отходов;
- предотвращение контаминации продукции, заражение людей и животных возбудителями болезней;
- предотвращение переноса почвы, воды и растений вредными веществами

При этом применение анаэробных методов имеет дополнительные преимущества с точки зрения производства сельскохозяйственной продукции и экономии энергии,

ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАНОВОВОГО БРОЖЕНИЯ

В. БААДЕЛ

так как при известной урожайности позволяет экономить позитивные удобрения благодаря использованию удобрительных свойств продуктов сбраживания, а также переводит энергию путем реализации энергетически эффективной растительной биомассы.

Те или иные цели процесса переработки отходов, определяемые требованиями охраны окружающей среды, могут быть достигнуты в результате использования как аэробного, так и анаэробного способа брожения. Основные факторы при выборе конкретного способа:

- первоначальные и эксплуатационные расходы; надежность и эксплуатация;
- требования к качеству обслуживания и эксплуатации;
- эффективности использования получаемой продукции.

Если исходный материал находится в жидком состоянии, то анаэробный способ брожения предпочтительнее в смысле эксплуатационных расходов, поскольку потребность в энергии для отделения этапов процесса (нагревание, подогревая) может быть покрыта за счет полученного газа и при соответствующем ведении процесса возможно дополнительное снижение затрат благодаря полному использованию избыточного количества газа. Еще одним преимуществом анаэробного сбраживания можно считать повышенное содержание азота в конечном субстрате, что важно для питания растений (при аэробном сбраживании потери азота достигают 40%).

Таким образом, для сельскохозяйственного производства анаэробный способ представляет собой альтернативу аэробному, поскольку первый связан с относительно малыми затратами энергии и меньшими потерями азота.

В каком объеме и с какими затратами можно получать при этом из отходов газ, дополнительную электрическую энергию для сельскохозяйственного производства или даже для городских потребителей, зависит от большого числа технологических, производственно-технических и экономических факторов.

1. Основные положения

1.1. Особенности процесса

1.1.1. Процессы биохимических превращений [15, 17, 18, 58, 60, 91]

На первом этапе анаэробного сбраживания органических веществ путем биохимического расщепления (гидролиза) сначала происходит разложение высокомолекулярных соединений углеводов, жиров, белковых веществ на низкомолекулярные органические соединения. На втором этапе при участии анаэробобразующих бактерий происходит дальнейшее разложение с образованием органических кислот и их солей, а также спиртов, CO_2 и H_2 , а затем H_2S и NH_3 . Окончательные бактерии преобразовали органических веществ в CO_2 и CH_4 , осуществляются на третьем этапе процесса (метановое брожение). Кроме того, из CO_2 и H_2 образуются

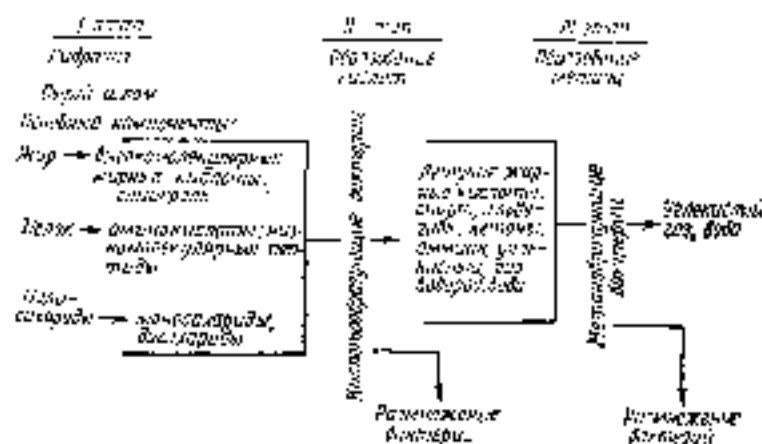


Рис. 1. Этапы процесса анаэробного брожения [14].

в дальнейшем допустительное количество CH_4 и H_2O (рис. 1).

Эти реакции протекают односторонне, причем метанобразующие бактерии предъявляют к условиям среды существованию значительно более высокие требования, чем кислотобразующие. Так, например, они рождаются в абсолютно анаэробной среде и требуют более длительного времени для воспроизводства. Скорости и масштабы анаэробного брожения метанобразующих бактерий зависят от их метаболической активности.

1.1.2. Факторы, влияющие на процесс брожения

Температура [16, 19, 23, 27, 64, 69, 125]

Метаболическая активность и репродуктивная способность микрорганализмов находится в функциональной зависимости от температуры. Таким образом, температура влияет на объем газа, который можно получить из определенного количества органического вещества в течение заданного времени, а также на технологическое время процесса брожения, необходимое для интенсификации при соответствующей температуре определенного количества газа (рис. 2).

В многочисленных более ранних работах названы два температурных предела

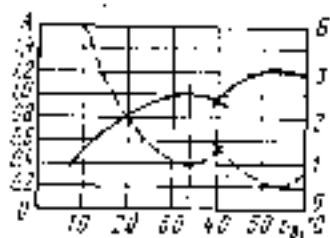


Рис. 2. Изменение количества (А) выделяемого газа, выделяемого при различных температурах брожения (Б) и необходимость для этого длительности (В) ферментации (линии А и В — для 10-кратного увеличения скорости брожения и для 100-кратного).

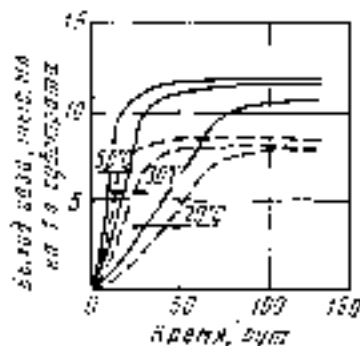


Рис. 3. Влияние температуры брожения на продолжительность процесса брожения на газ: в среднем выделяется газ [63] (линии — для 10-кратного увеличения скорости брожения, — для 100-кратного).

(темпер. 33 и 54°C), которым соответствуют наименьшие значения метаболической активности. Прерывистый характер протекания функции объясняется замедкой метаболической скоростью бактерий на термофильный. Однако, согласно новейшим исследованиям, такая прерывистость не существует, а это означает, что с повышением температур примерно до 54°C [62] условия для образования газа улучшаются. Микробиологическая активность почти прекращается, если температура падает примерно до 15°. К перепадам температуры, в особенности к ее внезапным повышениям, микроорганизмы весьма чувствительны и реагируют на эти снижения метаболической активности и способности к воспроизведению.

Кроме того, температура влияет на качество газа. Так, при возрастании температуры было установлено снижение доли CH_4 в общем объеме выделяющегося газа (рис. 3).

Содержание кислот, pH, буферные свойства (щелочность) [50, 54, 48, 71]

Так как метаболическая активность и уровень интродукции метановых бактерий ниже, чем кислотобразующих, при нарастании количества образующихся органических веществ может возникнуть избыток летучих кислот, который снижает активность метановых бактерий, так как же значение pH опустится ниже 6,5. Обычно величина pH благодаря буферным свойствам субстрата при неравномерном образовании кислот поддерживается на постоянном уровне. Эти свойства проявляются путем образования карбонатов в количествах, превышающих количество выделяющегося для брожения CO_2 .

В качестве оптимальных значений могут быть названы

- щелочность 1500..3000 мг CaCO_3 на 1 л субстрата;
 - pH 6,5..7,5;
 - содержание летучих кислот 600..1500 мг на 1 л субстрата
- Признаки нарушения процесса анаэробного брожения:
- снижение щелочности;
 - уменьшение величины pH;

- возрастание содержания летучих кислот;
- увеличение доли CO_2 в выделяющемся газе;
- снижение выхода газа.

Ингибиторы [45, 58, 59, 64, 66, 69, 71, 131]

К веществам, которые в слишком большой концентрации препятствуют жизнедеятельности микроорганизмов, относятся прежде всего тяжёлые металлы и их соли, щелочные металлы, щелочноземельные металлы, аммиак, нитраты, сульфиды, детергенты, органические растворители, антибиотики.

Таблица 4. Предельные концентрации веществ, препятствующих процессу метанового брожения

	Концентрация, мг на 1 г субстрата	Литературный источник
Медь	10	[69]
Кольцевой Натрий	10000	[66]
Калий		
Масляный Аминок	7000	[45]
Сульфиды	1700	
Нитраты	200 (как средн.)	[66]
	50	[59]

См. также стр. Дополнительные данные в НИИ, стр. 25 и 71

В таблице 4 для некоторых веществ приведены значения концентраций, которые ведут к существенному замедлению метаболизма. Для детергентов, органических растворителей и антибиотиков не имеется точных данных о критических значениях концентраций. Однако в литературе указывается, что эти вещества даже в весьма незначительных количествах препятствуют процессу брожения.

Питательная среда [17, 65, 86, 91]

Предпосылкой беспрепятственного размножения бактерий служит наличие питательной среды, которая содержит как углерод и кислород для обеспечения этого процесса энергией, водород, азот, серу и фосфор — для образования белка, так и щелочные металлы, железо и микроэлементы.

При этом активность микробной реакции в значительной мере определяется соотношением углерода и азота. Наиболее благоприятные условия соответствует значениям $\text{C:N} = 10:16$.

Если в исходном субстрате углеводов больше, чем белковых веществ, то образуется мало аммонийного азота. Вследствие этого выделяется меньше NH_3 и больше H_2 и CO_2 , что ведет к увеличению выхода кислот, снижению рН и тем самым к дальнейшему уменьшению интенсивности метанового брожения. С другой стороны, избыток белка и аминокислот обуславливает возрастание значения рН выше 8, что также приводит к замедлению процесса метанообразования.

Состав газа [17, 65, 86, 91]

Количество в составе газа, образующегося в результате полного разложения органического вещества, зависит от соотношения C:H:O:N в исходном материале и от температуры процесса брожения. Из важнейших соединений, входящих в состав органического вещества, жиры обуславливают необычайно высокий выход газа с высоким содержанием CH_4 , белковые вещества — немного меньшим, но тоже с высоким содержанием CH_4 , и углеводы — относительно мало газа с небольшим содержанием CH_4 .

Средний состав газа, который можно наблюдать на экземплярах животных при оптимальной температуре брожения 34°C соответствует соотношению $\text{CH}_4/\text{CO}_2 = 2$.

Концентрация твердых частиц [45, 58, 121, 131]

Предпосылкой высокой интенсивности реакции служит беспрепятственный обмен веществ на границах поверхности фаз, который должен поддерживаться непрерывным обновлением этих поверхностей благодаря перемешиванию субстрата. Однако это можно обеспечить только в том случае, если вязкость субстрата допускает свободу перемещения жидкости, взвешенных твердых частиц, в особенности бактерий, и пузырьков газа. Верхняя граница концентрации твердых частиц, при которой еще возможно свободное перемещение фаз, для субстрата с мелкодисперсной взвесью твердых веществ соответствует 10–12%. При больших значениях выход

газа значительно уменьшается. Путем инверсионного переиспаривания и соответствующего подбора энергии нежелательный эффект можно существенно ограничить.

1.2. Влияние исходного материала на выход газа

1.2.1. Состав исходного материала

Среди остатков и отходов сельскохозяйственного производства наиболее богаты необходимыми для метанового брожения питательными веществами экскременты животных. Однако они очень различаются между собой как по количеству отдельных компонентов (рис. 4), так и

Источники поступления	Составы, связанные с процессом брожения		
	Биодигер	Биогаз	Биошлак
Корм	Крахмал, сахар Белки	Целлюлоза Лигнин	Лигнин (атерогенный материал)
	Жирные кислоты Белок, пептиды Аминокислоты	Пентозаны Хитин	Целлюлоза с лигнинной соркой (железа)
	Витамины Антибиотики	Жиры Минералы	Кератины (волосы) Кутин Суберин (пробковые вещества) Воск
Органы животного	Слизь, кровь Секреторные клетки Ферменты	Желчные кислоты	Желчные пигменты
	Горючки Биомасса		
Микрофлора	Прожелтывание, коагуляция и химические процессы производные продукты метаболизма животных и микроорганизмов	Индол Скатола Фенолы Полисахариды	Липидно-восстановительные комплексы Гуминовые вещества

Рис. 4. Содержание в экскрементах животных органических соединений, определяющих протекание процесса брожения.

Таблица 5. Состав экскрементов животных (% к сухому веществу)

Категория	Макроэлементы			
	кислоты растворимые в воде	азотистые корма	клетчатка	кальций
Органическая масса	77...85	71...81	77...84	71...77
Азот	2,3...3,9	1,9...3,7	1,0...3,0	2,3...3,7
Фосфор	0,1...1,0	0,2...0,7	1,3...2,3	1,0...2,7
Калий	1,0...2,0	2,4	1,1...2,1	1,0...2,0
Кальций	0,6...1,3	2,3...4,0		5,0...12,0
Магний	0,5...0,6			0,4...1,1
СН	9...15	9...15	9...15	9...15
Сырая клетчатка (дубильная)		27,6...40,3	5...21,4	13,0...17,9
Сырой жир		1,9...4,3	3,5...11,0	2,1...3,8
Сырой протеин		9,3...20,7	16,4...21,5	50,5...42,1
Лигнин	46...50	56...60		4,6...14,4

по эмпирическому составу в зависимости от того, в какой виде животных идет речь и какой корм эти животные потребляют (табл. 5). Кроме того, отходы животноводства в зависимости от способа содержания животных могут включать в себя самые различные количества воды, подстилки, корма и остатки корма.

Для подстилки, образующейся из исходный субстрат содержит, кроме стойлового навоза, другие растительные остатки, следует обращать особое внимание на их состав (табл. 6). При этом прежде всего нужно учитывать характерное для определенных условий высокое содержание лигнина, который практически не разлагается микробами и, следовательно, не принимает участия в процессе газобразования. По этой причине выход газа из экскрементов жвачных животных, которые находятся в кормах с высоким содержанием сырой клетчатки, значительно меньше, чем из экскрементов кур и свиней. Хотя путем механического, химического или термического воздействия лигниновые комплексы можно сделать доступными для биохимического разложения, связанным с этим расходом делают упомянутые методы невыгодными для сельскохозяйственного производства [45].

Таблица 6. Состав слома зерновых, ботвы сахарной свеклы и картофеля (в % к сухому веществу) [75, 98, 124]

Качество	Вещество сухое	Нитраты сухое	Растительная целлюлоза	Лигнин сухое	Сложные сахара	Легкоусвояемая целлюлоза	Картофельная ботва	Картофельная ботва
Органический материал	93,8	21,4	95,4	80,0	10,7	73,2	78,2	
Али	0,26	0,7	0,46	0,24	1,29	0,14	0,14	
Фитин	0,04	0,02	0,02	0,17	0,02	0,02	0,02	
Клейковина	1,1	0,75	0,45	1,92	0,02	1,6	1,6	
Белки	0,21	0,14	0,39	0,21	0,02	0,16	0,16	
Жиры	0,15	0,07	0,13	0,08	0,02	0,16	0,16	
СВ	4	11,5	10,159	10,129	1,3	10	10,32	
Сырая клетчатка	45,3	45,3	47,1	41,3	35,3	41,3	42,4	
Целлюлоза	1,7	1,5	1,5	1,4	1,7	1,7	1,7	
Сложные сахара	3,5	2,9	2,9	1,4	1,7	2,9	1,4	
Лигнин	15,20	15,20	15,20	15,20	5,5	15,20	15,20	

Для образования растительных материалов с высоким содержанием сложных углеводов необходимо добавление богатых азотом веществ, например куриного помета или свиного навоза, чтобы получить соотношение С/Х в пределах, требуемых для беспроблемного протекания процесса брожения.

1.2.2. Размеры твердых частиц [89, 116, 124]

Активного обмена веществ и высокой скорости биохимических обменах процессов можно достигнуть, если поддерживать и непрерывно обновлять максимально возможную величину граница поверхностей между твердой и жидкой фазами. Поэтому твердые материалы, в особенности растительного происхождения, должны быть предварительно подготовлены с помощью режущих, разрыхляющих или пилочных устройств, чтобы в результате эффективного механического воздействия на куски стеблей и соломы получить частицы небольшого размера. Доля взвешенных в жидкости твердых частиц в значительной мере зависит от технических средств, которые используются для подготовки тщательно перемешивания, гидравлического транспортирования субстрата и отделения газа. Современный уровень развития техники позволяет перерабатывать в сельско-

хозяйственных биогорюх установках субстраты с содержанием твердых веществ до 12%, если длина частиц отдельных видов сыпучих и стержневидных твердых компонентов не превышает 30 мм.

В процессе органического вещества можно образовывать в твердой фазе если иметь достаточную влажную среду. Однако образование твердых веществ практически не получают промышленного значения, поскольку в твердой фазе нельзя обеспечить перераспределение и взаимное перемешивание бактерий в субстрате, а также удовлетворительной отдачи газа.

Твердые вещества, влажность которых существенно выше, чем жидкости, обуславливают образование бездиффузионной или плавающей корки, чему способствует флорация. Возникающие в связи с этим механико-гидравлические проблемы в усложняют процесс газообразования могут привести к тому, что для устранения подобных нарушений требуется более высокие затраты технических средств и энергии. Эти трудности можно избежать, если упомянутые вещества перед подачей в реактор отделить от субстрата с помощью механического сепаратора [83]. Однако это приводит к соответствующему уменьшению выхода газа.

1.2.3. Максимальный выход газа

По вопросу о том, какое количество газа может быть выделено из различных сельскохозяйственных отходов, отходов и их смесей при оптимальных условиях образования, имеется весьма разноречивые данные, что объясняется разнообразием состава субстрата. Поэтому мы не можем здесь привести приемлемые для всех условий данные о максимально возможном выходе газа.

Если считать, что газ, выделенный при температуре процесса около 32°C, в количестве разлагается органической массой, то соответствующие значения будут лежать в пределах $V_{max} = 0,8 \dots 1,0$ м³ на 1 кг разложившейся органической массы.

Напротив, выход газа, отнесенный к единице закладочной в реактор органической массы, будет находиться в интервале $V_{max} = 0,4 \dots 0,6$ м³ на 1 кг внесенной в реактор органической массы. Таким образом, в зависимости от вида способов к образованию органической

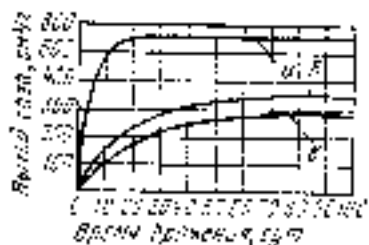


Рис. 5. Выход газа в расчете на 1 г сухого органического вещества (выход газа) в зависимости от времени брожения при температуре брожения 30°C [88].

Легенда: 1 - солома; 2 - овсяная солома; 3 - кукурузный силос; 4 - опилки; 5 - крапива; 6 - сено; 7 - трава.

материала в реакторе разлагается лишь 40..50 % всей заквашиваемой в него органической массы.

Соотношение количества газа, которое могут быть выделены из органического вещества жидкого навоза дойных коров (Д), бычков на откорме (Б), свиней (С) и кур (К) в процессе брожения при температуре 33°C, в первом приближении можно принять равным Д : Б : С : К = 5 : 7 : 8 : 10 [18].

Для предварительного определения количества газа из различных органических материалов требуется стехиометрическая для каждого из них продолжительность процесса брожения, причем выход газа в единицу времени сначала резко увеличивается, а затем по достижении максимума постепенно уменьшается. Полученные при этом суммарные кривые для типичных объектов брожения представлены на рисунке 5. Из рисунка следует также, что трава, содержащая много белковых веществ, обладает высокой скоростью реакции и дает большой выход газа, в то время как солома и экскременты откармливаемых бычков из-за значительной доли лигнина образуются гораздо медленнее и выделяют меньше газа [89]. Это также хорошо видно из таблицы 7, в которой приводятся данные о возможных значениях выхода газа и о продолжительности процесса, необходимой для полного сбраживания типичных сельскохозяйственных материалов.

О повышении выхода газа при увеличении температуры процесса (до 34°C) уже говорилось выше.

1.3. Особенности технологии

Практически достижимый в промышленной установке выход газа зависит от массовых факторов, влияние которых, обусловленное конструкцией установки и

Таблица 7. Выход газа и продолжительность цикла брожения (показ сбраживания) для различных сельскохозяйственных материалов при температуре 30°C [89].

Сбраживаемый материал	Выход газа (л/кг сухого вещества)		Время сбраживания, сут.	Содержание СН ₄ , %	Выход газа в % от общего количества по истечении времени цикла		
	в единицу времени	в целом к концу процесса			в сут.	в сут.	в сут.
Экскременты старых животных, бычков	0,17	315	117	80	24	36	48
Свиной навоз	0,27	415	115	91	40	57	68
Солома с длиной резки 30 см	0,27	345	123	60	29	38	45
Солома с длиной резки 2 см	0,29	423	80	51	51	67	77
Картфельная ботва	0,26	306	75	74	45	59	69
Возрастной свиной навоз	0,56	501	14	85	90	100	100
Трава	0,69	557	24	54	87	96	99

производственными условиями, может быть самым различным. В дополнении к уже названным в разделе 1.2 факторам существенное значение имеют:

- загрузка рабочего пространства (количество загружаемой органической массы, приходящееся на единицу времени и единицу чистого объема реактора), технологическое время цикла брожения (время пребывания в реакторе заквашиваемой в него органической массы);
- интенсивность перемешивания.

1.3.1. Загрузка рабочего пространства

При непрерывном или квазинепрерывном технологическом процессе сбраживания (см. разд. 3.1) наибольшая интенсивность разложения получается в том случае, если количество органического вещества, которое добавляется в единицу времени в находящемся в реакторе субстрате, соответствует уже разложившемуся к данному моменту количеству органического вещества. Добавление больших партий массы ведет к получению

менее разложившегося субстрата и, следовательно, к меньшему выходу газа [126] добавление меньших партий — к худшему использованию рабочего объема реактора.

Если реактор, работающий в дискретном режиме, заполнять слишком быстро (см. раздел 3.1) то нарушение связи соотношения между количеством активных бактерий и массой питательных веществ, вследствие чего обмен веществ также не может протекать оптимальным образом, и соответственно выделяется меньше газа в единицу времени и на единицу массы обрабатываемого вещества. Судя по данным, приведенным на рисунке 8, наибольший выход газа из эваскломента различных сельскохозяйственных животных при условии хорошего перемешивания в небольшой вязкости субстрата может быть получен при значительной загрузке реактора, приведенных в таблице 8.

Таблица 8. Загрузка рабочего объема реактора, время пребывания и разложения органического вещества при температуре брожения около 38°C [111]

Экспериментальный материал	Время пребывания в реакторе в часах	Время пребывания в реакторе, сут	Степень разложения, %
Дольные коровы	6,0	17	30
Бычки на откорме	1,5	13	16
Свиньи	3,0	10	23
Куры несушки	1,5	21	25

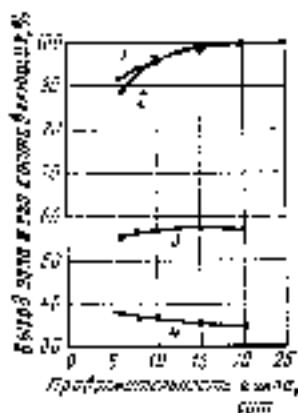
Из таблицы видно, что загрузка реактора должна быть тем ниже, чем выше доля способных к разложению веществ в обрабатываемом в него органической массе и чем больше в ней аммиака (курный помет).

1.3.2. Технологическое время брожения (время пребывания массы в реакторе) [89, 100]

Необходимость во времени, необходимом для полного обрабатывания массы, как правило, очень большая, что соответственно должно было бы привести к применению реакторов больших размеров. Поэтому, исходя из экономических соображений, несколько укорачивают время

Рис. 8. Количество газа, выходя в единицу времени [100]:

1 и 2 — количество выходящего газа в % от объема газа, выходящего в единицу времени; 3 и 4 — содержание азота в газе; 5 и 6 — содержание CO₂ в газе; 7 и 8 — содержание азота в газе.



пребывания массы в реакторе, соответственно для на некоторое количество выходящего газа.

Выбор продолжительности пребывания массы в реакторе зависит, с одной стороны, от скорости разложения, привносящей каждому конкретному виду обрабатываемого материала (см. табл. 7 и рис. 8),

с другой стороны, от заданной степени разложения, которая определяет выход газа и ослабление интенсивности запаха переброжившей массы (шлама). Кроме того, следует учитывать, что с увеличением времени брожения увеличивается содержание (NH₃) в общем объеме выделяющегося газа и одновременно уменьшается содержание (CO₂), что означает улучшение качества получаемого газа (рис. 3 и 6).

Таким образом, для выбора оптимального времени пребывания массы в реакторе тоже нельзя дать универсальных рекомендаций. Ориентировочные данные приведены в таблице 8 [111]. Довольно большое время пребывания в реакторе курного помета обусловлено относительно высоким содержанием аммиака. Отметим, что данные таблицы 8 справедливы лишь для хорошо перемешиваемых субстратов в реакторах, работающих по проточному принципу (раздел 3.1). Продолжительность брожения в условиях прерывистого производства газа, по современным данным, примерно на 20...25% дольше.

1.3.3. Интенсивность перемешивания

Интенсивным перемешиванием содержимого реактора достигается контакт бактерий с субстратом вследствие постоянной перемены ориентации и обновления граничных поверхностей отдельных фаз, а также затрудняется накопление промежуточных и конечных продуктов процесса разложения. Будучи основной предпосылкой высокой скорости реакции, перемешивание способствует

также равномерному распределению питательных веществ в объеме реактора. В то же время это препятствует образованию осадка и плавучей корки и обеспечивает перемещение массы в реакторе.

2. Продукты сбраживания

2.1. Газ

2.1.1. Состав газа

Как уже было сказано выше, к основным компонентам биогаза относятся CH_4 и CO_2 , соотношение которых зависит от исходного субстрата и характеристик процесса брожения (температура, время, пребывающая масса в реакторе, загрузки рабочего пространства). Наряду с этими важнейшими компонентами биогаз содержит незначительные количества H_2 и H_2S (табл. 9), а также N_2 .

Таблица 9. Состав и характеристики биогаза [23, 46, 59, 140]

Характеристика	Компоненты биогаза				Биогазовая энергия (по СН ₄ и CO ₂)
	CH ₄	CO ₂	H ₂	H ₂ S	
Объемная доля, %	50-70	27-34	<1	1	100
Объемная доля в газовой фазе, %	70,8	—	2,8	22,2	21,7
Примечание: количество в газовой фазе в % от объема газа	5-25	—	4-10	1-10	1-17
Температура, °C	65-70	—	25-35	—	16-25
Критическая температура, °C	1,1	—	1,1	2,1	7,1-12,9
Критическая температура, °C	-82,5	31,1	—	166,1	—
Плотность, кг/м ³	1,12	—	0,09	1,51	1,2
Хлориды, мг/м ³	10	148	31	10	120
Плотность, кг/м ³	0,55	2,5	0,1	1,2	0,23

2.1.2. Свойства газа

Приведенные в таблице 9 физические свойства биогаза позволяют судить о возможностях его практического использования и необходимых для этого приемах. Объемная теплота сгорания (Q_v) определяется в основном содержанием CH_4 , поскольку возмездные количества H_2 и H_2S на этот показатель практически не влияют. Соответственно температура воспламенения и предельная воспламеняемость тоже зависят от содержания CH_4 . При выделении возможности сжигания газовой смеси

необходимо учитывать критические значения давления и температуры отдельных ее компонентов (см. табл. 9). Эти значения показывают, что сжигание биогаза практически безопаснее. При использовании биогаза следует учитывать разность в плотности отдельных его компонентов. В плохо вентилируемых помещениях это может привести к опасному для жизни скоплению CO_2 и H_2S в нижних слоях воздуха. Кроме того, скопление CH_4 связано с опасностью взрыва.

2.2. Неразбродивший субстрат (шлак)

2.2.1. Состав шлама [99, 101, 123]

Во время процесса брожения азотокислоты выделяются из органических азотистых соединений и вместе с соединениями фосфора и калия, имеющимися в субстрате и образующимися в результате разложения, преобразуются в переброжившую массу в богатое питательными веществами органическое удобрение. Кроме того, в зависимости от степени сбраживания уменьшается содержание азота, по сравнению с его содержанием в исходном субстрате. Обусловленное этим уменьшение соотношения C/N является благоприятным при использовании шлама в качестве удобрения.

2.2.2. Загрязнение окружающей среды

Запах [125, 130]

Поскольку степень сбраживания, т. е. разложения органического вещества, достигает 30-40%, и благодаря этому в основном происходит распад биологически нестабильных органических соединений, шлам имеет запах, свойственный исходному субстрату.

Выбросы биометана [2, 62, 75, 85, 145]

Теплотехнический эффект анаэробного брожения обуславливается прежде всего тепловым воздействием в течение определенного отрезка времени. Для утилизации отдельных возбудителей болезней требуется в каждом конкретном случае определенная минимальная температура и максимальная продолжительность их пребыва-

ния при этой температуре. Чтобы гарантировать полное уничтожение вегетативных форм бактериальных возбудителей инфекционных заболеваний, в установках для скрепного действия при температуре брожения около 30° для этого необходимо более 30 сут. Более эффективное действие в течение меньшего срока пребывания массы в реакторе (12-20 сут) достигается только при температуре брожения выше 30°С. Однако абсолютно надежного обеззараживания ожидать не следует, так как всегда существует риск, что незначительное число микробов сохранит свою жизнеспособность и сможет послужить источником инфекции. О получении карупа, подвергнутого увеличенному воздействию, пока еще не имеется каких-либо данных.

Что касается установок непрерывного и квазинепрерывного действия, то здесь мы рискуем тем, что больше или меньше субстрата выдут из реактора серия несколько меньшего времени, чем заданные теоретическими гидравлическими расчетами. Таким образом возникает опасность, что патогенным организмам удастся набраться необходимого для их уничтожения теплового воздействия. Даже в установках проточного типа, как пока нельзя утверждать, не удается уничтожить всех возбудителей болезней, попадающих в реактор вместе с жидким навозом.

3. Технологические схемы биогазовых установок

3.1. Системы, применяемые в производстве (рис. 7)

В проточной системе (при непрерывном или квазинепрерывном процессе) субстрат загружают в реактор непрерывно или серия коротких отрезков времени (например, ежеминутно), с такой соответствующей объем шлама (рис. 7 и 8). Всегда постоянный объем субстрата рассчитывается в соответствии с заданными гидравлическими расчетами временем пребывания массы в реакторе. Если обеспечивается постоянство условий производства, а именно подачи массы, концентрации сухого вещества в загрузке рабочего пространства, т. е. концентрации способного к брожению органического вещества при загрузке, оптимальная температура брожения и равномерное перемешивание массы, то этот вид производства позволяет получить максимальный выход газа при непрерывном процессе газобразования.

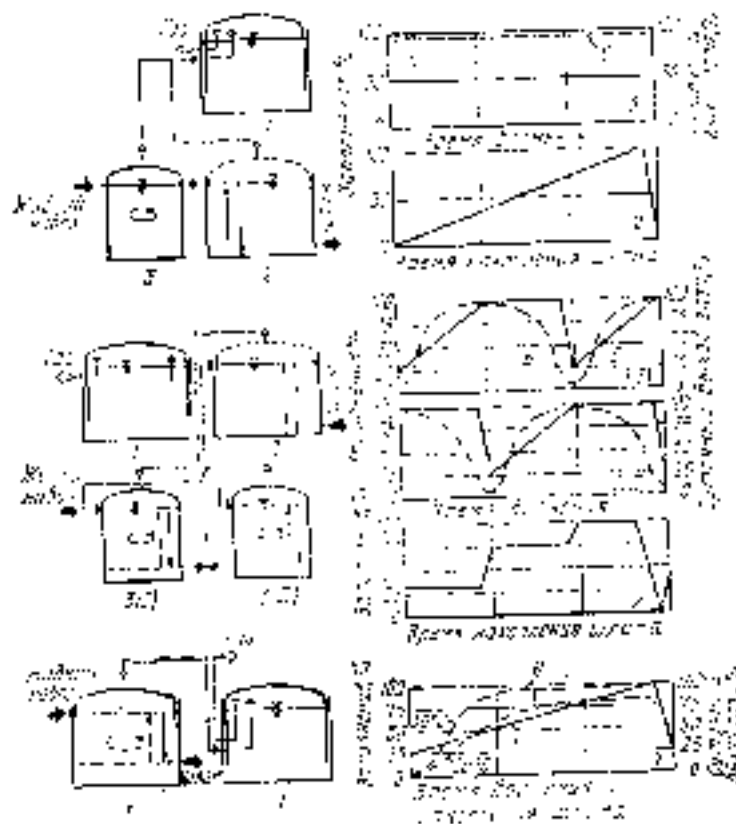


Рис. 7. Системы полу-и непрерывного действия (слева), с поперечным использованием реактора (в центре) с накоплением газа в шлам (справа):
1 — загрузка; 2 — накопление шлама; 3 — газовый канал; 4 — камера для биогаза; 5 — накопитель биогаза; 6 — запорный; 7 — выпуск шлама (а, б, в).

Система с попеременным использованием реакторов [103, 110, 124] характеризуется прерывистым процессом, протекающим не менее чем в двух одинаковых по размерам и форме реакторах (рис. 7 и 9). В случае (например) ежеминутной загрузки свежего субстрата реактора при образовании определенного количества шлама (так называемого затравочного шлама) попеременно возобновляется свежим субстратом и по истечении за-

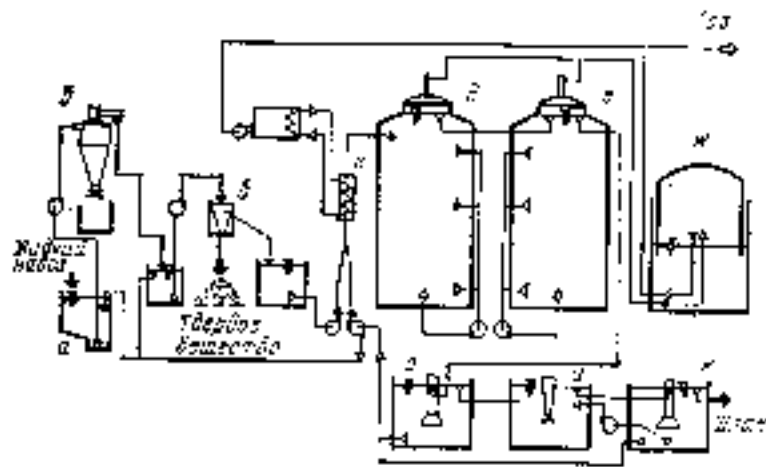


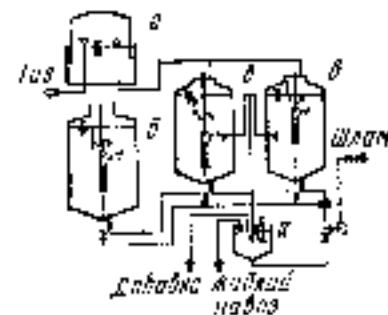
Рис. 4. Метод получения биогаза Рейгер, Фергустежик [53] в проточной системе:

1 — приемный бункер; 2 — выгрузка в реактор; 3 — ферментационный реактор; 4 — газосборник; 5 — газосчетчик; 6 — выход биогаза; 7 — вход биогаза; 8 — выход биогаза; 9 — вход биогаза; 10 — выход биогаза; 11 — вход биогаза; 12 — выход биогаза; 13 — вход биогаза; 14 — выход биогаза; 15 — вход биогаза; 16 — выход биогаза.

Данного срока брожения опорожняются так, что в них остается только затравочный шлам. Поскольку при постоянном количестве подаваемого в реактор материала загрузка рабочего пространства во время процесса заполнения будет постоянно снижаться по сравнению с оптимальным значением, соответствующим необходимому количеству шлама, потенциальная производительность этой системы будет использоваться не полностью. Кроме того, если учитывать наличие порожнего объема реактора во время процесса заполнения, то эта система требует большего рабочего объема, чем проточная; но для равновесия технологическим, он должен быть даже больше [45].

Еще одна особенность рассматриваемой системы заключается в том, что ее нельзя использовать без газового аккумулятора (газгольдера) с подходящим запасом газа. Достаточным для заполнения освобождающегося при выгрузке шлама объема реактора. Это требуется для предотвращения попадания воздуха в рабочее пространство реактора.

Рис. 5. Метод получения биогаза Шумат, Эггергласе [30] по схеме с периодически функционирующим реактором:



Система с накоплением газа и шлама [131] выполняется только с одним жидкостным реактором (рис. 7). Последняя играет роль броидильной камеры и накапливает шлам до момента вывозки в поле. Поэтому реактор никогда не опорожняется полностью; остаток шлама служит затравкой для новой порции субстрата. При непрерывной подаче свежего субстрата постоянно снижается время, отводимое для брожения. В результате этого газовый потенциал накопившейся в реакторе массы используется не полностью.

3.2. Компоненты установки

3.2.1. Реактор

Беза, исходя из характера процесса брожения и его технологии, к реакторам предъявляют в основном требования:

- абсолютной герметичности стенок, препятствующей газообмену;
- непроницаемости для жидкостей;
- сохранения прочности в статическом состоянии при воздействии собственной силы тяжести и массы загружаемого субстрата;
- совершенной теплоизоляции;
- коррозионной стойкости;
- надежности загрузки и опорожнения;
- доступности внутреннего пространства для обслуживания;
- возможности выбора формы, размеров и конструкции реактора решающую роль играют только факторы, как:
 - массовый расход субстрата при заполнении;

Такой реактор можно тоже разделить на две части: главную бродильную камеру и камеру для окончательного этапа обрабатывания и осаждения шлама. Установки этого типа не позволяют получить высокую степень разложения субстрата, так как в них не обеспечивается равномерное перемешивание массы, ни управление загрузки рабочего объема камеры и временем извлечения массы в реакторе, что необходимо для получения максимального выхода газа. Разрушение плавящей корки и осаждение связано с большими затратами (рис. 12).

В горизонтальном резервуаре (рис. 10, в) субстрат перемещается в продольном направлении. При этом для большинства установок можно применять цилиндрические реакторы, сделанные из стали или стек опластика [20].

Наклонное расположение продольной оси резервуара облегчает стекание шлама по направлению к выгрузочному отверстию. Такая конструкция удобна для размещения простейшего перемешивающего механизма (рис. 13).

Бродильная камера в виде вырытой в грунте траншеи (рис. 10, ж и 14) позволяет обрабатывать большие количества субстрата. В качестве строительного материала используют, как правило, бетон. В настоящее время при этом обрабатывая в траншее с наклонным дном и плавящей крышкой получают дальнейшее развитие в США (рис. 15).

На сокращении экономии затрат и создании лучших условий для разрушения плавящей корки реакторы более крупных проточных установок оснащаются большей частью жесткими крышками, т. е. не имеют подвижного газодержателя.

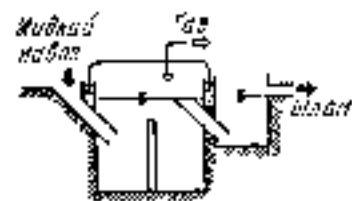


Рис. 12. Простейшая двухкамерная биогазовая установка (Филиппины) [14].

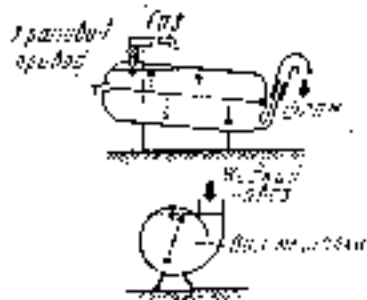


Рис. 13. Горизонтальный реактор с простейшим вращающимся устройством [14].

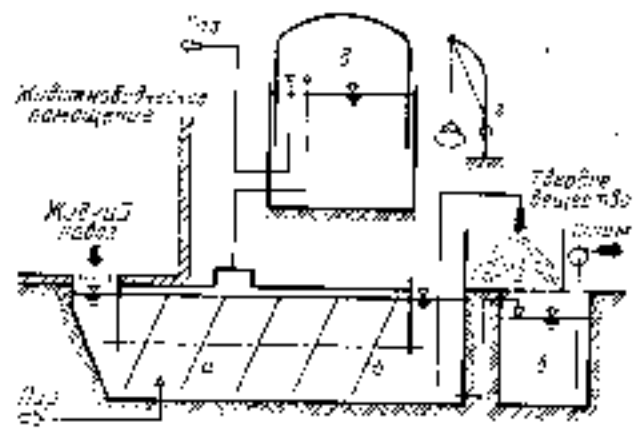


Рис. 14. Траншейная биогазовая установка с крышкой (Япония) [14].

а. б. в. д. е. ж. з. и. к. л. м. н. о. п. q. r. s. t. u. v. w. x. y. z. aa. ab. ac. ad. ae. af. ag. ah. ai. aj. ak. al. am. an. ao. ap. aq. ar. as. at. au. av. aw. ax. ay. az. ba. bb. bc. bd. be. bf. bg. bh. bi. bj. bk. bl. bm. bn. bo. bp. bq. br. bs. bt. bu. bv. bw. bx. by. bz. ca. cb. cc. cd. ce. cf. cg. ch. ci. cj. ck. cl. cm. cn. co. cp. cq. cr. cs. ct. cu. cv. cw. cx. cy. cz. da. db. dc. dd. de. df. dg. dh. di. dj. dk. dl. dm. dn. do. dp. dq. dr. ds. dt. du. dv. dw. dx. dy. dz. ea. eb. ec. ed. ee. ef. eg. eh. ei. ej. ek. el. em. en. eo. ep. eq. er. es. et. eu. ev. ew. ex. ey. ez. fa. fb. fc. fd. fe. ff. fg. fh. fi. fj. fk. fl. fm. fn. fo. fp. fq. fr. fs. ft. fu. fv. fw. fx. fy. fz. ga. gb. gc. gd. ge. gf. gg. gh. gi. gj. gk. gl. gm. gn. go. gp. gq. gr. gs. gt. gu. gv. gw. gx. gy. gz. ha. hb. hc. hd. he. hf. hg. hh. hi. hj. hk. hl. hm. hn. ho. hp. hq. hr. hs. ht. hu. hv. hw. hx. hy. hz. ia. ib. ic. id. ie. if. ig. ih. ii. ij. ik. il. im. in. io. ip. iq. ir. is. it. iu. iv. iw. ix. iy. iz. ja. jb. jc. jd. je. jf. jg. jh. ji. jj. jk. jl. jm. jn. jo. jp. jq. jr. js. jt. ju. jv. jw. jx. jy. jz. ka. kb. kc. kd. ke. kf. kg. kh. ki. kj. kl. km. kn. ko. kp. kq. kr. ks. kt. ku. kv. kw. kx. ky. kz. la. lb. lc. ld. le. lf. lg. lh. li. lj. lk. ll. lm. ln. lo. lp. lq. lr. ls. lt. lu. lv. lw. lx. ly. lz. ma. mb. mc. md. me. mf. mg. mh. mi. mj. mk. ml. mm. mn. mo. mp. mq. mr. ms. mt. mu. mv. mw. mx. my. mz. na. nb. nc. nd. ne. nf. ng. nh. ni. nj. nk. nl. nm. no. np. nq. nr. ns. nt. nu. nv. nw. nx. ny. nz. oa. ob. oc. od. oe. of. og. oh. oi. oj. ok. ol. om. on. oo. op. oq. or. os. ot. ou. ov. ow. ox. oy. oz. pa. pb. pc. pd. pe. pf. pg. ph. pi. pj. pk. pl. pm. pn. po. pp. pq. pr. ps. pt. pu. pv. pw. px. py. pz. qa. qb. qc. qd. qe. qf. qg. qh. qi. qj. qk. ql. qm. qn. qo. qp. qq. qr. qs. qt. qu. qv. qw. qx. qy. qz. ra. rb. rc. rd. re. rf. rg. rh. ri. rj. rk. rl. rm. rn. ro. rp. rq. rr. rs. rt. ru. rv. rw. rx. ry. rz. sa. sb. sc. sd. se. sf. sg. sh. si. sj. sk. sl. sm. sn. so. sp. sq. sr. ss. st. su. sv. sw. sx. sy. sz. ta. tb. tc. td. te. tf. tg. th. ti. tj. tk. tl. tm. tn. to. tp. tq. tr. ts. tt. tu. tv. tw. tx. ty. tz. ua. ub. uc. ud. ue. uf. ug. uh. ui. uj. uk. ul. um. un. uo. up. uq. ur. us. ut. uu. uv. uw. ux. uy. uz. va. vb. vc. vd. ve. vf. vg. vh. vi. vj. vk. vl. vm. vn. vo. vp. vq. vr. vs. vt. vu. vv. vw. vx. vy. vz. wa. wb. wc. wd. we. wf. wg. wh. wi. wj. wk. wl. wm. wn. wo. wp. wq. wr. ws. wt. wu. wv. ww. wx. wy. wz. xa. xb. xc. xd. xe. xf. xg. xh. xi. xj. xk. xl. xm. xn. xo. xp. xq. xr. xs. xt. xu. xv. xw. xx. xy. xz. ya. yb. yc. yd. ye. yf. yg. yh. yi. yj. yk. yl. ym. yn. yo. yp. yq. yr. ys. yt. yu. yv. yw. yx. yy. yz. za. zb. zc. zd. ze. zf. zg. zh. zi. zj. zk. zl. zm. zn. zo. zp. zq. zr. zs. zt. zu. zv. zw. zx. zy. zz.

яки (газоборника). Более целесообразно регулировать объем пространства для накопления газа в соответствии с его выходом и необходимыми давлением в более дешевом специальном газодержателе.

При эксплуатации установок с полуподвижным или стационарным реактором с жестким газоборником, а также аналогичных установок с газодержателем следует предусмотреть, чтобы освобожденный при опорожнении реактора объем был обязательно заполнен газом, поступающим в обратном направлении из газодержателя. Такая схема требует соответственно увеличения вместимости газодержателя. В обеих технологических схемах нужно в каждом отдельном случае решать вопрос о рациональности выбора жесткой или плавящей конструкции газоборника с учетом размеров установки, условий ее эксплуатации и затрат на изготовление.

Особое положение занимают эластичные реакторы, используемые в странах Восточной Азии. Они состоят из плотной резиновой или пластмассовой оболочки, укрепленной изнутри простейшими и имеющей форму пузыря, которая для восприятия статических нагрузок либо заделана в полуформенную выемку в грунте

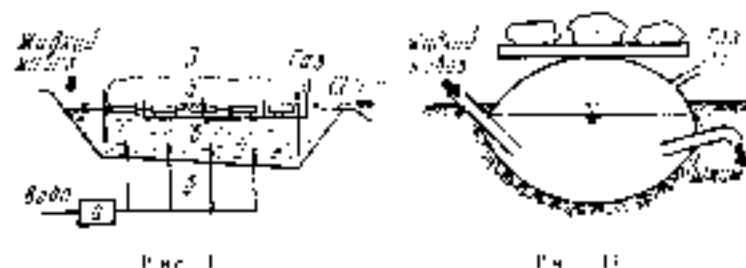


Рис. 15 Принципиальная биологическая установка «Плавящаяся крышка» [15].

1 — бифидум, 2 — вода, 3 — газ, 4 — бродильная камера, 5 — охлаждающая вода, 6 — датчик температуры

Рис. 16 Реактор с плавающей оболочкой (Источник: Ашя, [14]).

(рис. 16), либо находится на поверхности воды и помещается внутри жесткого цилиндрического ограждения [35].

3.2.2. Нагревательные устройства

Чтобы избежать необходимости для процесса брожения температуры и по возможности поддерживать ее на оптимальном уровне, следует прежде всего подогреть подаваемый в реактор субстрат до нужной температуры; дополнительной же подвод тепла необходим для компенсации тепловых потерь. В принципе тепло можно подводить к субстрату в рабочем пространстве реактора или в питающем его устройстве. Поскольку перепады температуры отрицательно влияют на ход биологического процесса, необходимо по возможности обеспечить подвод тепла с минимальным перепадами. Кроме того, в системе подвода тепла необходимо предусмотреть, чтобы на поверхностях теплопередачи не происходило откладывание выделенных в субстрате твердых частиц (поэтому рекомендуются, например, высокие скорости течения субстрата относительно поверхностей теплопередачи) или чтобы эти поверхности легко очищались. Наконец, для работы теплообменника не только важна присутствие в субстрате твердых материалов (например, стальной скрутки, перьев, шерсти).

Подогрев в рабочем пространстве

Для небольших реакторов с переменным уровнем устройства вполне подходят **теплообменные нагревательные агрегаты** (газорезер, Динита, цилиндрические или плоские теплообменники), через которые прогоняется горячая вода ($t \approx 60^\circ\text{C}$) и которые можно вынимать из реактора при его очистке.

Нагреватели, встроены в стенки реактора, целесообразно применять с конца 70-х годов КИД лишь в том случае, если они могут передавать тепло субстрату с обеих сторон стенки, как это происходит в двухкамерном реакторе с внутренней перегородкой (см. рис. 10, и 9 и рис. 11).

Кроме того, подогрев субстрата можно осуществлять непосредственно, подавая в него горячую воду (см. рис. 13) или пар. Поскольку вода служит одновременно для разбавления и турбулентации субстрата, который при загрузке содержит еще очень большое количество твердых частиц, этот метод может оказаться эффективным. Подогрев субстрата путем введения пара под давлением ведет к повышенному содержанию влаги в газе, так что утряска которой при подогреве газа к теплообменнику потребуют дополнительные меры. В крупных установках, в особенности в коммунальных установках для пивоваренных заводов, этот метод также пренебрегают, имея в виду более надежной и эффективной КИД теплопередачи.

Подогрев подаваемого в реактор субстрата

Равномерную передачу тепла субстрату можно обеспечить с помощью теплообменников, расположенных вне реактора. Однако их следует применять только в сочетании с системой принудительной циркуляции субстрата, что влечет за собой соответствующее повышение затрат. Но позволяет надежно регулировать температуру брожения. Эта система подогрева имеет преимущество в том, что благодаря одновременному подогреву и переменному свежему и циркулирующему субстрата разница между температурой поступающей в камеру и уже имеющегося там субстрата будет незначительной. Кроме того, можно поддерживать скорость перемещения субстрата, необходимая для предотвращения осаждения твер-

лого осадка на поверхностях теплообменника. И, наконец, размещение теплообменника вне рабочего пространства реактора значительно облегчает доступ к ним для обслуживания и ремонта.

В качестве нагревательных агрегатов применяют большей частью трубчатые теплообменники, где теплоносителем служит вода, нагретая до температуры $t \leq 60^\circ\text{C}$. Более высокая температура, которую необходимо было бы поддерживать, в частности в установках с термофильными бактериями, повышает риск появления вредных твердых частиц на поверхности теплообменника. Пока что мы еще не обладаем достаточно большим практическим опытом эксплуатации установок с термофильными бактериями. Рабочим образом нуждаются в дальнейших исследованиях теплообменники, предназначенные для подогрева загружаемой в реактор массы путем вторичного использования забалансированной субстратами теплоты. Это можно было бы осуществить либо путем прямой теплопередачи с помощью бокового насоса, либо посредством теплового насоса, оснащенного конденсатором или испарителем, конструкция которого в каждом конкретном случае должна опираться на свойства субстрата [90, 124].

3.2.3. Устройства для перемешивания субстрата

Постоянное равномерное распределение и переориентировка жидкостей и находящихся в ней твердых веществ, различающихся по размеру, форме и плотности, служат предпосылкой беспрепятственного и эффективного протекания процесса брожения.

Механические перемешивающие устройства

Применение предлагаемых перемешивающих устройств предъявляет высокие требования к форме реактора, если должны быть обеспечены необходимые для уменьшения образования осадка и плавающей корки скорости перемещения и требующаяся для интенсификации перемешивания субстрата турбулентность во всех зонах реактора. Поэтому такие мешалки могут эффективно и с допустимым расходом энергии использоваться лишь в небольших реакторах при воздействии на тяжелые суб-

страты. Однако, если речь идет о субстратах малой вязкости, содержащих мало веществ, склонных к осаждению; или образования плавающей корки, то механические перемешивающие устройства оказываются эффективными и в относительно крупных реакторах. Для простых небольших установок в незначительном выходящем газе механические мешалки, которые в некоторых случаях могут приводиться от руки, представляют собой приемлемое решение.

Гидравлические перемешивающие системы

Содержимое крупных реакторов, в особенности цилиндрической формы, можно перемешивать гидравлическим способом, т. е. с помощью струй жидкости. В многочисленных биологических установках, построенных в ФРГ 20 лет назад, очень хорошо зарекомендовала себя система с подвижным соплом (см. рис. 9) [103]. При горизонтальном направлении сопла, которое вращается вокруг оси реактора и может перемещаться вдоль оси, струя жидкости возникает во всех зонах рабочего пространства реактора.

Гидравлические системы с неподвижным соплом требуют, напротив, тщательного выбора в соответствии с размерами и формой реактора, чтобы обеспечивать достаточное перемешивание субстрата во всех зонах реактора.

Перемешивание с помощью газа

Хорошее качество перемешивания можно получить, нагнетая полученный в результате брожения газ в жидкий субстрат (см. рис. 11). Однако при этом субстрат не должен обладать слишком большой вязкостью и быть склонным к образованию плавающей корки; в противном случае следует непрерывно удалять всплывающие частицы [82] или отделять крупные частицы твердого материала от субстрата перед доступлением его в реактор [83]. Пока мы еще не располагаем данными для всех случаев рекомендациями об оптимальных конструкциях, действиях и потребностях в энергии названных выше перемешивающих устройств при их применении в реакторах различных размеров и формы, работающих на типичных сельскохозяйственных субстратах с той или иной концентрацией твердых материалов.

4. Потребность в энергии

4.1. Теплота

Чтобы поддерживать необходимую для процесса брожения температуру, нужно постоянно подводить теплоту к обрабатываемой массе. Потребность в ней складывается из количества теплоты, необходимого для подогрева субстрата от температуры, характерной для помещения, в реактор жидкого воздуха, до температуры брожения, и теплоты, идущей на компенсацию потерь, вызванных радиацией и теплопроводностью.

Располагая теплофизическими характеристиками субстрата и материала реактора, данными о размерах резервуара, величине теплоудаления в процессе материальной температуры брожения и времени пребывания субстрата в реакторе, в каждом конкретном случае можно достаточно простым способом рассчитать необходимое количество теплоты. Многочисленные примеры такого расчета для сельскохозяйственных биореакторов устанавливаются в литературе [36, 45, 77, 113].

4.1.1. Подогрев обрабатываемой массы

Количество теплоты, которое мы должны разогреть для подогрева загружаемой в реактор массы до температуры брожения, зависит от массы субстрата, его средней удельной теплоемкости, разности между температурами процесса и загружаемого материала.

Значения массы субстрата и его удельной теплоемкости для заданного числа животных и способа их содержания можно в первом приближении считать постоянными. Напротив, разность температур подогрева существенно колеблется, поскольку экскременты из животных постепенно движутся в реактор при температуре окружающей среды. Если принять удельную теплоемкость живого субстрата равной теплоемкости воды, то для подогрева 1 кг жидкого воздуха на 1 К (1°C) требуется количество теплоты, равное 4,18 кДж.

4.1.2. Компенсация тепловых потерь

Тепловые потери в реакторе определяются:

- разностью между температурой обрабатываемой массы и характерной для каждого конкретного случая из-

лучней температурой отдельных поверхностей реактора:

- величиной поверхности контакта субстрата и наружного воздуха, субстрата и грунта, газа (в пространстве над жидкой брожением) и наружного воздуха;
- коэффициентом теплопередачи материала той или иной стенки;
- коэффициентом теплопередачи на поверхности контакта между отдельными средами;
- толщиной отдельных слоев стенок.

Так как с увеличением размеров реактора увеличивается отношение площади его поверхности к объему, потери теплоты у более крупном реакторе, отнесенные к единице объема, будут ниже. Для цилиндрических реакторов (проточная система, температура брожения 32,5°C) различным размерам, изготовленных из бетона с изолирующим слоем полиуретана толщиной 50 мм, значительных потерь теплоты, как показывают эмпирические данные, избегают от 8% (для объема 400 м³) и 11% (для 1,21 м³) до 16% (для 60 м³) количества теплоты, необходимого для подогрева соответствующего субстрата [45]. Расчеты, сделанные несколько лет назад для реакторов соответствующих размеров при аналогичных условиях, дали очень близкие значения тепловых потерь [77].

Если известны условия и величина колебаний внешней температуры, учтена КПД выделения теплоты из газа и его выход из обрабатываемой массы, то можно определить, необходимо для подогрева количество газа.

Следовательно, общая потребность в теплоте для биологической установки определяется главным образом затратами на подогрев субстрата до температуры брожения. Потребность в теплоте для компенсации потерь может быть оценена на несколько процентов путем изменения соответствующей величины.

4.2. Механическая энергия

4.2.1. Перегонивание

Потребность в энергии, затрачиваемой на перемешивание субстрата, зависит:

- от необходимой степени перемешивания;
- вязкости субстрата;
- формы и размера реактора;

— конструкции, величины эксплуатационных характеристик (например, частоты вращения) и расположения мембранки.

Предварительный расчет затрат энергии пока еще не представляется возможным из-за отсутствия универсальных количественных соотношений по режимам работы деремшвинных устройств в условиях эксплуатации сельскохозяйственных биогазовых установок. С другой стороны, данные, базирующиеся на измерениях или практическом опыте, имеют лишь ограниченное применение, так как опираются на конкретные тепловые потери в большинстве случаев недостаточны точно определены.

Более надежные данные о потребности энергии на перемещение имеются для установок биологической очистки коммунальных стоков. Для реакторов вместимостью до 500 м³ принимают потребность в электрической мощности, равную 30...50 Вт/м³, при времени включения не менее 4 ч и паузы между рабочими циклами не более 7 ч [62].

4.2.2. Насосы

К важнейшим факторам, определяющим потребность в энергии для привода насосов, относятся:

- вязкость субстрата;
- необходимая в каждом конкретном случае объемная подача;
- конструкция насоса;
- соевый, а также число и кривизна колес в трубопроводах.

Так как насосы для перекачки жидкого навоза достигли высокого технического уровня, мы располагаем необходимыми производственными опытом и данными о потребности в энергии для различных режимов эксплуатации, характерных для биогазовых установок. Это относится также к насосам, которые снабжены устройством для измельчения волокнистых и соломенных частиц.

4.3. Покрывко потребности в энергии

4.3.1. Газ

Наиболее целесообразно использовать биогаз в качестве источника получения теплоты. Его можно, например, применять непосредственно для подогрева воды, которая

в этом случае пропускается через теплообменник; тогда потери энергии минимальны. Вторая возможность — использование газа в двигателе внутреннего сгорания (например, для привода электросерватора), причем вода из системы охлаждения двигателя поступает в теплообменник. Теплоту выходящих газов двигателя можно дополнительно использовать для работы обогревателя. Хвати ли отборочной теплоты газного двигателя на то, чтобы в любое время года покрыть потребности установки в теплоте, сказать с уверенностью еще нельзя. Для ответа на этот вопрос необходимо также выяснить возможность вторичного использования отборочной теплоты переобработанной массы.

4.3.2. Вторичные неиспользуемые теплоты

Теплота, содержащаяся в удаленном из реактора пламе, представляет собой дополнительный резерв энергии, который следует по возможности использовать для подогрева загружаемого субстрата и компенсации тепловых потерь в реакторе. Простейшая возможность такой утилизации энергии — непосредственной перенос теплоты, холод поступающий в реактор жидкий субстрат подотрывается в теплообменнике, где теплообменник служит удаляемая из реактора жидкая масса, которая пропус-

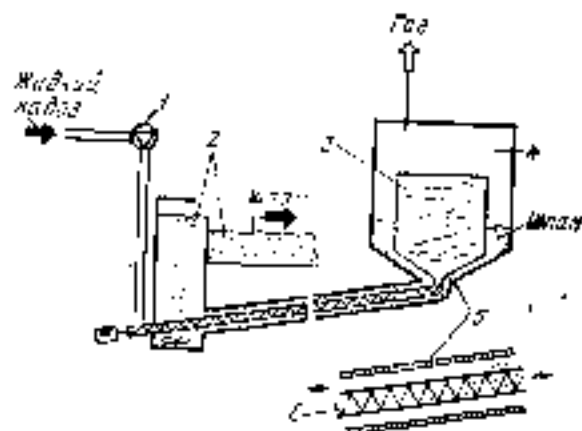


Рис. 17. Подогрев субстрата газом с использованием теплоты отходящих газов на реакторах массы по шведскому проекту [40]: 1 — реактор; 2 — труба подачи шлама; 3 — выход газа; 4 — субстрат для выщелачивания газа; 5 — теплообменник; 6 — отверстие шлюза

восте через трубы аппарата или омывает их. Хорошо использовать инертную среду, идущую в том случае, если удаленная жидкая масса не попадает в промежуточный колонный слой, а поступает непосредственно в теплообменник (например, противоточного типа [11]) и там отдает свои тепло, причем температура массы падает по температуре загружаемого субстрата. Правда, такие схемы, в которых верхний слой жидкий субстрат проходит через колокольчик шлама, имеют более простое конструктивное решение (рис. 17), однако в этих случаях особенно необходимо в обязательном порядке часть энергии вследствие теплоотдачи в колокольчике шлама.

Опосредствованный перевод теплоты с помощью теплового насоса связан с относительно высокими первоначальными затратами. Однако эта система утилизации теплоты представляет собой очень хороший способ сохранения энергии, и особенно там, где тепловой насос работает в сочетании с газовым двигателем (с использованием отбросной теплоты см. в II, раздел 7.2) и конденсатор (или конденсатор) находится в непосредственном контакте со обрабатываемой массой (рис. 18).

Во избежание теплоотдачи в этом случае необходимо промежуточное хранение теплоты, отработавшей в реакторе жидкости в стальном, хорошо изолированном резервуаре, объем которого определяется неравномерной

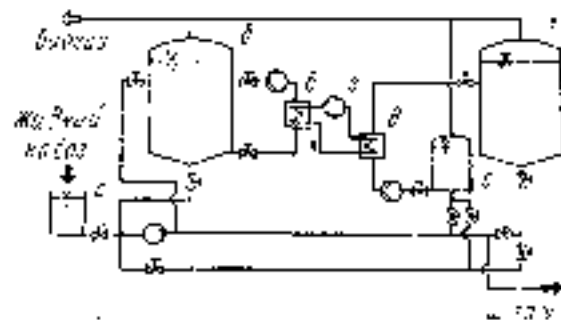


Рис. 18. Теплоотдача отбросной теплоты с помощью теплового насоса [124].

1 — конденсатор; 2 — паровая камера; 3 — конденсатор; 4 — испаритель; 5 — компрессор; 6 — двигатель. 1 — температура кипения; 2 — температура конденсации; 3 — температура конденсации; 4 — температура кипения; 5 — температура конденсации; 6 — температура кипения.

способностью и малым расходом углеводорода из реактора жидкого субстрата. Наличие крупных частей в также пенистых и пудрином субстрате и удаленной массе твердых частиц предъявляет особые требования к конструкции теплообменника.

4.3.3. Источники энергии

Несколько вариантов источников энергии и биогаса можно получить за счет использования дополнительных источников энергии, которые имеются в отдельных случаях.

Теплота излактонадкских помещений

Можно достичь существенно снижения энергетических затрат, если исключить жидкий па путь в реактор будет терять по возможности меньше своей естественной теплоты. Поэтому надо стремиться к максимальному увеличению расстояния между жидкотемп в реакторе и обеспечению хорошей теплоизоляции трубопровода, прокладываемого за пределами животноводческих помещений. И наконец, если разместить реактор внутри этих помещений, потери теплоты еще более сократятся [20, 29].

Теплота окисления

При дробном разложении органических веществ выделяется такое количество теплоты, что в благоприятных условиях температура субстрата может достигать 70°C [4]. Так как эта тепловая энергия образуется теми же процессами, которые выдают биогас, двухступенчатый процесс брожения, состоящий из термической, анаэробной, выходящей целью получения теплоты, и второй, анаэробной, служащей для производства газа, всегда связан с меньшим выходом газа. Кроме того, следует учитывать тот факт, что дробное брожение (компостирование) без дополнительной затраты энергии (не считая подготовки) возможно лишь при наличии твердого и влажного органического материала, который обладает благоприятной для газообмена пористой структурой. Жидкие субстраты, газоточно требуют для введения в них воздуха с одновременным интенсивным перемешиванием больших затрат энергии, которые неблагоприятно сказыва-

ются на общем энергетическом балансе. Дополнительные затраты денежных средств в этом случае также относительно велики.

Окончательное суждение о возможности использования теплоты окисления в сочетании с производством биогаза можно будет вынести только тогда, когда станут известны результаты еще незаконченных исследований по возможности теплоты биогазового производства.

Солнечная энергия

Если для покрытия тепловых потребностей биогазовых установок использовать солнечную энергию, это потребовало бы строительства дорогостоящих теплоаккумуляторов, поскольку количество теплоты, поступающей на землю с солнечным излучением, резко колеблется в течение суток, года, а также в зависимости от местных климатических условий. Другой недостаток состоит в том, что в течение года потребность в теплоте и количество теплоты, поступающей с солнечным излучением, не равны между собой. Поэтому в районах широты и обилие от региона с интенсивным и равномерным солнечным излучением использование естественной в биогазовых установках имеет второстепенное значение.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОГАЗА

У. ДОНЕ И М. БРЕННДЕРФЕР

5. Аккумуляция газа

Чтобы рационально использовать биогаз в сельскохозяйственном производстве, необходимо предусмотреть аккумуляционные газы в определенном объеме, поскольку производство газа и его потребление не совпадают друг с другом.

5.1. Технические возможности

Аккумуляция газа в коммунальных сетях газоснабжения служит с давних пор для выравнивания колебаний потребления и его пиков, различий в качестве газа, отклонений от расчетной продолжительности газовых установок (временные нарушения, аварии и т. п.).

Все это, разумеется, справедливо и для биогазовых установок. Объединение в систему одновременно с биогазовыми установками, которые служат для обеспечения только собственных нужд хозяйства, однако при проектировании крупных установок для снабжения нескольких потребителей (в определенной местности) эту возможность следует иметь в виду. Хотя непрерывная подача газа и добавление в общую систему резервных объемов, характерное для коммунальной газовой сети, позволяла бы эксплуатировать крупные биогазовые установки без дорогих индивидуальных аккумуляторов газа, такая техническая вряд ли может быть реализована из-за различного состава газа и нестабильности его качественных показателей. Регулирование производства газа в соответствии с его потреблением возможно лишь в определенных размерах.

Пики в потреблении газа могут возникать:

- на протяжении суток (например, в домашнем хозяйстве в полдень и вечером — во время обеда и ужина, в сельскохозяйственном производстве — при доении и кормлении животных);
- в течение недели (например, в дни с особенно большой потребностью в горячей воде для стирки и мытья);
- в различные сезоны года (например, в периоды консервирования овощей и фруктов, уборки урожая, сушки сельскохозяйственных продуктов, отопительный сезон в холодное время года).

Потребность в энергии во время суточных и недельных пиков (еще можно предусмотреть с определенной точностью, но для отопительного сезона — лишь весьма приблизительно). На рисунке 19 показаны месячные колебания потребления в коммунальном производстве газооборудования, наименьший и наибольший месячные расходы газа относятся как 1:5 [56]. В сельскохозяйственном производстве, особенно в обеспечении газом как источником энергии, наблюдается аналогичная тенденция, но с несколько большими различиями между сезонными пиками потребления. В главе 8 приведены возможные графики потребления газа для сельскохозяйственных предприятий разного типа.

Существует четыре варианта обеспечения потребности необходимой для него энергией:

- Производство газа выше, чем потребность в нем, даже зимой. Избыточное количество газа сжигается в печах или используется каким-либо образом в рамках предприятия в это время.

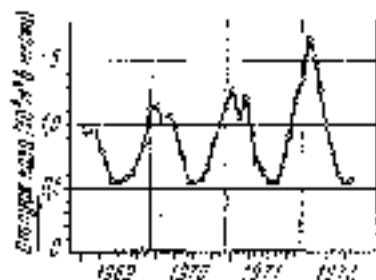


Рис. 19. Изменение расхода газа в коммунальном производстве с 1969 по 1972 г. [56]

- Внепределному производству газа прибавить только соответствующее ему основное потребление. Неизменяемые колебания выравнивать с помощью небольшого буферного газохранилища. Выходящую за эти пределы пиковую потребность покрывать за счет других видов энергии. На

в этом случае не следует отказываться от применения электрического тока на предприятии. Обеспечение двумя видами энергии сводит к минимуму опасность аварий.

- использовать другой дополнительный источник газа только для покрытия пиков потребления, чтобы иметь одну систему газооборудования, например от сети снабжения природным газом. Однако не подходит для этого случай, так как речь идет о другом семействе газов. Для небольших бытовых установок, большей частью прикладных возможностей, этот вариант по экономическим соображениям практически не годится.
- в периоды спада потребления накапливать избыток газа, имея в виду покрытие потребности в нем во время пиков. В этом случае следует рассмотреть возможность производства и потребления газа на более продолжительный период времени. При некоторых условиях использование газохранилища может быть экономически выгодным.

Из перечисленных вариантов для небольших сельскохозяйственных бытовых установок больше подходит вариант б, для крупных установок — а и сочетание (в отдельных случаях) с вариантом в. Можно отказаться от потребления газа в его производстве и вырабатывать суточное, а также недельные колебания путем аккумуляции газа. В установках, приводящих к использованию аккумуляции газа для выравнивания сезонных колебаний потребления, безусловно необходима по экономическим соображениям [56] (см. табл. 10). Если возможный выход газа меньше, чем потребность в нем, можно выбрать вариант газооборудования, обеспечивающий лишь часть всего потребления; если же выход больше потребления, следует несколько уменьшить масштабы производства газа или сжигать его в печах (в данном случае только в периоды спада нагрузки). В качестве следующего шага следовало бы разработать способы рационального его применения. Все стоимостные расчеты можно проводить только с учетом фактически используемого количества газа.

Приведенные выше основные технические варианты газохранилищ известны на практике коммунального снабжения сжиженным и природным газом, из опыта использования промышленных газохранилищ, а также бер-

ных биогазовых установок и современных станций биологической очистки (рис. 20). Для биогазовых установок сельскохозяйственных предприятий первые четыре типа газгольдеров не подходят.

Подземное газохранилище пористого типа

Речь идет о хранении газа под давлением в подземном пласте пористой породы, который сверху и с боков ограничен непроницаемыми слоями. Эксплуатируемые в настоящее время хранилища такого типа имеют газоместимость 40...500 млн. м³. В соответствии с опытными данными 55...65% этого объема можно использовать для практических целей.

Подземное газохранилище каверноватого типа

Газ можно хранить под давлением в специально оборудованных под землей газонепроницаемых породах (кавернах). Вместимость таких хранилищ 1...30 млн м³. Давление, под которым находится газ, составляет от 6 до 16 МПа. 55...65% газоместимости может быть использовано для практических целей.

Газгольдер для сжиженного природного газа

При температуре -161°C сжиженный газ (а также очищенный от CO_2 биогаз) при нормальном давлении можно перевести в жидкое состояние. При этом объем его значительно уменьшается (примерно в 600 раз), т. е. 1 м³ емкости газгольдера содержит 600 м³ газа.

В настоящее время строят такие газгольдеры на 100...100 000 м³, причем их геометрический объем используется полностью.

Газгольдер абсорбционного типа

Метан можно растворять под давлением в жидком углеводороде (пропан-бутан). Этим способом удается в том же объеме запастись газом в 4...6 раз больше, чем другим способом под тем же давлением. Вместе с отсужаемым метаном уходит часть ($\sim 4\%$) находящегося в газгольдере сжиженного газа. Обусловленное этим повышением теплоты сгорания газа компенсируется регулируемой дозировкой воздуха [36].

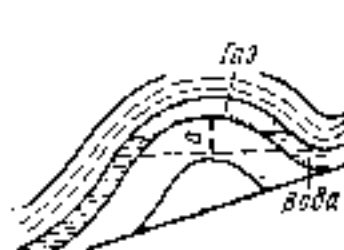


Рис. 20.1 Газохранилище пористого типа [36].
1 — пласты пористой породы, 2 — пласты непроницаемые



Рис. 20.2 Газохранилище каверноватого типа [36].

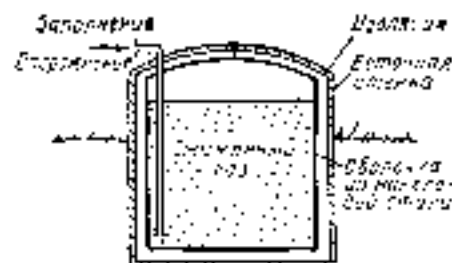


Рис. 20.3 Газгольдер для сжиженного газа

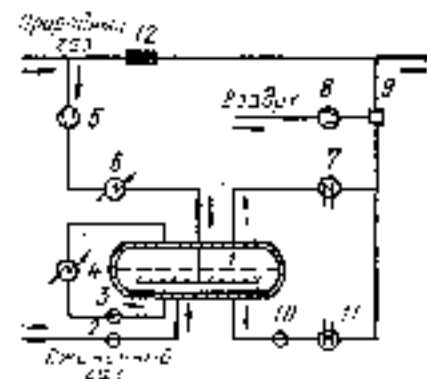


Рис. 20.4 Газгольдер абсорбционного типа [36]: 1 — резервуар жидкого углеводорода, 2 — теплообменник, 3 — блок для сжижки сжиженного газа, 4 — клапан для переключения, 5 — клапан для переключения, 6 — клапан для переключения, 7 — клапан для переключения, 8 — клапан для переключения, 9 — клапан для переключения, 10 — клапан для переключения, 11 — клапан для переключения, 12 — клапан для переключения



Рис. 20.5 Сферический газгольдер постоянного давления.

Таблица 10. Ориентировочные данные о капитализованных газгольдерах

Газовый газгольдер	Эквивалентная вместимость, тыс. м ³	Удельная вместимость, м ³ на 1 м ² площади газгольдера	Годовая вместимость, тыс. м ³ газа при коэффициенте использования 0,8	Максимальная суточная вместимость, тыс. м ³ газа при коэффициенте использования 0,8	
				вечерная	утренняя
1. Подземное резервное или запасное газгольдерное хозяйство	41...201 млн	1...0,02	6...7	0,02...0,04	0,02...0,04
2. Подземное газгольдерное хозяйство в шахтах и подземных выработках	1...10 млн	5...1	120...14	0,31...0,04	0,06...0,50
3. Газгольдер для сжижения природного газа	1...50 млн	2...1...0,6	180...24	0,53...0,07	0,27...0,70
4. Аэрированный газгольдер	10000...120000	0...1	4000	0,25...0,40	0,16...0,30
5. Сферический газгольдер высокого давления	4000...10000	120	4000	0,91...0,43	0,25...0,30
6а. Трубчатый газгольдер высокого давления	100000	2000	2000	0,07...0,08	0,78...2,00
6б. Мокрый газгольдер среднего давления	100...5000	50...25	2000	0,10...0,12	0,23...0,23
7. Сухой газгольдер среднего давления	500...5000	5000...200	2000	0,20...0,07	1,00...0,23
8. Насыщенный газгольдер среднего давления	100000	100	2000	0,20...0,07	1,00...0,23
9. Газгольдер-баллон среднего давления	5...300	300...150	70...12	0,20...0,07	1,00...0,23

* Максимальная вместимость газгольдера в тыс. м³ газа при коэффициенте использования 0,8

Газгольдер высокого давления

Почти всегда для газгольдеров такого типа выбирают сферические резервуары. Они работают обычно при рабочем давлении 0,8...1 МПа (строятся газгольдеры, рассчитанные на максимальное рабочее давление до 1,8 МПа) и имеют вместимость 10...100 тыс. м³. Естественно, можно строить и несферические газгольдеры любого давления — всего на 10...20 м³. К их преимуществам относятся сравнительно небольшие габариты и отсутствие каких-либо движущихся частей. Недостатком считается необходимость в компрессорной установке. Газовоз приходится закачивать из буровой камеры реактора. Для испарения газа в качестве топлива требуется дополнительно повысить давление до 1,5 МПа. На газгольдеры названного типа распространяются все требования техники безопасности, предъявляемые к резервуарам высокого давления.

Трубчатые газгольдеры высокого давления обычно строят вместимостью до 100 тыс. м³ газа с рабочим давлением 7 МПа.

Мокрый газгольдер высокого давления

Номинальная вместимость таких газгольдеров составляет 500...300 тыс. м³; до вместимости 1500 м³ их делают, как правило, одноблочными, при большой вместимос-

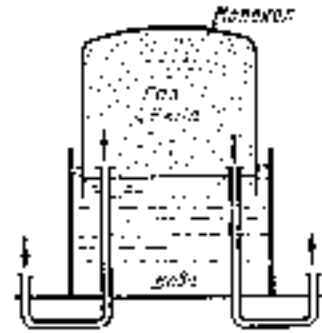


Рис. 206. Мокрый газгольдер высокого давления

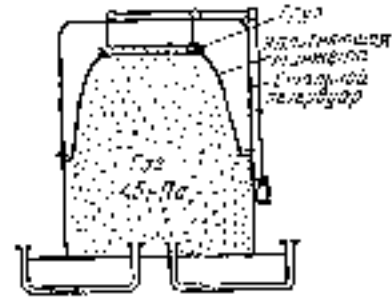


Рис. 207. Насыщенный газгольдер высокого давления

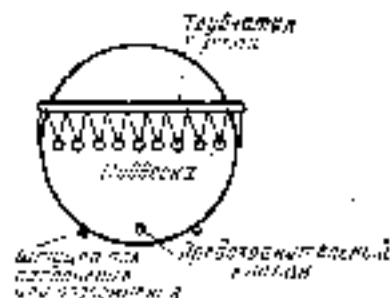
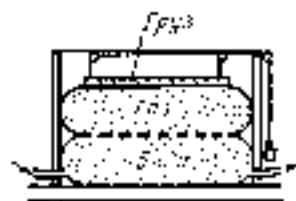


Рис. 20. Оболочечный газгольдер низкого давления.

Рис. 20а. Газгольдер-баллон низкого давления (подвешенный на стальной раме).

га — многопористым. Их недостаток — опасность замораживания зимой, что вызывает необходимость в отоплении. До сих пор в бразильских установках чаще всего применяли мокрый газгольдер низкого давления. Все эксплуатируемые в Восточной Азии примитивные биогазовые установки [144] оснащены мокрыми газгольдерами с брызгалками, которые почти всегда плавают непосредственно в бродильной камере (рис. 21). Большой злетью в смысле жидкого налета. Небольшая потеря газа по периферии колокола не в расчет идет.

Сухой газгольдер низкого давления

Может быть листового или металлического типов. Для сохранения постоянного давления служит уплотняющая манжета, находящаяся под действием груза, который может перемещаться параллельно самому себе, или ласт с квадратным уплотнением, который может двигаться относительно стенок и также сохранять расстояние, параллельное первоначальному. Выпускаются, как правило, номинальной вместимостью 2000...300 тыс. м³, но начинают уже изготавливать и меньшего объема — от 50 м³. Рабочее давление обычно составляет 2...5 кПа. Металлический фундамент не требуется. Основание газгольдера можно герметизировать с помощью пластики. В среднем такой газгольдер обходится дешевле на 20%, чем мокрый.

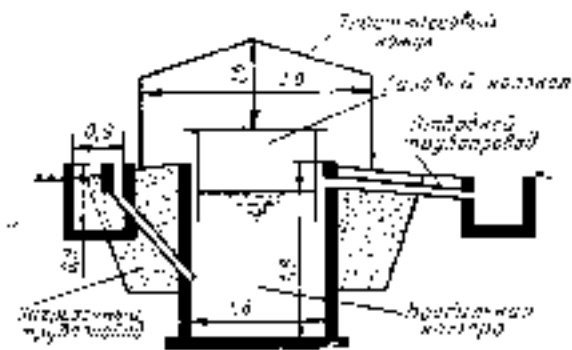


Рис. 21. Разрез простой биогазовой установки, применяемой в Азии, (размеры в м), облицованный пластиком деревянный газовый колокол газовой в бродильной камере [144].

Оболочечный газгольдер низкого давления

В качестве емкости для газа служит герметичная оболочка (побушка). Груз, перемещающийся параллельно самому себе, оказывает на нее постоянное предварительное давление. Такая конструкция требует устройства фундаментной плиты средней прочности. Оболочечные газгольдеры уже широко применяются в установках для очистки городских стоков. Для защиты от повреждения такой газгольдер необходимо устанавливать в специальном кожухе.

Газгольдер баллон высокого давления

В качестве емкости для газа используется простой цилиндрический или сферический баллон из многослойной синтетической ткани. Рабочее давление обычно не превышает 2 кПа, но в случае необходимости может быть и больше. Баллоны изготавливаются серийно вместимостью 5...300 м³. Увеличением их объема увеличивается стоимость 1 м³ газа, стоимость же газа в расчете на 1 кг перерабатываемого материала остается практически постоянной (110...120 марок ФРГ). Такие баллоны изготавливаются из ядерных креплений и должны монтироваться с учетом защиты от механических повреждений. Их можно размещать даже под землей. Они не имеют, естественно, устройств для сохранения постоянного дав-

дение при разных степенях заполнения. Складные емкости вместимостью 0,5-100 м³ уже применяемые для хранения жидкостей, принадлежат к той же группе.

Весьма трудно получить достоверные сравнимые статистические показатели для различных газгольдеров, поскольку эти значения, а также данные экономические данные в время их получения слишком сильно варьируют. В качестве довольно грубого приближения можно рассмотреть таблицу 10, которая базируется на частично экспериментальных данных фирм и литературных источниках [36, 79, 95]. Само собой разумеется, что удельная стоимость газгольдера резко возрастает с уменьшением его размера, что обусловлено относительно высокими затратами на оплату труда и материалов. Расчетные кривые, полученные несколько лет назад из практики ФРГ [95], могут быть использованы также в отечественных условиях в качестве относительных данных (рис. 22), но, конечно, не по своим абсолютным значениям.

Из таблицы 10 и рисунка 22 видно, что стоимость реализуемых до сих пор газгольдеров номинальной вместимостью до 200 м³ (такие газгольдеры чаще всего применяются в пригородных хозяйствах Советских

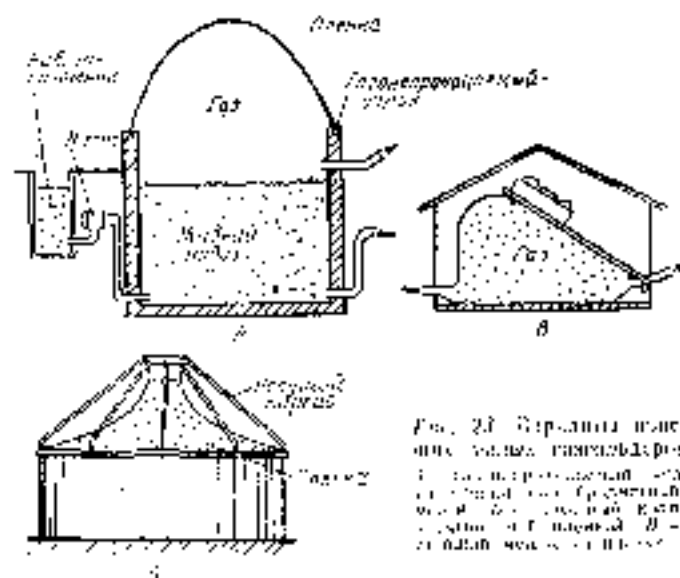


Рис. 23 Варианты пластинчатых газовых газгольдеров. А — газопотребляющий аппарат с газопотребляющим устройством; Б — газопотребляющий аппарат с газопотребляющим устройством; В — газопотребляющий аппарат с газопотребляющим устройством

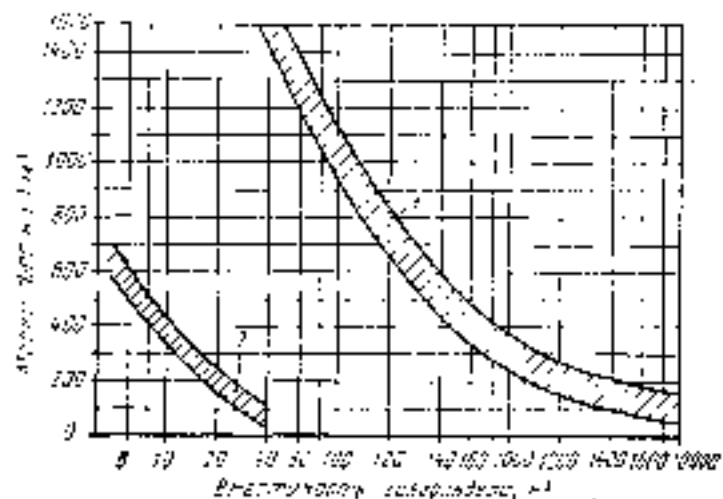


Рис. 22 Предельные затраты на 1 м³ газгольдера в зависимости от объема. 1 — газгольдер с газопотребляющим устройством; 2 — газгольдер без газопотребляющего устройства

установках) несомненно выжили: они приближаются к 20, 30%, стоимости всей установки. Поэтому, исходя из экономических соображений, газгольдер лучше использовать только для выравнивания суточных пиков в потреблении газа. Учитывая те же соображения, не следует строить газгольдер больших размеров, чем это безусловно необходимо; лучше попытаться планировать при помощи различного набора газопотребляющей аппаратуры возмозно более равномерное потребление газа, без пиков (т. е. заранее рассчитать кривые ожидаемого потребления). С другой стороны, мало чекать новые решетки, которые позволили бы снизить затраты на оборудование и обслуживание газгольдеров, и это тем более необходимо, чем меньше габариты проектируемой установки. Взаимосвязи отдельных элементов в этом плане может иметь лишь ограниченное применение.

Также рассматривается три возможных варианта конструкции простейшего малогабаритного газгольдера с точки зрения его реализации (рис. 23):

- газопотребляющий аппарат над бродильной камерой;
- запаянный козлос с нагреваемой пленкой;
- простой жестяк из фольги.

В принципе при рассмотрении этих конструкций нужно учитывать два фактора.

- влияние ветровой, дождевой и сейсмической нагрузки;
- необходимость равномерного рабочего давления.

С точки зрения первого фактора прототипные клапаны из пленки имеют некоторые недостатки. При отсутствии газа (в начале работы или при холостом ходе, а также в случае повреждения) они отскакивают на поверхность паводка, при сильном паводе на павке могут скапывать десятки килограмма воды. С другой стороны, большие надувные сооружения при избыточном давлении газа (0,5 кПа) могут прогибаться даже сильному ветру. Также сооружены оболочка, не имеющие термостатной оболочки, для площади пола 1000 м² стоят около 50...85 марок ФРГ за 1 м². Клапаны из натянутой пленки используются для укрытия каково-либо из осветителей торпедных стоек с целью предотвращения распространения задымления. Благодаря наличию арматуры в двух направлениях такая пленка не страдает от вибрации и шума. Неудача часть конструкций находится снаружи и таким образом защищена от агрессивной окружающей среды. По данным промышленности, уплотнение павода, избыточное давление в котором не превышает 0,1 кПа, не представляет трудности так же, как и дополнительная теплоизоляция. Пленочный клапан для системы диаметром 9 м (используемой сейчас 7000...8000 марок ФРГ, для за 1 м² площади обшивки 110...120 марок ФРГ, двойное пленочное покрытие удорожало бы стоимость примерно на 20%.

Что касается цен на рынке пленочные мешки, то, например, мешок вместимостью 25 м³, изготовленный только из пленки, стоит 4000 марок ФРГ, 50 м³ — 3000 марок ФРГ; примерно столько же стоят галльдерны-баллоны аналогичных размеров. Иногда называют цифры 15...20 марок ФРГ за 1 м² поверхности пленки.

Нагружение пленочного мешка для получения равномерного давления газа не представляет трудности (для этой цели используем мешки с жакетом для привеса, устанавливаемое на подвижной площадке).

5.2. Правовые вопросы

Какие законоположения и инструкции следует учитывать при сооружении газгольдера? Веточником опасности могут служить и газ и сам газгольдер.

(Опасность со стороны газа (газовой смеси))

Метан, входящий в состав биогаза, практически не ядовит. Он легче воздуха, легко воспламеняется и образует с воздухом (5...15% метана) или кислородом взрывчатую смесь. В случае утечки при наличии соответствующей вентиляции газ улетучивается без каких-либо опасных последствий. Небольшое примесь воздуха не опасна; на практике регулируемое присутствие воздуха применяется даже при использовании природного газа [35, 48] и пропана [136] (для доведения до определенной температуры сгорания). Если H₂S и представляет опасность для здоровья людей, то он встречается лишь в виде следов, причем легко обнаруживается по неприятному запаху. Поскольку H₂S тяжелее воздуха, необходимо обрабатывать внимание на то, чтобы при утечке этот газ не смог скапливаться в углубленных (контрольных) шахтах. При высокой концентрации он раздражает слизистые оболочки первыми волокнами, что затрудняет его обнаружение и может привести к смертельным исходам.

Газ коррозионного действия H₂S нужно удалять из биогаза перед его применением [142] — см. приложение 7. H₂S способствует также коррозионному растрескиванию стальных резервуаров. CO₂, входящий в состав биогаза, тоже может скапливаться в глубоких ямках при наличии неплотностей в газгольдере и системе коммункаций; так как он тяжелее воздуха, вызывает опасность удушья.

Возможная опасность представляет собой взрыв газа. Поэтому необходимо предотвратить появление в системе взрывчатой газозелудушной смеси. Препятствуют ей углерод и водород в смеси с воздухом образуют с воздухом взрывчатую смесь только в очень узких пределах. Следовательно, можно без всякого риска допустить больше — более 25% — добавки воздуха. Единственно, что при этом уменьшается температура сгорания.

(Опасность взрыва газгольдера (в результате избыточности давления))

Если газ, находящийся под избыточным давлением, внезапно расширяется (например, в случае дефекта оболочки), — это всегда связано опасностью. Поэтому до-

обходимо очень внимательно относиться к выполнению инструкции, относящейся к сосудам высокого давления. Для резервуаров высокого давления опасность взрыва чрезвычайно мала. Например, специально в правила техники безопасности при обращении с сосудами, находящимися под давлением (VBG 17), не включены инструкции касательно резервуаров высокого давления для горючих газов, которые служат для бытовых нужд [149]. Газовые газобаллоны тоже не подлежат ни к одному из рассматриваемых там трех классов таких сосудов. Таким образом, правильно следовало бы говорить не о бытовом газе, а только о бытовом газобаллоне.

С точки зрения применения газа в сельскохозяйственном производстве к бытовому газобаллону можно предъявить не слишком обременительное требование: сохранение постоянного минимального давления. Таким образом, предельно высокое давление можно в каждом отдельном случае регулировать с помощью редукционного клапана. Минимальное рабочее давление должно быть в пределах 0,7...1,0 хПа, чтобы газовые приборы могли работать бесперебойно. Поскольку бактерии производят биогаз независимо от давления в системе, давление газа в газопроводе без дополнительного жатки может достигать нескольких десятков мегапаскаль [67].

Между реактором, газобаллоном и потребителем размещается следующая дополнительная аппаратура (см. ставу 6): устройство для защиты от обратного удара пламени в виде гравитационного фальшгазабоушителя (для удаления влаги); осушитель (для удаления H_2S) и в отдельных случаях редукционный клапан.

В правилах бытового устройства, принадлежащем сельскохозяйственному предпринятию, относятся прежде всего к компетенции Сельскохозяйственного общества страхователей ФРГ. В правилах по технике безопасности, изданных этим обществом [148], бытовые установки рассматриваются в разделе 5 (см. приложение 2). Хотя эти регламенты были разработаны еще в 60-е годы, они действительно и сегодня. Чтобы упростить или изменить их, требуется запрос на имя руководителя Сельскохозяйственного общества страхователей ФРГ в Касселе, которое должно будет решить вопрос через свой Совет по технике безопасности. Но в любом случае при этом исходят из уже действующих регламентаций

аналогичных профессиональных союзов и организаций, таких, как Профессиональное объединение газовой и водоснабжающих предприятий; Германский союз специалистов по газу и водоснабжению; Главный союз ремесленных профессиональных обществ; Профессиональное общество химической промышленности; Федеральное общество муниципальных страхователей от несчастных случаев (BAGUW), в ведении которых находятся установка для очистки городских стоков.

Во внимание профессиональных обществ применяется для случаев, представляющих общий интерес, одни и те же конкретные регламентации, согласованные в результате обсуждения.

Прежде всего — это правила для предупреждения несчастных случаев: «Газовые предприятия» (VBG 652) — в настоящее время перерабатывается — и «Газы» (VBG 61).

Обе эти инструкции не ориентированы на такие особые случаи, как «Получение биогаса» или «Получение газа в результате брожения». Только в разрабатываемой в настоящее время инструкции № 175 BAGUW («Правила техники безопасности для установок по очистке стоковых вод — сооружение и оснащение оборудованием») говорится о специальных условиях для получения газа, так что эти регламентации можно использовать для ориентировки [145]. Особенно необходимо отметить следующие пункты упомянутой инструкции:

1. В качестве авторитетных регламентаций и источников технических вопросов действует «Правила безопасности при получении газа» Федерального союза специалистов по газу и водоснабжению (DVGW), а также соответствующие стандарты DIN.
2. Описание устройств для защиты от обратного удара пламени, устанавливаемых между реактором и газобаллоном, а также между потребителем и газобаллоном.
3. В отличие от регламентаций (DVGW), касающихся получения газа, и стандартов DIN в установках для очистки стоковых вод разрешается использовать также пластмассовые трубы (из твердого этилена или ударопрочного поливинилхлорида) для газопроводов.
4. Применение мощных осушителей серы возникает опасность самовоспламенения при регенерации.

7. Эффективная вентиляция всех помещений.
8. Защита установок от опасности взрыва.

Естественно, необходимо учитывать также все законы и предписания, действующие в ФРГ (например, особенно положения по предотвращению взрывов и закон о правилах безопасности при обращении с машинами), которые страховые органы используют как основу при составлении своих инструкций по технике безопасности. В инструкции по технике безопасности, изданной Обществом сельскохозяйственных страхователей, требования не проукрупнены. В ней можно отметить следующие пункты (см. приложение 2):

- действительно только для резервуаров вместимостью до 100 м³;
- сооружение — по общепринятым техническим принципам. Это означает, например, использование выпущенных «Правил безопасности при получении газа» (DVGW) Уточнить сферу применения этих правил в каждом отдельном случае должно Общество сельскохозяйственных страхователей. До настоящего времени это было невозможно;
- строительство и монтаж выполняет специализированная фирма. Естественно, что подачу газа в потребителю должна производить зарегистрированная фирма. Однако еще не удалось установить, допустимо ли, например, в таком случае использование пластмассовых трубопроводов, как это разрешается в установках для очистки городских стоков (хотя при других видах общественного газоснабжения их не применяют);
- вентиляционные установки;
- безопасные лампы, применяемые в подземных горных разработках;
- безопасные расстояния от мест получения газа, а также запрещение курения и питья от них;
- электрификация, соответствующая взрывобезопасным видам производства;
- точные инструкции по эксплуатации.

В соответствии с инструкциями Общества сельскохозяйственных страхователей на биогазовые реакторы вместимостью свыше 100 м³ распространяются регламентации Федеральности союза специалистов по газу и водоснабжению, например, применяется также предписание № 6) «Газы». Для газовых резервуаров низкого

давления вместимостью более 500 м³ и при рабочем давлении 5 атм действительны регламентации DVGW G 430, «Предписания по монтажу и эксплуатации газовых резервуаров низкого давления» и G 431 «Предписания по изготовлению газовых резервуаров низкого давления». Однако все эти регламентации не распространяются на простейшие газгольдеры из пластика или емкости из стали.

В правилах по технике безопасности, изданных Обществом сельскохозяйственных страхователей, отсутствует пункт, запрещающий применение простейших низкого давления газгольдеров (см. рис. 23). Простейшее защитное ограждение, представляющее механическим повреждением, представляется само собой разумеющимся. Наличие крыши можно считать необязательным требованием. Желательно бы иметь официальное разрешение на использование малых газгольдеров номинальной вместимостью около 25 м³ и стоимостью 300 марок ФРГ за 1 м³. До настоящего времени считалась обычной вместимость газгольдера, равная 0,8..1,5% от ежегодного выхода газа [79]. При благоприятных условиях эта величина может быть уменьшена (но не в тех случаях, когда несколько реакторов используются попеременно в одной технологической схеме), при неблагоприятных — очевидно, должна быть увеличена.

В соответствии с § 24 Промышленного устава не нужно оформлять официальные документы на сооружение биогазовых установок в хозяйствах. Но для их возведения требуется официальное разрешение строительных властей.

6. Подготовка биогаза к использованию

При подготовке биогаза к использованию участвуют в основном три обстоятельства:

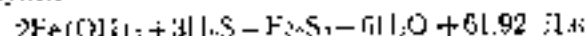
- удаление H₂S (обессеривание нужно прежде всего для предотвращения коррозии, вызываемой в особенности остаточными продуктами сгорания, и удаления ядовитой части (газовой смеси);
- удаление CO₂ (повышает теплоту сгорания газа и необходимо для его сжижения);
- изопримирование и сжижение (при использовании в качестве топлива для тракторов).

Затраты на подготовку газа зависят от его состава, требований потребителя к чистоте газа и от загрузки оборудования.

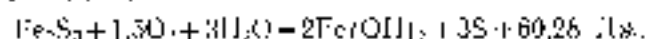
Обессернивание

Почти все применяемые в химической промышленности методы обессернивания тесно связаны с одной системой и поэтому не могут быть без изменения перенесены в различные биогазовые установки. По нашему мнению, следует исключить из рассмотрения следующие методы: — абсорбционные, в которых H_2S регенерируется как сероводород (углеродный метод, или абсорбция с помощью триэтилалюмина); — метод, применяемый при работе с кислотными веществами (применение жидкой мышьяка); — методы, при которых возникает опасность взрыва из-за образования сероуглерода (адсорбирование активированным углем); — метод Клауса (очень дорогой, восстановление свободной серы).

Таким образом, остается лишь старый каталитический сухой метод с использованием в качестве катализатора $Fe(OH)_3$. Этот метод можно представить в следующей формуле:



Регенерация массы в присутствии воздуха выражается следующей реакцией:



Известно, что масса катализатора постепенно обогащается серой (максимальная степень обогащения 25%) и что при регенерации высвобождается значительное количество теплоты; это даже может привести к воспламенению смеси обогащенной серой массы (серая масса имеет коричневую окраску, обогащенная — черную). Стоимость 1 т катализатора — 600 марок ФРГ. Расход массы рассчитывается из количества ее поступившего на сжигание серы (m^3 газа/24 ч) × т серы/ m^3 × 4 т катализатора/24 ч, и потери на истерание за один цикл. Обменный расход катализатора при содержании серы 0,1–0,20 г в 1 м³ биогаса составляет около 120–130 г на 100 м³ суточной газопroduкции. Промышленная установка для различной суточной производи-

тельности и различной степени механизации, с отдельными регенеративными колоннами или со встроенными регенеративными камерами и простой коммутацией. Небольшой аппаратомеханической абсорбительной батареи типа для сжатого газа при суточном выходе 600 м³ стоит около 30 тыс. марок ФРГ. Конечно, для установок с небольшим выходом газа можно строить более экономичным способом применительно обессериватели, рассчитанные на большие затраты ручного труда (поток газа должен быть всегда направлен снизу вверх), но при этом необходим тщательный ежедневный технический уход!

Абсорбционная очистка от CO_2

Хотя CO_2 представляет собой инертный компонент биогаса, снижающий в некоторой степени температуру сгорания, однако он ни в какой мере не препятствует использованию биогаса. Только в крупных установках может последовать абсорбирование смеси биогаса от CO_2 , но это возможно лишь при значительных затратах и будет рациональным и экономичным при очень высоких суточных выходах газа и угли закиси углеродного CO_2 .

Компримирование биогаса

В 50-х годах в нескольких биогазовых установках проводили в ряде экспериментов сжатие биогаса под высоким давлением, заполняя им баллоны и использовали в качестве моторного топлива для тракторов. В настоящее время это представляется нецелесообразным по двум причинам: из-за большой относительной части баллонов для сжатого газа и широкой стоимости компримирования. Выпускаемые промышленностью 50-литровые баллоны для сжатого газа на номинальное давление 20 МПа имеют массу 65 кг и могут вместить не более 10 м³ газа, что соответствует 6,2 л дизельного топлива. Для работы трактора мощностью 50 кВт в течение полугода смеси требуется в среднем 32 т дизельного топлива или пять баллонов со сжатым газом. Если учесть дополнительные крепления, то это составит дополнительную массу не менее 100 кг, которая будет постоянно находиться на тракторе во время его работы. При стоимости этих пяти баллонов 3000 марок

ФРГ, годовых амортизационных отчислениях, равных 18% от этой суммы, и годовой выработке трактора 500 ч дополнительные затраты на 1 м³ биогаза составили 0,09 марок ФРГ. Применяемые газовые баллоны на меньшее номинальное давление, например баллоны для пропана, нежелательно, поскольку в этом варианте нельзя будет обеспечить запас газа, требуемый для бесперебойной работы трактора. Разумеется, баллоны для газа высокого давления нуждаются строгому контролю и испытанию, что опять-таки обуславливает дополнительные затраты. Кроме того, приходится учитывать конструкцию, кажущуюся сложной, так как она располагается в на перевернутой емкости, находящейся под давлением.

Не менее проблематично сжатие биогаза под высоким давлением экономично только при очень высокой подаче и высокой токовой нагрузке компрессорной установки. Самая малопродуктивная установка, которая уже считается экономичной в промышленности, стоит:

компрессор высокого давления (50 м³/ч при 0,7 МПа) — около 50 тыс. марок ФРГ
резервуар для хранения газа (30 м³, 4 МПа) — 1,5—1,75 марок ФРГ за 1 м³

В данном случае может не учитываться, поскольку в качестве оборудования в газопроводах газоподводящих установок для двух компрессорных баллонов — около 30 тыс. марок ФРГ
земельный участок, строения, фундамент, средства техники безопасности, трубы, трубопроводы, арматура, монтаж и др. — около 300 тыс. марок ФРГ

Всего около 180 тыс. марок ФРГ.

При этом не учитывались затраты на резервную компрессор в случае аварии, как это делают обычно в промышленности, чтобы избежать ущерба при отколе основного агрегата.

Комплект на 12 50-литровых баллонов стоит около 7,5 тыс. марок ФРГ
Комплект на 28 50-литровых баллонов стоит около 12,11 тыс. марок ФРГ

Ориентировочные годовые расходы на такую установку составляют:

-- амортизационные отчисления, уплата процентов, обслуживание, ремонт, налог — около 16% стоимости установки — 12 тыс. марок ФРГ;

— оплата труда квалифицированного рабочего. Эти специализированные установки можно обслуживать только специально обученными рабочими и обслуживать их можно — 10 тыс. марок ФРГ;

— стоимость энергии — около 0,05 марок ФРГ на 1 м³ сжатого газа;

— при 70-кВт нагрузке компрессорной установки (около 375 тыс. м³ в год) стоимость 1 м³ сжатого природного биогаза, доставленного, оно составляет примерно 0,32 марки ФРГ при частковой нагрузке (200 тыс. м³ в год) и 0,41 марки ФРГ при частковой нагрузке (100 тыс. м³ в год) и 0,77 марки ФРГ.

Таким образом, компримирование биогаза из-за огромных расходов является нежелательным.

Другой альтернативой можно было считать сжижение биогаза при достижении им критического состояния (4,7 МПа, — 82,5 °С) или при нормальном давлении и температуре — 161 °С. Соответствующая комплектная установка для сжижения природного газа (используемая установка) и производительностью 200 м³/ч, по данным промышленности, стоит 2,6 млн. марок ФРГ. При полной ее нагрузке 1 м³ газа обходится дороже на 0,35 марок ФРГ.

К недостаткам сжижения (т. е. принадлежащей предприятию) компрессорной установки относятся также следующие:

- дополнительная потребность в площади;
- чрезвычайность по сравнению с газовым оборудованием; расходы на предусмотренные законом выплаты на безопасность — 500 марок ФРГ в сутки;
- необходимость в квалифицированном обслуживающем персонале;
- большие затраты на ремонт и запчасти;
- необходимость аварийного резервирования во избежание значительного возможного ущерба и быстрого выхода установки из строя;
- дополнительные виды страхования.

7. Использование биогаза

В связи с тем, что в дальнейшем изложении мы не будем приводить каких-либо данных по этому вопросу, приведем следующие значения (1 т среднего выхода биогаза с 1 т органического сухого вещества):

изход крупного рогатого скота	511
свиней	300
овечьего навоза	100

и количество энергии в 1 м³ биогаза (содержащего около 60% метана), равное 22 МДж.

Поскольку речь идет о замене биогазом других энергоносителей, требуемое его количество не может быть просто рассчитано через приведенную величину удельной энергоемкости: в каждом конкретном случае графика газа необходимо учитывать различные коэффициенты полезного действия. Ниже приведены эти значения для типичных случаев использования газа (значительно совпадающие с данными Фальдмана [28]).

Таблица 11. Коэффициенты полезного действия

	Энергоноситель	Коэффициент полезного действия	Доля энергии, теряемая при сгорании биогаза
Для отопительных целей (при полной утилизации)	Камин, уголь, природный газ, биогаз	0,6	4,73
	Светильники	0,82	1,9
	Электростанция	0,91	1,16
	Котельные установки	0,78	1,35
Для привода электромашин	Газ	0,28*	3,9
	Дизельное топливо	0,31	1,13
	Бензин	0,21	6,9
	Электрический ток	0,35	3,24

* Фигура Воббе даст правильное значение для газа с высокой температурой сгорания $T_{\text{сг}}$.

Конечно, полная нагрузка потребителя существенно снижает общий коэффициент полезного действия. Аналогичные значения этого коэффициента для процессов нагрева или охлаждения будут рассмотрены позднее, но они не столь существенно различаются между собой при использовании электроэнергии или газа и могут быть положены в основу расчета чистого содержания энергии.

В принципе газовые приборы с точки зрения использования первичного энергоносителя значительно экономичнее, чем электроприборы (это обусловлено высокими потерями преобразования при получении электрического тока). Кроме того, в настоящее время разрабатываются отопительные устройства, в которых выпускные газы конденсируются, в результате чего до-

полнительно получается теплота испарения содержащейся в них воды [47], и, следовательно, при расчете баланса энергии можно вместо подставляемой обычно величины теплоты сгорания $Q_{\text{ц}}$ использовать значение общей теплоты сгорания $Q_{\text{в}}$.

При получении электрического тока с помощью приводного газовой двигателем генератора справедливо следующее соотношение: 1 м³ биогаза дает 1,6 кВт·ч электроэнергии. Теплоту воды из системы охлаждения и теплоту, отдаваемую с выпускными газами, можно в конкретных случаях дополнительно утилизировать (см. раздел 7.2).

7.1. Используемые литература и таблицы

Средняя теплота сгорания биогаза, содержащего около 60% метана, равна 22 МДж/м³. Поскольку горячая часть биогаза состоит из метана, его можно приравнять к семейству газов «Н» (природные газы). И без того очень высокой скоростью распространения пламени в метано-воздушной смеси (примерно 43 см/с), характерная для природного газа, при использовании биогаза отличается еще больше из-за высокой доли CO₂: эта скорость для смеси воздуха и светильного газа равна 65 см/с, для воздушно-водородной смеси — 265 см/с). Метан имеет также самую высокую — около 645°C — температуру воспламенения по сравнению с другими горючими газами. Во всех сферах применения биогаз ведет себя аналогично природному газу, но дает несколько худшие показатели. В стандарте ФРГ DIN 3362 перечислены различные показатели стандартизации бытовых газов, на которые ориентруется промышленность. Так, например, вся аппаратура, рассчитанная на применение любого газа, должна быть приспособлена к работе на перечисленных в стандарте газах или образцовых газовых смесях. Собственно биогаз не входит в этот перечень. Ближе всего он подходит к образцовой газовой смеси 627, состоящей из 82% метана и 18% инертного N₂. Наличие значительного числа Воббе, которое служит для сравнения взаимозаменяемости газов, составляет для биогаза с тепловой сгорания 22 МДж/м³ около 24,5. Газы с таким же числом Воббе и равным давлением истечения обычно могут использоваться один вместо другого без замены горелки или форсунки. Правда, этот показатель не эк-

Таблица 13. Соотношение значений теплоты сгорания газов

Газ	Теплота сгорания Q_d (МДж/кг)	Теплота сгорания Q_d с учетом потерь $Q_{d, \text{эф}}$			Соотношение $Q_{d, \text{эф}}$ к Q_d	Соотношение $Q_{d, \text{эф}}$ к $Q_{d, \text{эф}}$ к природному газу
		а	б	в		
Биогаз 50% СН ₄	20 МДж/кг	1	0,97	0,95	0,95	1,19
Биогаз 42%	22,1 МДж/кг	1,11	1	0,88	0,66	1,32
Биогаз 70%	25 МДж/кг	1,25	1,16	1	0,77	1,49
Природный газ 8,7%	33,5 МДж/кг	1,68	1,72	1,31	1	1,91
Сжиженный газ	16,6 МДж/кг	0,84	0,78	0,67	0,46	1
Пропан	46 МДж/кг	2,4	2,08	1,63	1,37	2,71
Кетеныльте топливо	36 МДж/кг	1,8	1,53	1,23	1,07	2,17
Газок	42,3 МДж/кг	2,12	1,91	1,06	1,26	2,52
Газоксенол топливо	36 МДж/кг	1,8	1,65	1,44	1,07	2,17
Бензин	40,5 МДж/кг	1,73	1,58	1,22	0,91	1,82
Жако	27,6 МДж/кг	1,36	1,23	1,1	0,82	1,94
Электрический ток 1 кВт/ч	МДж	0,38	0,16	0,13	0,11	0,29

Энергосбережение (без учета коэффициента полезного действия)

Пример (кВт/ч)	Биогаз (0,42%)	Кетеныльте топливо (0,23%)	Газоксенол (0,23%)	Природный газ (0,13%)	Пропан (0,13%)	Жако (0,13%)	Электрический ток (0,13%)
0,44	0,36	0,47	0,36	0,46	0,72	0,72	3,0
0,48	0,47	0,62	0,47	0,72	0,90	0,90	6,1
0,51	0,49	0,74	0,59	0,82	0,90	0,90	9,0
0,73	0,63	0,74	0,63	1,10	1,21	1,21	9,3
0,98	0,87	0,40	0,47	0,59	0,61	0,61	4,7
1	1,26	1,04	1,26	1,76	1,94	1,94	12,9
0,78	1	0,85	1	1,19	1,30	1,30	10,0
0,92	1,07	1	1,17	1,35	1,51	1,51	11,7
0,78	1	0,85	1	1,19	1,30	1,30	10,0
0,46	0,87	0,72	0,85	1	1,19	1,19	8,50
0,90	0,77	0,67	0,77	0,60	1	1	7,70
0,07	0,1	0,08	0,1	0,12	0,13	1	1

затывает такой характеристикой, как возможность обратного удара пламени. Наиболее интереснейшей характеристикой горючих газов можно считать в инструкции DVGW G 260.

В общем рабочем давлении биогаза должно приближаться к нижней границе номинального давления, необходимого для работы аппаратуры, т.е. примерно к 0,7...1 кПа. Современные сети природного газа работают с давлением у газного прибора 2 кПа. Это означает, что биогаз по сравнению с природным газом обладает несколько худшей способностью к воспламенению, меньшей устойчивостью пламени и поэтому представляет большие трудности при регулировании поставленного, например при установке крана на «малый огонь» в кухонных плитах. Плита в этом случае может срываться в сторону.

Все это соответствует также более ранним последованиям по использованию биогаза [45]. Теплоту сгорания в рабочем давлении можно без особых трудностей поддерживать на относительно постоянном уровне, например с помощью балластного груза в газгольдере или при наличии большого предварительного давления газа путем включения в магистраль промежуточного газового регулятора. Следовательно, при переходе на биогаз необходимы лишь незначительные изменения в аппаратуре,

чтобы приспособить ее к метану (например, замена форсунок), но в принципе не существует сколько-нибудь серьезных проблем при использовании биогаза в аппаратуре для природного газа. Первые перегазвары с использованием газоплазменной аппаратуры подтвердили это мнение, несмотря даже на отсутствие опыта применения биогаза в традиционных газовых приборах. В ближайшем будущем несколько фирм собираются провести испытания в целях подтверждения свойств и горючих свойств биогаза. Поэтому цены на биогазовую аппаратуру в значительной мере будут зависеть от цен на приборы для природного газа. На за исключением перегазваров и отсутствующая крупносерийного выпуска они могут быть даже несколько более интересны.

Для сравнения биогаза с другими видами топлива по их теплоте сгорания в стандартных условиях можно воспользоваться данными диаграммы (рис. 24) и таблицы 12 [24]. Если стоимость производства биогаза отнесена к удельной стоимости других энергоносителей так же, как соответствующие значения энергии в единицах, трижды при ее отпуске, то цену биогаза можно считать приемлемой с экономической точки зрения.

Коммуникация между газовой аппаратурой должна устанавливаться квалифицированными специалистами с учетом «Технических правил монтажа газопровода»

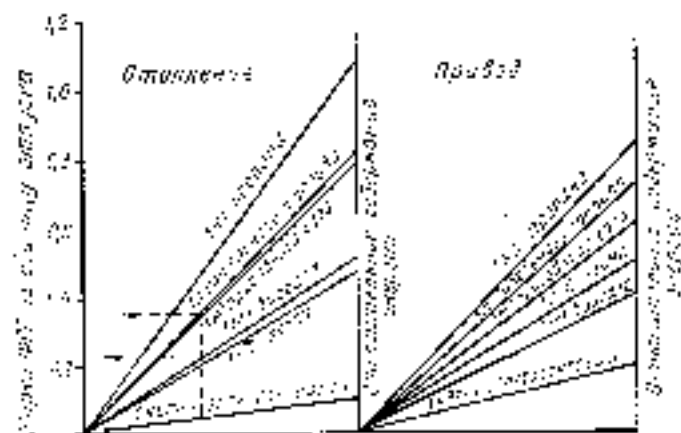


Рис. 21 Диаметр горелки и расход газа в зависимости от диаметра выходного горелки [24] и пример, при давлении котельного газа 0,35 атм ФПГ до 1 м. Средняя температура газа и температура воздуха на входе в горелку при условии полной загрузки будет составлять в среднем 6,21 атм ФПГ до 1 м³.

(TRGS). Газовые приборы должны удовлетворять требованиям «Закона о технических средствах труда» (Закон о защитных устройствах для машин) с приложениями А и Н. Для большинства газовых приборов уже издали стандарты DIN или инструкции по эксплуатации (DVGW VFC).

По поводу стальных приборов, в которых можно использовать бронзу, необходимо сказать следующее:

Горелка для отопительных установок. Используются в системе отопления жилых помещений как в виде обычных горелок с забором атмосферного воздуха, так и в виде горелки с дутьем, кроме того, для подогрева воздуха в различных сушилах, кондиционировании воздуха в помещениях и в вентиляционном производстве. Некоторые предприниматели уже используют горелки на газе, получаемом при очистке стоковых вод (например, для стоковых общественных плавательных бассейнов) как с забором атмосферного воздуха, так и с подачей воздуха под давлением. В принципе здесь не ожидается каких-либо трудностей, если использовать аппаратуру в варианте для природного газа. Другие фирмы готовы провести исследования процессов горе-

ния топлива, чтобы соответствующим образом приспособить свои горелки к переходу на этот вид топлива. Известно, что у природного газа, скорости горения в газовых котлах, очевидно, следует несколько уменьшить нагрузку горелок во избежание срыва пламени. Поэтому максимальные значения тепловой мощности горелок будут несколько ниже. Для нормальной работы горелок с дутьем требуется давление поступления газа на входе в горелку порядка 1...1,5 атм. Это не приведет к существенному удорожанию аппаратуры. Серийный выпуск аппаратуры для Сногаза требует специального разрешения DVGW. Впрочем, промышленность уже предоставляет двухкомбинные горелки для работы как на газе, так и на котельном топливе.

Водонагреватели. Здесь не следует ожидать каких-либо трудностей в эксплуатации. Так называемые универсальные газовые приборы пригодны для работы на всех перечисленных в стандарте DIN 3302 газах и газовых смесях.

Газовые плиты с горелками на верхней поверхности и с дутьем. Здесь тоже речь в общем об использовании универсальных газовых приборов. При использовании Сногаза в дутьевых аппаратах трудностей не предвидится. Часть предпринимателей придерживаются мнения, что кухонные газовые плиты должны работать на быгазе с тепловой мощностью до 22 МДж/м³ и рабочем давлении 0,1 атм при условии переделки горелок для получения так называемого полусетчатого пламени. Это позволит обеспечить работу плиты с открытыми горелками в положении «малый огонь». Другие изготовители считают, что давление газа должно быть не менее 0,75...0,8 атм, иначе вследствие недостаточного подсоса воздуха нельзя гарантировать полное сгорание в соответствии с типовыми требованиями. Такое давление можно обеспечить в любом случае. Как следует из приведенных выше данных, использование газовых приборов с давлением до 3 атм (в промышленных установках) не представляет каких-либо трудностей. Предоставляется возможность выбрать единственное базовое значение предварительного давления газа, на которое могут ориентироваться все фирмы-изготовители при конструировании Сногазовой аппаратуры. В противном случае придется устанавливать газовые регуляторы, что связано с неоправданным удорожанием аппаратуры.

Холодильные установки. Здесь речь идет о холодильных машинах абсорбционного типа. Будет изготовляться «универсальная» газовая аппаратура. Необходимо провести соответствующие эксперименты с биогазом. Компрессорные установки малой мощности, архаичных и дефицитных газовых двигателях, пока не существует. Прикладных трудностей при создании соответствующих газовых двигателей не должна возникнуть, хотя вряд ли возможно крупносерийное производство двигателей для упомянутых небольших мощностей. Проблемы могут возникнуть при разработке автоматического пуска (см. также раздел 7.3). Сейчас ведутся работы по проектированию абсорбционных тепловых насосов с посредствующим использованием газа для подогрева. Также намерены задуматься как для теплоты, так и для холода снабжения климатических установок [113, 114].

Инфракрасные излучатели. Все инфракрасные излучатели подлежат обязательной приемке соответствующими институтами. Для малых мощностей проблемам не только в Европе, Германии, но и в США, так как фирма DVGW. Одни из изготовителей «универсальных» газовых излучателей считают, что путем замены нагреваемой газом керамической пластины с фарфором можно обеспечить удовлетворительную работу прибора на биогазе. Другие предприниматели придерживаются мнения, что инфракрасные излучатели, предназначенные для использования сжигаемого газа, не будут работать на биогазе, так как эти излучатели рассчитаны на меньшее пламя и высокие скорости течения, а это принципиально не подходит для биогаза. В подобной ситуации только опыты по практическому освоению биогаза могут дать достоверную информацию о необходимости тех или иных изменений вплоть до перестройки конструкции прибора. Самый важный критерий для получения разрешения DVGW на использование «универсальных» инфракрасных излучателей — это отсутствие СО в газобразных продуктах сгорания. В принципе «универсальные» газовые инфракрасные излучатели должны быть пригодными для этой цели. Предлагаемое ранее решение — использовать для зажигания горелки сжигаемый газ, а затем переключать ее на питание биогазом — представляется нежелательным.

Стационарные двигатели внутреннего сгорания. Опыт работы с газовыми двигателями, использующими био-

газ в качестве топлива, имеется на различных предприятиях по очистке стоков, где двигатели служат для привода вентиляционных установок и генераторов, как правило, большой мощности.

В других местах также применяют стационарные или автомобильные двигатели, работающие на пропане или метане.

Фирмы-изготовители газовых двигателей: (Неубахе) верке, Пенбах-Австрия (серийный выпуск газовых двигателей эффективной мощностью 30...2300 кВт); Мангазенверке, Мангейм (серийные двигатели на 65...1200 кВт); Мангазенфабрик, Аугсбург-Нюрнберг (двигатели на природном газе мощностью 99...130 кВт); Девиллер-Бени, Штутгарт (двигатели на природном газе M 407 kW); Филдверк (15...38 кВт, сконструированный для небольших нагрузок).

В 50-е годы многие сельскохозяйственные тракторы работали на сжатом (до 35 МПа) биогазе, помещавшемся в баллоны [108]. Высокое сжатие газа необходимо для перевозки его на тракторе, чтобы можно было заправить в баллоны необходимое количество этого топлива. Но такое применение биогаза неэкономично, вносимых затрат необходимо в избыточечной компрессорной установке, венторыва. Часта очень жестких требований в технике безопасности (см. также главу 6). Это значит, что сегодня речь может идти о применении газа только в стационарном газорич двигателе низкого давления, например для привода вентиляторов, насосов, транспортеров, генераторов и др. Для уменьшения потерь энергии от испарения необходимо удалять H₂S.

Биогаз имеет октановое число 100...110 (ROZ > 100; CZ < 10; метановое число 135), т. е. за кордою подходит для двигателей с высокой степенью сжатия, но обладает очень низкой способностью к самовоспламенению. Обычная степень сжатия — от 8 до 11.

В основном речь может идти об использовании газа в одном из двух циклов сгорания, характерных для газовых двигателей: в газовом цикле Отто (с искровым зажиганием) и газодвигательном цикле (с впускным зажиганием) большой доли замесленного топлива).

Обычные двигатели, работающие по циклу Отто (карбюраторные двигатели), относительно легко пере-

вести на газ: достаточно лишь заменить карбюратор на смеситель (так переоборудуют в отдельных случаях двигатели легковых и малых грузовых автомобилей).

Газодизельный цикл осуществляется без принудительного зажигания. Около 10...15% необходимого полного топливного заряда впрыскивается в виде дизельного топлива в цилиндр для воспламенения газовой смеси, поскольку точка воспламенения распыленного дизельного топлива. Если не имеется достаточного количества биогаса, можно воспользоваться азрикатами работы с переменной частотой по газодизельному или чисто дизельному циклу. Однако следует отметить, что самый экономичный из них — газовый цикл Отто.

При переводе дизелей, например от старых тракторов, на газовое топливо рекомендуется (по данным промышленности) сделать следующие операции:

При переводе на газовый цикл Отто:

- заменить толкунку шатунного и свечи;
- вставить новые поршни, обеспечивающие уменьшение степени сжатия и изменение конфигурации камеры сгорания;
- снять топливный насос;
- снять механизм опережения подачи топлива;
- поставить новый корпус привода для регулятора и прерывателя-распределителя зажигания;
- поставить новый газовый смеситель, который обычно монтируется на всасывающей трубке двигателя и представляет собой простой смеситель с дроссельной заслонкой;
- установить перед газовым смесителем газовой редуктор (регулятор давления газа);
- поставить новый предельный регулятор частоты вращения, предотвращающий разрыв двигателя в условиях дроссельной заслонки во всасывающей трубке;
- поставить новую систему зажигания (бобины, прерыватель-распределитель, провода, свечи).

При переводе на газодизельный цикл:

- заменить поршни, обеспечивая изменение степени сжатия;
- поставить новый смеситель;
- установить чашки регулирующие привода (на всасывающей и выпускной трубках);

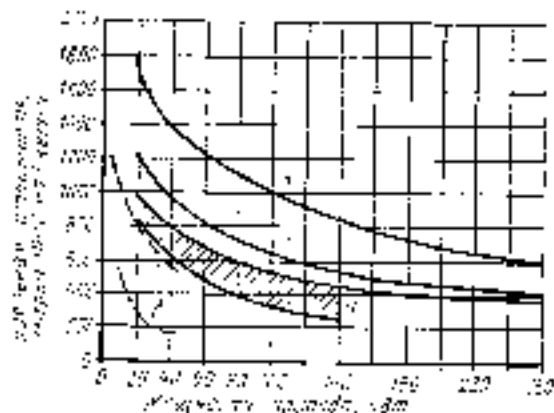


Рис. 25 Средние значения удельной мощности

а — дизельный цикл; б — дизельный цикл; в — дизельный цикл; г — дизельный цикл; д — дизельный цикл; е — дизельный цикл; ж — дизельный цикл; з — дизельный цикл.

— поставить первый топливный редуктор, гарантирующий постоянное предварительное давление газа

Переоборудование дизелей, например от старых тракторов, используемых на стационаре, тоже возможно, но до сих пор ни одна из фирм не выпускает необходимых для этого наборов деталей. Интерес к производству таких наборов может появиться лишь при увеличении возможностей их сбыта, в противном случае от этого варианта придется отказаться в пользу новых специализированных газовых двигателей. Естественно, что переоборудование возможно лишь в больших, хорошо оснащенных специализированных мастерских или на заводах самой фирмы-изготовителя. Затраты на переоборудование пока еще не определены.

Перевод на газ влечет за собой уменьшение мощности двигателей. Соответствующие инфранные показатели незначительно колеблются и достигают в сумме 30% (г дизельного на природный газ — около 20%; с природного газа на биогаз — около 10%). Минимально допустимое давление истечения биогаза, поступающего в двигатель, должно быть не меньше 0,4 кПа. Удельный расход топлива при работе на биогазе (60% метана) при полной нагрузке двигателя составляет около 0,65 м³/(кВт·ч). Исходя из этого, для непрерывной ра-

баты двигателя мощностью 50 кВт требуется 32,5 м³ биогаза в час, а при средней нагрузке — около 60 м³ на полную мощность. 1 м³ биогаза соответствует примерно 0,5 кг дизельного топлива. Чистота биогаза способствует существенному уменьшению износа двигателя по сравнению с работой по дизельному циклу. Но чистоты биогаза, ежегодные расходы на техническое обслуживание и ремонт газовых двигателей составляют около 1 % от их стоимости.

Получение электроэнергии с помощью стационарных газовых двигателей. Все чаще указывается на возможность использовать площади биогаза на средних и малых предприятиях для получения электроэнергии с помощью газовых двигателей. Для этой цели пригодны, например, ФЭУ (например, фирмы Нейбахер Werke, Машиненверке-Майнхайм) предлагает комплектные установки на газовых двигателях и генераторах на электрическую мощность 30...220 кВт. Несколько экзотично такое получение электроэнергии, можно сказать, лишь провести точный расчет затрат на производство 1 кВт·ч. В качестве важной границы возможности агрегатов для сравнительного получения электроэнергии таким способом необходимо отметить мощность диффа 100 кВт. На рисунке 25 приведены значения средней удельной стоимости газовых двигателей и комплектных агрегатов, включающих в себя устройства для утилизации теплоты. С помощью этих данных можно проводить ориентировочные расчеты затрат.

Если допустить, что 1 м³ биогаза в зависимости от КПД дает 1,6...1,9 кВт·ч электроэнергии, стоимость 1 кВт·ч сразу же возрастает на величину, равную 32...55%, стоимости получения 1 м³ биогаза. Сюда прибавляется часть стоимости агрегата (газового двигателя и электрогенератора), равная в зависимости от его годовой загрузки 0,02...0,07 морган ФЭУ на 1 кВт·ч, а также часть расходов на оплату труда обслуживающего персонала и возможные расходы на энергетический источник энергии, представляемый энергоснабжающей организацией. Использование отработанной теплоты двигателя, позволяющее повысить общий КПД установок до 70%, несколько снижает затраты. (Более подробно об этом см. в разделе 7.2) В каждом конкретном случае следует говорить о энергоснабжающей организации расход вырабатываемой

электроэнергии на собственные нужды и частично отпущу ее в общественную энергосеть (параллельное подключение энергии), а также виды и формы компенсации получаемой электроэнергии.

Возможны следующие варианты использования энергии:

1. Стыковаться передача ее энергоснабжающей организацией для питания общественной энергосети (аналогично гидроэлектростанции). Соответствующий тариф в настоящее время составляет 0,05 марки ФЭУ за 1 кВт·ч. Собственные потребности хозяйства в электроэнергии полностью покрываются, как обычно, энергоснабжающей организацией. Такие небольшие поставки электроэнергии не очень развиты энергоснабжающими организациями из-за трудностей регулирования сети.
2. Автономное производство. Позволяет обеспечить собственной электроэнергией. Никакого резервирования со стороны энергоснабжающей организации. При этом, однако, бывает трудно приспособиться к изменяющимся потребностям хозяйства в электроэнергии. При авариях или нештатном выходе таза производство останавливается.
3. Обеспечение собственной электроэнергией для частично обеспечения своей энергии с аварийным резервом от энергоснабжающей организации. В связи с необходимостью заключения специального контракта это резервирование должно обходиться относительно дорого.

Отсюда следует, что производство электроэнергии из биогаза если и может быть целесообразным, то лишь при продолжительной эксплуатации генераторной установки. Однако для этого необходимо располагать соответствующим количеством газа (табл. 13). Производство электроэнергии для собственных нужд при хрупкой системе и отсутствии общественных энергосетей необходимо проводить иным образом.

7.2. Объединенная выработка тепловой и механической энергии

Целью здесь идет об одновременном использовании механической энергии (испаритель, вал турбины или двигателя) и возникающей при ее производстве тепловой

Таблица 13 Количество газа, необходимое для производства электроэнергии

	Эффект, генератор, кВт					
	30		1,0		30,1	
Газовая нагрузка в часе (диаметры распределительных сетей)	3 000	6 070	2 900	6 000	3 000	6 000
Необходимое количество газа, м³/ч	160	320	210	1 000	1 000	2 100
Энергия, потеряемая в процессе для создания (проектирование, строительство и эксплуатация) электростанции, МДж/ч	1 500	3 000	6 500	13 200	13 200	26 400

энергии (отбросной теплоты), например, при выработке электроэнергии из электродвигателей утилизацию отбросной теплоты для отопительных целей. В промышленности этот принцип используется все более и более широко, чтобы таким образом повысить КПД преобразования первичной энергии [3, 97].

В связи с использованием биогаса во многих случаях возможна объединенная выработка тепловой и механической энергии (газ, где биогас применяется для привода газовых двигателей). Двигатели используют эффективно в среднем около 30% энергии топлива, например, для привода вентиляторов, газовых насосов, генераторов (производство электроэнергии). По меньшей мере около 70% отбросной теплоты, выделяемой в системе охлаждения, в виде излучения и в газообразных продуктах сгорания, можно снова использовать в различных промышленных целях.

Объединенная выработка тепловой и механической энергии в установках для привода ветки насосов

Относительно простое сочетание выработки различных видов энергии возможно в установках, состоящих из газовых двигателей и вентиляторов. Такое сочетание применяется для различных сельскохозяйственных систем. При очень небольших потерях на получение

(примерно 10%) оставшая часть отбросной теплоты (60% энергии топлива) может быть использована для подогрева воздушного потока к нему можно применять воздух, охлаждаемый датателем, и отработанные газы. Уже в поле это осуществляется с помощью используемых сжигателей газ для неэффективного подогрева воздуха без теплообменников. В соответствии с результатами теоретических исследований и данных более ранних экспериментов [43] при использовании для эффективного подогрева воздуха котельного топлива, эффективность ниже, чем так, можно не ожидать вредных воздействий на объект сушки при условии, что будут приняты соответствующие меры предосторожности.

Таблица 14 Потребности в биогасе для привода вентилятора с помощью газового двигателя и возможности подогрева воздуха за счет отбросной теплоты

Мощность привода, кВт	Теплота подогрета воздуха при 200°C/ч		Расход биогаса, м³/ч	Температура подогрета воздуха, °C
	4:10	6:10		
10	41 000	36 000	6,7	37...40,0
20	69 000	78 000	13,0	31...37,7
30	93 000	92 000	14,7	34...39,9
50	142 000	125 000	22,4	38...44,3

Данные о возможностях подогрева воздуха путем использования отбросной теплоты привода двигателя и вентилятора можно видеть из таблицы 14. Эти возможности не очень велики даже при большой площади нагрева, но они соответствуют обычным для сушки сельхозпродукции температурам 3...4°C. Следует отметить, что таким способом биогас можно использовать только в течение короткого отрезка времени (получаемого сезонности), правда, с очень высоким КПД. Вопрос о возможности применения газового теплого насоса, который мог бы найти себе применение в зимний период для отопления жилищ, нуждается в более подробном исследовании.

Объединением выработки тепловой и механической энергии при использовании тепловых насосов.

Принцип действия теплового насоса известен очень давно. Он не производит теплоту, но поднимает содержащуюся в воздухе, воде и почве теплоту, а также также различные формы отбросной теплоты на более высокий температурный уровень, так что ее можно использовать снова. Для привода теплового насоса необходима механическая (компрессионный тепловой насос) или тепловая (абсорбционный тепловой насос) энергия. В обоих случаях можно использовать биотопливо.

Угнетению (рис. 26) и применение теплового насоса посвящены многочисленные работы [33, 96, 127, 128, 129]. Практически возможные способы его применения в сельском хозяйстве подробно исследованы Оргом [81]. При работе теплового насоса тем целесообразнее, чем выше коэффициент трансформации η . Последний зависит от разности температур предварительного нагрева (конденсатора) и охлаждающей среды (испарителя), уменьшаясь с увеличением этой разности, а также от конкретной схемы теплового насоса.

В качестве средних значений коэффициента транс-

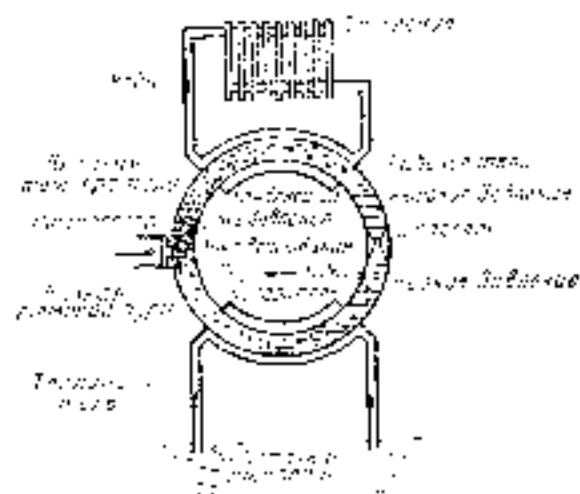


Рис. 26. Схема циркуляционной системы теплового насоса [128]

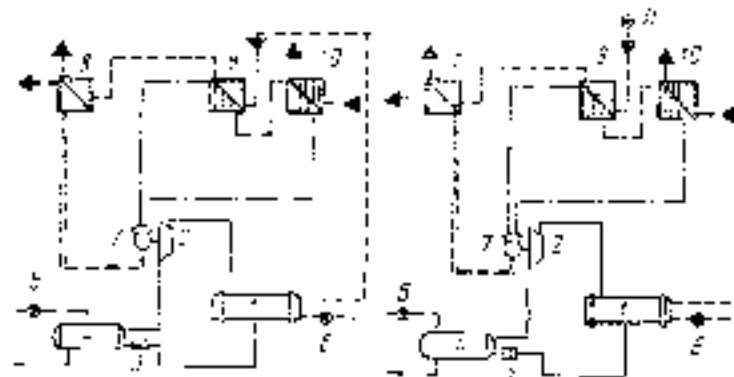


Рис. 27. Схема объединенной выработки тепловой и механической энергии при работе теплового насоса с тепловым насосом [34]. 1 — компрессор; 2 — испаритель; 3 — конденсатор; 4 — цилиндр двигателя; 5 — компрессор; 6 — цилиндр двигателя; 7 — теплообменник; 8 — теплообменник.

1 — компрессор; 2 — испаритель; 3 — конденсатор; 4 — цилиндр двигателя; 5 — компрессор; 6 — цилиндр двигателя; 7 — теплообменник; 8 — теплообменник.

«Формулы теплового насоса» можно привести следующие:

Схема теплового насоса	η
Воздух — воздух	2,2
Воздух — вода	2,7
Почва — вода	3,1
Вода — вода	1,3
Отбросная теплота — вода	12-15

Привод теплового насоса газовым двигателем благодаря возможности объединенной выработки тепловой и механической энергии, т. е. максимальной утилизации высокотемпературной отбросной теплоты двигателя, например в общем или раздельном цикле горючей смеси (рис. 27), обеспечивает значительно лучшее использование первичной энергии, чем в обычном отопительном котле или электродвигателе насоса. Максимально возможная величина использования первичной энергии равна от достигнутого коэффициента трансформации. Бейер [12] приводит для теплового насоса, работающего по схеме переноса тепла «воздух—вода», также значения полезной механической тепловой энергии (табл. 15).

Таблица 13 Сравнительные балансы энергии для различных тепловых насосов, работающих на сжиженном газе — воде, %

	Первичная энергия	Потери в тепловом насосе	Коэффициент полезного действия энергетического цикла по отношению к сжиженному газу
Классический отопительный котел (на газе)	100	7	133
Электротепловой насос	100	97	103
Газово-компрессионный тепловой насос	100	174	71
Газово-абсорбционный тепловой насос	100	139	83

Соответствующие схемы преобразования энергии показаны на рисунке 28.

Газово-компрессионный тепловой насос при объединенной выработке тепловой и механической энергии дает наибольший эквивалент первичной энергии. По сравнению с электротепловым насосом он обладает следующими основными преимуществами [12]:

- дополнительное получение теплоты, составляющей примерно 58% от теплоты двигателя;
- возможность конденсации при более низких температурах и, как следствие, более высокие коэффициенты трансформации благодаря использованию отбросной теплоты;
- возможность циклической работы без дополнительного подогрева при наружной температуре воздуха ниже 0°C;
- для получения того же количества полезной теплоты требуется менее мощная тепловая насосная установка (как правило, на 30...50%);
- при работе с обычным безопасным хладагентом R22 можно достичь температуры горячей воды 55°C, что пригодно только для панельного отопления полов. При использовании теплоты двигателя эту температуру можно поднять до 90°C, что позволяет применять обычные радиаторы;
- бесступенчатое регулирование мощности путем изменения частоты вращения вала двигателя и интер-

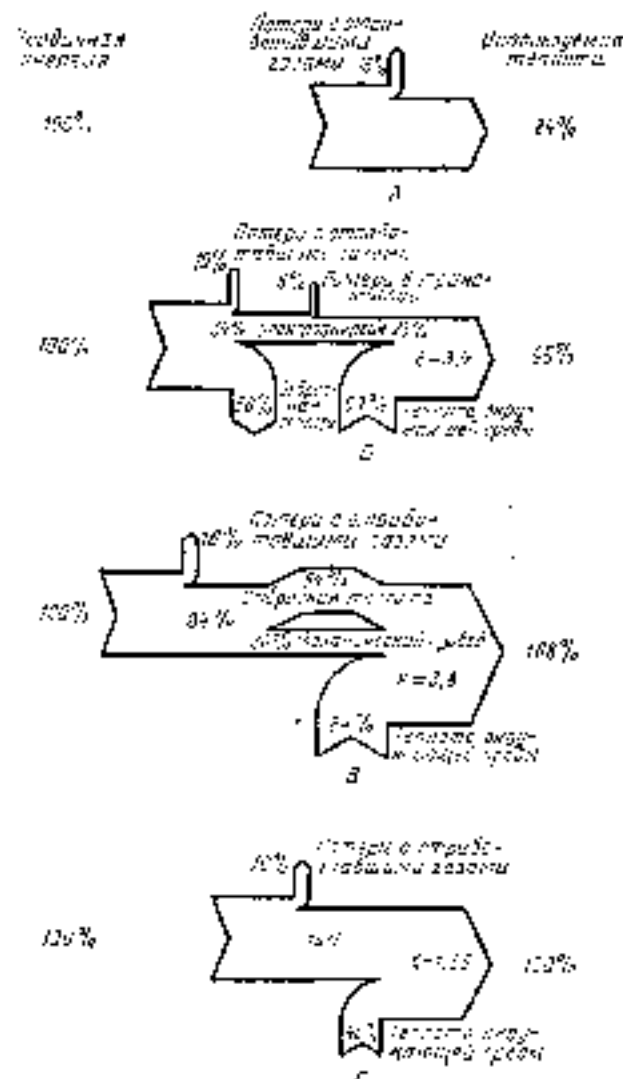


Рис. 28. Схемы преобразования энергии в тепловых насосах [11]:

А — классический отопительный котел; Б — газово-компрессионный тепловой насос; В — газово-абсорбционный тепловой насос.

Таблица 16. Сравнение общих газовых затрат при различных способах отопления (L₀ = 20 кВт, ч это часть затрат в году 16000 ч, налог ФРГ [96])

	Среднее значение КПД	Газовые затраты	Газовые затраты (чел. часы)			Газовый тарифный курс, ц
			минимум	среднее значение		
				минимум	максимум	
Нерегулируемые двигатели с 2-х ст. компр. (двухступенчатая компрессия) с регулируемой скоростью вращения	12,0%	3,00	17,00	11,200	15,700	15,000
Нерегулируемые двигатели с 2-х ст. компр. (двухступенчатая компрессия) с регулируемой скоростью вращения	7,0%	1,00	17,00	2,500	16,500	13,000
Нерегулируемые двигатели с 2-х ст. компр. (двухступенчатая компрессия) с регулируемой скоростью вращения	5,0%	1,00	—	2,000	14,500	2,000
Регулируемые двигатели с 2-х ст. компр. (двухступенчатая компрессия) с регулируемой скоростью вращения	12,0%	1,00	15,00	1,400	13,500	21,000
Регулируемые двигатели с 2-х ст. компр. (двухступенчатая компрессия) с регулируемой скоростью вращения	10,0%	1,00	15,00	1,000	12,500	20,000
Регулируемые двигатели с 2-х ст. компр. (двухступенчатая компрессия) с регулируемой скоростью вращения	12,0%	1,00	15,00	1,200	13,000	20,000
Планы (среднее значение)	12,0%	1,00	15,00	1,100	13,000	20,000

вале 900...1500 мин⁻¹. Дополнительно регулировать возможно путем изменения открытия клапана компрессора, в результате чего можно плавно регулировать мощность от 100 до 15%. Электродвигатель насос можно регулировать только ступенчатым переключением, так как электродвигатели с плавным регулированием частоты вращения (например, двигатели с фазным ротором) значительно дороже и высокую дополнительную стоимость при производстве.

Несмотря на большую стоимость первичной энергии, газокompрессионный тепловой насос может конкурировать с другими отопительными системами лишь тогда, когда обеспечивается как его рентабельность, так и надежность в эксплуатации. На рентабельность существенно влияет соотношение стоимости энергии (например, электрической, котельного топлива), а также первоначальные затраты. При возможности в будущем уменьшить первоначальную стоимость теплового насоса следует ожидать деловитого снижения затрат. При теоретическом расчете затрат для потребности в энергии 20 кВт (табл. 16) наиболее благоприятным планется является вариант с газовым тепловым насосом [96]. Несколько отступая от него, возможно, довольно высокие первоначальные затраты.

Газокompрессионные тепловые насосы с мощностью привода 30 кВт в соответствии тепловой мощностью 450...600 МДж/ч (125...175 кВт) с доработанными конструктивно двигателями уже серийно выпускаются промышленностью: первые установки появились в эксплуатации. Первые газовые затраты на эти установки будут меньше, чем на обычные отопительные агрегаты (Бейер [12]). Опыт доказывает, что поступление в эксплуатацию в ФРГ газовые двигатели обеспечит высокую надежность. Для некоторых из них фирмой-производителем гарантируется на несколько лет. Расход топлива при работе на полной мощности должен составлять около 20 м³/ч.

В принципе газокompрессионные тепловые насосы тепловой мощностью свыше 175 кВт (мощность привода 30 кВт) обеспечивает 150 тыс. ккал/ч) при применении плана техники можно конструировать из обычных компонентов. Установки тепловой мощностью до 4000 кВт (мощность привода 300 кВт) уже находятся в эксплуатации [12, 88]. Однако необходимы новые конструктивные разработки, если предполагается использовать для отопления многоквартирных домов небольшие газовые тепловые насосы, которые должны быть также просты в эксплуатации, как традиционные системы отопления, а по рентабельности превосходить их. В этом плане пока отсутствуют удовлетворительные технические решения (например, по таким параметрам, как бесшумность работы, отсутствие вибрации, компактность, простота регулировки, легкость в обслуживании, надежность в эксплуатации). В настоящее время фирма "Урал-Ауди НСМ" в Фольксваген при поддержке правительства ФРГ ведут совместную работу по решению этих проблем [88], а можно ожидать, что в недалеком будущем им удастся найти ответы на несложные вопросы. Фирма "Урал-Ауди" эксплуатирует газовые тепловые насосы "Гольд-Волд" на сербских легковых автомобилях (Поль, Пассат), где например, два двигателя используются для привода и два — в качестве компрессоров. Именно в сельском хозяйстве эти газовые тепловые насосы малой мощности могли бы найти себе применение. Допустимо также использование воздуха сушилок для зерна и сена. Обычно зерновые сушители работают в непрерывном действии, имеют производительность

1...2 т/ч при установленной тепловой мощности 80...100 кВт. При хорошей нагрузке их можно использовать в течение 800 ч за один сезон.

Объединенная выработка тепловой и механической энергии при производстве электроэнергии

При производстве электроэнергии на биогазе и электрической так преобразуется лишь около 30% его энергоресурса, а остальная часть представляет собой избыточную теплоту (50...60%), этот ресурс теоретически можно также использовать с помощью теплообменника и котла-утилизатора, конечно, с соответствующими техническими и финансовыми затратами. Среднее значение финансовых затрат пока еще нельзя назвать. В таблице 13 приведены значения полезной используемой теплоты, которую можно дополнительно получить при эксплуатации электрогенераторов соответствующей мощности. Эту теплоту можно будет использовать в сельскохозяйственном производстве для следующих целей:

- подогрева воды для бытовых нужд и содержания скота;
- отопления жилых помещений;
- подогрев воздуха для сушилок (см. Объединенное получение тепловой и механической энергии в установках для привода вентиляторов) или создания нужного микроклимата в животноводческих помещениях;
- для создания необходимой температуры брожения в биогазовых реакторах;
- отопления теплиц.

Как правило, основное ското и течение года остается гостомышам, поэтому можно рассчитывать на постоянное количество получаемых из биогазов электроэнергии и дополнительная теплота. Однако проблема всегда состоит в том, чтобы рационально и равномерно использовать как электроэнергию, так и теплоту, причем тем в большей степени, чем меньше затаровка. Даже небольшое количество утилизируемой энергии удорожает стоимость единицы полезной используемой энергии. В каждом конкретном случае предприятие должно иметь диаграмму предполагаемого выхода биогаса по месяцам года и соответствующее распределение потребностей в электроэнергии и теплоте, на базе которых составля-

ются рекомендации по утилизации получаемых в течение планируемого периода избытков энергии или электрики в ближайшем за это же время дополнительных потребностей в ней.

На рисунке 29 приведена соответствующая диаграмма для предприятия по обработке городских стоков [3] населенного пункта, рассчитывающего 140 тыс. жителей (по общей массе стоков соответствует приблизительно 6 тыс. чел. гол. крупного рогатого скота). Как видно из рисунка, возможная выработка электроэнергии всегда выше, чем собственные потребности предприятия в ней. При этом выход теплоты в течение десяти месяцев года также превышает собственные потребности предприятия. Проведем ориентировочный расчет затрат для трех вариантов.

- A. Потребности в электроэнергии на 100% удовлетворяет энергоснабжающая организация; тепловыделение обеспечивает отопительный котел, работающий на выходящем при очистке стоков газе, выходящем из сканера в факелах (~60%).
- B. Самообеспечение электроэнергией (1×300 кВт) при 100%-ном резервировании за счет энергоснабжающей организации; для выравнивания суточных колебаний в электроэнергии устанавливается газогенератор, покрытая основными потребностями в теплоте за счет сгорания тепловой газовой двигателей, пиковых потребностей — за счет отработанной теплоты котла-утилизатора, работающего на биогазе; сжигание избытков газа в факелах (~20%).
- B. Самообеспечение электроэнергией (3×300 кВт) при 50%-ном резервировании за счет энергоснабжающей организации; для выравнивания суточных колебаний теплоты газогенератор, покрытая основными потребностями в теплоте за счет отработанной теплоты газовых двигателей, пиковых потребностей — за счет отработанной теплоты котла-утилизатора, сжигание избытков газа в факелах (~20%).

Расчеты показали, что по сравнению с другими вариантами В дает наименьшие затраты на энергию примерно на 10%, однако общие годовые затраты уменьшаются только на 8%. Дальнейшее снижение затрат можно было бы ожидать при подключении к коммунальным электрическим (параллельная эксплуатация) и подборе дополнительных потребителей теплоты. В случае эксплуата-

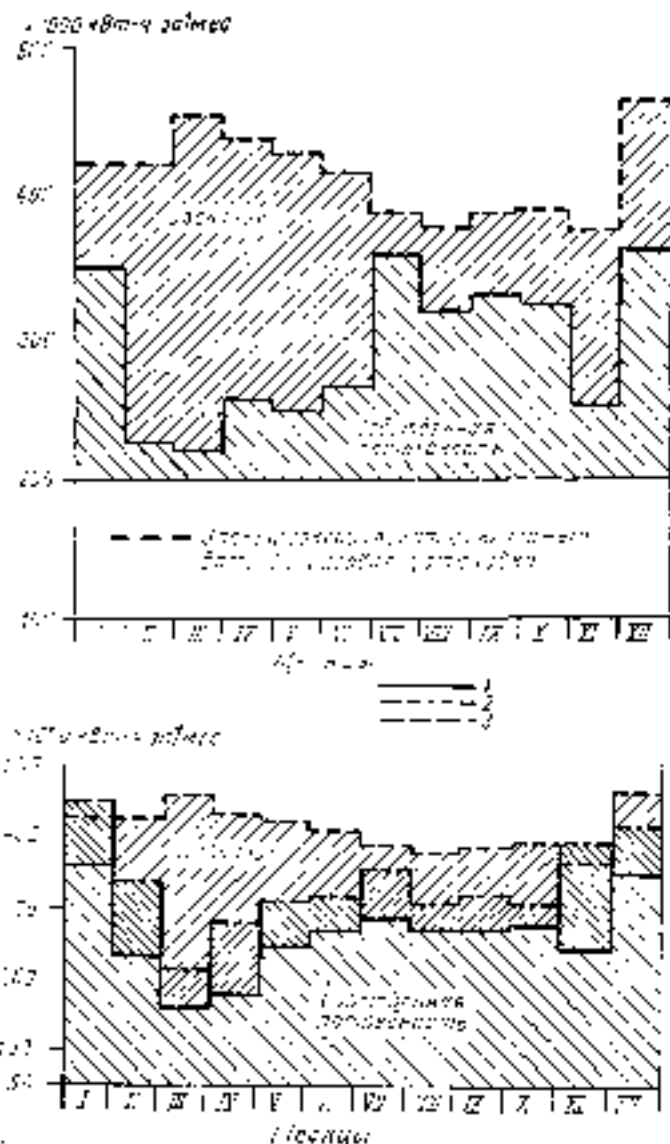


Рис. 29 Годовые диаграммы производства электрической энергии и тепловой энергии с помощью установки по системе паровых стенов [5]:
 1 — тепло, полученное в установке; 2 — тепло, полученное при пропускании электричества; 3 — тепло, полученное системой с помощью солнечной энергии в зимний период

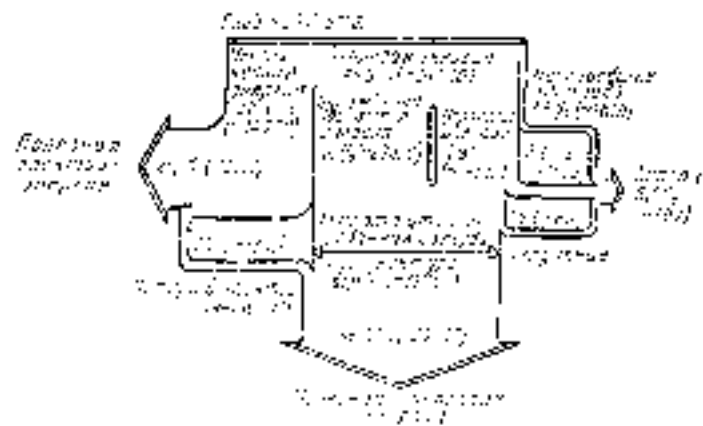


Рис. 30. Схема энергетического баланса в компактной установке «Тотем» (Total energy package) автомобильной фирмы Фиаг [138]. По форме в свободной форме получают тепловую энергетическую энергию в виде

ции небольших биогазовых установок не следует рассчитывать на снижение затрат в таких масштабах.

Фирма Фиаг разработала на базе двигателя «Фиаг-27» работавшую на природном газе или биогазе компактную тепловую установку «Тотем» [138], которая вырабатывает электроэнергию переменного тока напряжением 380 В, 15 кВт) и горячую воду (140 МДж/ч, или 35 тыс. ккал/ч). Часовая потребность ее в биогазе составляет около 10 м³, что соответствует затратам в 0,113 цента. Те же самые электроэнергия и теплота, полученные первая — от энергообеспечивающей промышленности, вторая — из системы с отрицательным коэф. степеней 0,2 цента. Разница в этих цифрах и соответствует экономии энергии.

Из рисунка 30 представлена схема энергетического баланса этой компактной установки, которая имеет широкое применение напольное в сельском хозяйстве.

8. Потребности сельскохозяйственных предприятий в энергии, которые могут быть покрыты с помощью биогаза

Следует различать потребности в биогазе для хозяйственно-бытовых нужд, получения продукции растение-

водства, получения продукции животноводства и для различных других видов сельскохозяйственного производства.

Наличие в хозяйстве собственного сырья — не обязательная предпосылка использования биогаса, его можно получать и на соседнем хозяйстве. Биогазовые установки, работающие только на растительных отходах (например, на соломе), представляют неравноценный тип. Из 1 кг сырья можно получить только 4,2 МДж энергии, причем не решается проблема утилизации отходов. В то же время при непосредственном сжигании сырья энергии выделяется в три раза больше.

8.1. Крестьянские хозяйства ФРГ

В ФРГ имеется около 920 тыс. крестьянских хозяйств [147], насчитывающих около 9 236 300 взрослых работников и 928 тыс. детей до 14 лет. Средний состав семьи — троюродный взрослый (3,5) и один ребенок. В сельских районах расчеты расходов на отопление модельных хозяйств (табл. 17).

Таблица 17. Модельные хозяйства

	Тип хозяйства			
	а	б	в	г
Число взрослых	3	3	1	1
Число детей	—	1	2	2
Всего людей	3	4	3	3
Жилая площадь, м ²	150	120	150	200

Поскольку не имеется точных статистических данных об стандартизованной жилой площади, соответствующей этим модельным хозяйствам, на основе опытных данных были определены соотношения между жилой площадью и ее оснащенностью отопительными приборами. Жилая площадь одного хозяйства была выбрана на 10% больше, чем в сельскохозяйственной зоне [137].

Для хозяйства с децентрализованным снабжением горячей водой [106], обычным для сельских районов ФРГ, можно считать следующие значения удельного расхода энергии при использовании природного газа: 5225 МДж в

год на взрослого человека (1248 Мккал в год) и 2670 МДж и год на ребенка (638 Мккал в год).

Эти данные позволяют определить потребности модельных хозяйств в энергии и биогазе для подогрева воды (табл. 18).

Таблица 18. Потребность в энергии и биогазе модельных хозяйств для подогрева воды

Тип хозяйства	МДж/год	МДж/сут	Человек	Биогаз	
				м ³ /год	м ³ /сут
А	15 675	43,3	(16,24)	712	1,9
Б	18 345	50,7	(12,19)	834	2,3
В	26 249	72,9	(17,17)	1119	3,1
Г	34 140	95,0	(22,32)	1500	4,2

Для децентрализованного горячего водоснабжения [106] можно принять потребность в энергии на 10...17% меньше. Однако в сельском хозяйстве ФРГ этот вид водоснабжения не имеет широкого распространения.

Для расчета тепловых потерь помещений была принята стандартная температура наружного воздуха — 15°C и длительность отопительного сезона 220 дней [106].

В сельском хозяйстве ФРГ нет четкого разграничения построек по теплотехническим качествам. По закону «Об экономии энергии в постройках» от июля 1976 г. новые устанавливаемые здания должны обладать совершенной тепловой защитой. Удельная потребность их в тепле не должна превышать 116 Вт/м² (100 ккал/м²·ч). Существующие в сельских районах старые постройки обладают более высокой удельной потребностью в теплоте.

В таблице 19 приведены значения годовой потребности модельных хозяйств в тепловой энергии и биогазе для трех видов построек, различающихся по категориям теплозащиты:

- I категория: соответствует теплозащиты, применяемой в новых зданиях согласно закону об экономии энергии — удельная потребность в теплоте 116 Вт/м² (100 ккал/м²·ч);
- II категория: обычная хорошая теплозащиты — удельная потребность в теплоте 128 Вт/м² (110 ккал/м²·ч);

Таблица 19. Годовая потребность модельных квартир в энергии и биогазе для отопления жилых домов (использование теплообменника с горячей водой) в помещениях обычной планировки к.в.п. II

Средняя температура в помещении, °С	Потребность в энергии в ккал/чел, МДж/год			
	A	B	B	Г
I	102 335	125 185	137 950	200 310
II	112 710	141 255	158 070	227 130
III	137 020	222 745	278 125	371 235

Удельная потребность в биогазе, м³/чел/сут	Потребность в биогазе в м³/чел/сут			
	A	B	B	Г
I	1,671	2,030	2,210	3,312
II	2,121	2,618	2,895	4,217
III	3,337	5,150	6,555	8,871

Таблица 20. Суточная потребность в биогазе для отопления жилых домов в зависимости от месяца года (пл. дом. к.в.п. II, категория теплоизоляции II)

Месяц	Средняя температура в помещении, °С	Потребность в биогазе, м³	
		средняя	максимальная
Январь	10,5	10,11	33,6
Февраль	11,0	9,29	33,0
Март	12,0	7,38	27,0
Апрель	13,0	6,00	18,5
Май	14,0	4,97	10,0
Июнь	15,8	3,71	3,5
Июль	17,5	2,8	3,0
Август	18,2	2,71	2,7
Сентябрь	19,0	2,66	2,6
Октябрь	17,5	3,62	10,0
Ноябрь	13,0	7,38	25,5
Декабрь	10,5	10,11	30,0
Всего	100,0	61,9	—

II категории теплоизоляции, применяемая в старых постройках, уменьшая потребность в биогазе в доме 191 Вт/чел (105 ккал/чел·ч).

Если использовать для отопления жилых домов газоконденсатный котел вместо котла газового отопительного котла, то потребуются только около 42% указанного количества газа (см. таб. 7).

Средняя потребность в биогазе может быть получена путем пропорционального распределения годовой потребности в биогазе по отдельным месяцам [150]. В таблице 20 приведены эти значения для модельного к.в.п. II типа Б и категории теплоизоляции II.

Суточная потребность в энергии для приготовления пищи в комбинированных печах при использовании кухонных плит, работающих на природном газе, исходя из определенных, стандартных для ФРГ форм и объемов (три раза в день — горюче топливо, содержащее в среднем 42,5 МДж на чел — 3000 ккал на 1 чел.), составляет 3,14 МДж на 1 чел. [106].

Соответствующие данные о потребности в биогазе для приготовления пищи отражены в таблице 21. Они со-

ответствуют примерно расходу электрической энергии на эти цели [133]. Коэффициент полезного действия газа и электрического тока при приготовлении пищи примерно одинаковы.

Таблица 21. Потребность в энергии и биогазе для приготовления пищи

	кВт/чел/сут			
	A	B	B	Г
Потребность в электроэнергии, кВт/чел/сут	2,25	2,50	2,90	5,30
Потребность в биогазе, м³/чел/сут	3,50	4,0	4,7	8,6
Потребность в биогазе, м³/сут	0,7	0,8	0,7	1,2

Для работы домашних холодильников и морозильников из биогаза используется только холодильные устройства абсорбционного типа, которые работают в тр-

Таблица 20. Потребность в энергии и биогазе колдильных и морозильных шкафов

	Тип шкафов			
	А	Б	В	Г
Вместимость морозильной камеры, л	170	200	270	300
Вместимость холодильника, л	300	400	500	600
Потребность в электрической энергии				
Холодильная шкафа, кВт/сут	1,1	1,8	2,4	3,0
Морозильная шкафа, кВт/сут	2,7	3,2	4,2	4,2
Прогноз	3,8	5,0	6,6	7,2
Потребность в биогазе, м ³ /сут	1,4	1,9	2,1	2,7

Таблица 21. Ориентировочные данные по расходу биогаза в домашнем хозяйстве (хозяйство типа В, категория теплоизоляции П, в среднем размере, м³/сут

	Февраль	Март	Апрель	Май	Июль
Подогрев воды	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
Оттапливание жилых помещений	31,0	33,0	27,0	16,7	9,7
Приготовление пищи	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Охлаждение и замораживание продуктов	1,0	1,0	1,4	1,9	1,0
Всего	37,9	37,9	21,8	21,1	11,9

в среднем

	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Подогрев воды	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
Оттапливание жилых помещений	3,1	2,7	8,4	15,0	24,7	31,0
Приготовление пищи	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Охлаждение и замораживание продуктов	1,0	1,0	1,4	1,9	1,0	1,0
Всего	7,0	7,3	12,8	19,8	30,7	34,9

даже. Обеспечение ими различных типов хозяйства весьма неодинаково. Данные о потребностях этих холодильных установок в энергии и биогазе приведены в таблице 22. Пунктирные в специальной литературе данные действительны для холодильных установок компрессорного типа. Расход энергии абсорбционных установочных привидется большиим на 10%, что учтено при расчете на биогаз.

В таблице 23 приведены обобщающие данные о энергетической потребности в биогазе и зависимости от месяца, а именно для хозяйства типа В в категории теплоизоляции П. Этой же методике можно также в основу разрабатываемых в главе 8 холодильных производств.

2.2. Растениеводство

В растениеводстве полностью или частично с помощью биогаза можно обеспечить следующие производственные процессы: сушка зеленых кормов горячим воздухом, сушка сена под давлением, сушка зерна, сельскохозяйственное винокурение, выращивание грибов в теплицах.

Потребности в энергии при сушке зеленых кормов горячим воздухом зависят от требуемой степени обезвоживания, чтобы при всякой различной влажности сквашиваемой массы получить определенную влажность, необходимую для хранения корма. В 1972 г. в ФРГ измолотый сено сушили, работая под давлением воздуха, со средней производительностью по удалению влаги 4,48 тн [14].

Для ориентировочного расчета потребности в энергии и воздушносушильном покрытии ее с помощью биогаза служат средние значения, приведенные в таблице 24.

Сезон производится около трех месяцев, причем средняя нагрузка мясных установок составляет около 1000 ч, бойлерных — около 2400 ч.

Широко распространена сушка сена под давлением с помощью затинного вентилятора, а также с использованием подогретого воздуха (3...4°C) с помощью теплогенератора, работающего на жидком топливе или газе. Затраты 1 кДж тепловой энергии можно нагреть 1 м³ воздуха примерно на 1°C. Но в боковой мере вернее звучит сушка с более значительным количеством во-

Таблица 24. Показатели производительности и потребности в энергии работников на сырых воздухе сушилке для зеленых кормов*

Производительность работников (шт. кормовых единиц на 100 кг сырого материала)	Производительность работников (кг кормовых единиц на 100 кг сырого материала)	Производительность работников (кг кормовых единиц на 100 кг сырого материала)	Потребности в энергии (кВт)	Потребности в биогазе		
				м³/ч	при температуре воздуха в сушилке, °С	
					20	21
2,7	2,37	3,72	259	435	4 650	5 730
10	9,51	2,67	811	1 250	12 560	21 030
35	30,78	9,33	2 428	3 730	37 360	61 360

* При оценке даны 100 кг на 100 кг сырья, полученного в фактически в промышленности у животных (коров, свиней, овец).

духа (до 20 °С), которые за сутки высушивают траву до кондиции, необходимой для хранения. Важнейшие данные о потребности в энергии и биогазе для этих сушилок показаны в таблице 25. Биогаз применяется только для подогрева воздуха, но его можно также использовать в газовой горелке для привода вентилятора и одновременно утилизировать отработанное тепло двигателя для подогрева воздуха (см. табл. 14) примерно на 4°.

Таблица 25. Потребности в энергии и возможности ее покрытия биогазом для сушки сена под навесом при температуре воздуха 10-12 °С и влажности 30-40%

Площадь сушилки (м²)	Площадь сушилки (м²)	Площадь сушилки (м²)	Средняя температура воздуха в сушилке (°С)	Потребности в биогазе	
				при температуре воздуха в сушилке, °С	при температуре воздуха в сушилке, °С
4	14 400	2,5	16,7	27,5	—
6	21 600	4,5	23,0	31,0	—
8	28 800	6,5	29,3	35,0	(3,6)
10	36 000	7,0	41,7	68,5	(4,8)
12	43 200	10,0	50,0	82,1	6,5

* Для оценки производительности работников использованы данные [10] и [11] для влажности воздуха 20-25%. Коровы и свиньи 30-112 кг в сутки выдают соответственно 1,5 и 0,5 м³ биогаса в пределах 20-25°.

Таблица 26. Потребности в энергии для сушки сена под навесом при различной степени подогрева воздуха и различной массе обрабатываемой за один цикл партии материала

	Потребности в энергии, кВт/ч				
	50	40	30	20	10
Подогрев воздуха, °С	До 10	10...20	20...30	30...40	40...50
Производительность сушки (кг сена/ч)	100...200	70...100	20	10...20	10...20
Потребности в жидком топливе на 1 т сена	36...50	30...38	170...160	220...250	1,570
Потребности в электроэнергии на 1 т сена	70...80	80...100	80...100	130...120	—
Потребности в биогазе (м³/ч) для подогрева воздуха					
При массе одной партии (т):	с/к 1 партии	250	700	930	1 500
	с/к 2 партии	30	120	900	1 500
При массе одной партии (т):	с/к 1 партии	1,7	6,7	21	7,5
	с/к 2 партии	200	1 000	1 800	3 520
При массе одной партии (т):	с/к 1 партии	60	230	1 800	3 120
	с/к 2 партии	700	1 500	2 700	4 600
При массе одной партии (т):	с/к 1 партии	90	370	2 300	4 600
	с/к 2 партии	—	—	—	—

Также по условиям для сушки сена под навесом, которые работают с более значительным подогревом воздуха, приведены в таблице 26.

В крестьянских хозяйствах ФРГ для подогрева воздуха используют обычно котельное топливо или сжиженный газ. Прогресс сушки температурным подогревом воздуха на 4°С еще не нашел широкого применения. Для рентабельности можно воспользоваться приведенными выше данными по сушке сена вентиляционным. Все больше внедряется сушка горячим воздухом в установках порционной и непрерывного действия. Соответствующие данные о расходе энергии и возможном использовании биогаса можно найти в таблице 27. Разницей в потребностях в энергии для сушки порционного и непрерывного действия при этом ориентировочном расчете можно пренебречь. Хорошие сушилки требуют на уда-

Таблица 27. Потребность в энергии и возможность покрытия ее биогазом при сушке зерновых и кукурузы

Нормы удельной производительности по сушке зерновых и кукурузы, т/ч	Суммарная мощность биогазового котла, кВт	Производительность биогазового котла, кВт	Потребность в биогазе		
			м³/ч	в стандартных кубометрах биогаза (1 м³ биогаза = 1,2 м³ воздуха)	
				Зерно	Кукуруза
Зерно (~4% н.д.) стел					
0,5	21	31,7	5,3	55	150
1,0	19	18,0	1,0	150	220
2,0	28	136,1	21,5	225	450
3,0	36	262,4	33,3	350	660
Кукуруза (~25% н.д.) стел					
0,5	200	277,8	16	160	100
1,0	400	555,5	31	310	180
2,0	800	1111,1	62	620	360

ление 1 кг воды удельного расхода топлива около 5 МДж (для кукурузы — только 4,6 МДж), что соответствует тепловой мощности 68,0 кВт для сушки номинальной производительностью 1 т/ч.

Сезон сушки для зерновых и кукурузы 3...4 недели.

Средняя производительность сельскохозяйственных винокуренных заводов составляет 660 т этилового спирта в год. По данным Института технологии брожения (Венгрия) для производства 1 т этилового спирта требуется 2500 МДж энергии (70 т жетового топлива ка 1 т). Теоретически допустимо и наиболее совершенная установка снизить потребность в энергии до 145 МДж/т (40 т жетового топлива на 1 т). Поскольку сезон винокурения в ряде случаев продолжается очень долго, этот вид применения биогаза представляется благоприятным с точки зрения рентабельности его расходования. Данные о потребностях винокуренных заводов в энергии и возможностях их покрытия биогазом приведены в таблице 28.

Возрастающая потребность в теплоте имеет тепловые двигатели отопления зданий с жидким топливом и широким использованием также природный газ. В настоящее время проводятся эксперименты с биогазовым отоплением, направленные на снижение стоимости энер-

Таблица 28. Потребности винокуренных заводов в энергии и возможности их покрытия биогазом

Категория потребителя, мощность в кВт, т/ч	Средняя удельная потребность в биогазе, м³/ч	Потребность в биогазе (м³/ч) при предельной производительности	Потребность в биогазе (м³/ч) при предельной производительности		
			А	Б	В
2500 т спирта, стел 70 т жетового топлива на 1 т	100	250 000	90	60	40
	300	750 000	270	180	120
	500	1 250 000	450	300	220
	700	1 750 000	630	420	310
1450 т (40 т жетового топлива на 1 т)	100	115 000	70	55	36
	300	345 000	210	165	78
	500	575 000	350	275	131
	700	805 000	490	385	182

гия путем использования специальных установок нового типа с конденсацией отбрасываемых газов. В зависимости от вида выращиваемых в теплицах культур значительно изменяется удельная потребность в теплоте. В таблице 29 приведены данные о количестве тепловой энергии [107] и возможностях покрытия ее биогазом. В принципе тепличное хозяйство нуждается в очень большом количестве энергии в расчете на одну гектара. В среднем годовая потребность в жидком топливе составляет около 100 т на 1 м² площади защищенного грунта.

Чтобы определить возможную суточную потребность в биогазе, необходимо, как и в случае отопления жилых помещений, выделить из полученного распределения годовой потребности в энергии по месяцам. В сельском хозяйстве обычно крайне редко расчет даже по половинкам ме-

Таблица 29. Потребности тепличного хозяйства в энергии и возможности их покрытия биогазом

Энергия на тепловую мощность, кВт	Количество биогазового котла, кВт	Объем биогаза в сутки, м³/ч	Потребность в биогазе, м³/ч	Потребность в биогазе, м³/ч
118,7	100	250	120 000	180 000
1 187	1 000	2 500	1 200 000	1 800 000
2 373,3	2 000	5 000	2 400 000	3 600 000

Таблица 30. Процентное распределение тепловой энергии для тепличных хозяйств [132]

	Распределение тепловой энергии, %		Суммарная потребность в теплоте для обогрева 120 м ² теплицы, кВт	
	1-я половина месяца	2-я половина месяца	1-я половина месяца	
			1-я половина месяца	2-я половина месяца
Январь	9,8	10,6	1251	1240
Февраль	9,1	7,3	1201	975
Март	6,7	5,4	794	620
Апрель	3,7	2,6	437	320
Май	1,8	1,4	210	170
Июнь	0,7	0,3	87	37
Июль	0,2	0,2	24	23
Август	0,2	0,5	24	57
Сентябрь	0,8	1,6	200	200
Октябрь	2,9	3,4	300	405
Ноябрь	5,4	7,2	651	855
Декабрь	8,4	10,6	1000	1100

связи [132]. Соответствующее распределение годовой потребности в энергии (табл. 29) приводится в таблице 30.

8.3. Животноводство

В животноводстве также можно использовать биогаз для покрытия потребностей в энергии отдельных процессов, в которых сегодня в основном применяют электричество. В Научно-исследовательском институте механизации сельского хозяйства в Вейнштафене [40] были проведены подробные исследования потребности в энергии для содержания животных; результаты этой работы использованы в приведенных ниже таблицах.

Промышленные автоматы для доильных установок могут работать на нагревателях проточного типа, работающих на биогазе в качестве источника энергии (табл. 31).

Энергия для охлаждения молока требуется в течение всего года. Прямое использование биогаза для этой цели возможно лишь в абсорбционных холодильных установках, специально для молочных холодильников такие агрегаты не выпускаются. Ориентировочный расход газа

Таблица 31. Потребности промышленных автоматов для доильных установок в энергии и возможности покрытия их биогазом [40]

	Половое животное, (с. л. год)	Предельная электрическая мощность установки, кВт	Расход энергии		Вкладная потребность в биогазе, м ³ газа в сутки
			МДж/сут	МДж на 1 литр молока в сутки	
Привязное содержание скота	20	7,5	8 917	1,20	0,08
	30	9,0	11 222	0,80	0,11
Восстановное содержание скота	40	6,0	6 422	0,43	0,02
	60	7,5	8 917	0,40	0,02
	80	9,0	10 421	0,36	0,02

в установках этого класса мощности примерно на 50% выше, чем в компрессорных холодильных устройствах. При ежесуточной вывозке молока и среднем удое 5000 л на корову в год, удельном расходе энергии 7 МДж на 100 л охлаждаемого молока и 75%-ной загрузке охладителей потребности в энергии на охладители и возможности покрытия их биогазом выражаются цифрами, приведенными в таблице 32. При вывозке молока один раз в двое суток потребность в энергии будет примерно на 15% выше.

Таблица 32. Потребности в энергии на охлаждение молока и возможности покрытия их биогазом

Половое животное, усл. год.	Потребность для электрической мощности, кВт	Расход энергии		Вкладная потребность в биогазе	
		МДж/сут	МДж на 1 литр молока в сутки	м ³ газа в сутки	м ³ /лит
20	1,2	7 001	0,90	0,07	1,4
40	2,4	14 001	0,90	0,07	2,8
60	3,6	21 000	0,90	0,07	4,2
80	4,8	28 000	0,90	0,07	5,6

Для содержания дойных коров и свиней постоянно требуется горячая вода. Данные о потребности в энергии в вывозных установках покрытия ее биогазом при эксплуатации таких бойлеров с подогревом воды от 10 до 60°C в зависимости от размеров поголовья скота приведены в таблице 33 [40].

Таблица 32. Потребности в энергии и возможности покрытия их биогором при подогреве воды в бойлерах

	Удельная теплоемкость воды, кДж/кг·°С	Плотность воды, кг/м³	Длина трубопровода, м	Возможные потребности в энергии	
				кВт·ч/сут	м³ биогор/сут
Длинные короны	20	1000	500	30	0,08
				40	0,10
Беспрямые подогреватели	40	1000	200	30	0,07
				50	0,08
Открытые системы	1000 (1,20)	1000	120	4,1	0,011
				1000 (1,20)	2,0
Плавающие системы	100 (1,6)	1000	20	1,1	0,003

Отопление необходимо только в северных районах [40]. Общая потребность в теплоте при этом от водопользователей невелика. Для систематик средней массой 200 кг при наружной температуре до -10°C и продолжительности отопительного периода 60 сут удельная потребность в теплоте составит 1950 МДж на 1 усл. гол. в год, а соответствующая потребность в биогороме около 1,8 м³ на 1 усл. гол. в сутки. В более южных климатических зонах потребность в биогороме возрастает вдвое.

Например, в помещениях для первого периода откорма

Удельная теплоемкость воды, кДж/кг·°С	Плотность воды, кг/м³	Длина трубопровода, м	Возможная потребность в энергии, кВт·ч/сут	Возможная потребность в биогороме, м³ на 1 усл. гол. в год
20	1000	200	2900	1500
40	1000	100	147	80
1000 (1,20)	1000	20	2,7	1,3

Должные установки следует также по возможности изготавливать тем или иным способом (отопительный период - около 150 суток). И в этом случае можно использовать биогором. Потребности в энергии и возможности покрытия их биогором приведены в таблице 34.

Таблица 33. Потребности в энергии и возможности покрытия их биогором при отоплении доильных установок

	Потребности в энергии		
	4	6	8
Зона с переменным климатом (средняя температура)			
Потребность в энергии, МДж/год	3000	4000	5000
Возможная потребность в биогороме, м³/год	300	400	500
м³ на 1 усл. животного в год	1,1	1,1	1,7
Зона с умеренным климатом (средняя температура)			
Потребность в энергии, МДж/год	7000	8000	10000
Возможная потребность в биогороме, м³/год	700	800	1000
м³ на 1 усл. животного в год	2,0	2,7	3,3

Биогором можно применять даже для отопления птичников в течение зимнего периода. При наружной температуре до -10°C , внутренней температуре 18°C для молодняк и кур-несушек (средней массой 1,13 кг) и 20°C для пухлят (средней массой 0,16 кг), площади отапливаемого помещения 0,49 и приточного - 0,44 м³/ч на 1 гол. дову (молодки и несушки) требуется [73]:

Теплоемкость воздуха, кДж/кг·°С	Плотность воздуха, кг/м³	Потребность в энергии, кВт·ч/сут
20	1,2	1,2 м³/ч на 1000 гол. (20 м³/сут на 1000 гол.)
0,2	1,3	0,2 м³/ч на 1000 гол. (17 м³/сут на 1000 гол.)

8.4. Моделирование хозяйства

Используя ранее упомянутые отдельные значения возможного расхода биогором для различных целей, можно получить суммарные показатели использования биогором для модельных хозяйств. Ниже также расчеты предельных для трех типов модельных хозяйств и представлены графиками в годовом разрезе (рис. 31, 33). Наиболее важные данные приведены в таблице 35. Представляется интересным сравнение ожидаемого производства

Таблица 35. Характеристики трех типов модельных хозяйств и возможности применения в шах биогаза (см. рис. 31, 33)

	Модельное хозяйство		
	I тип	II тип	III тип
Направление	Комплексное хозяйство	Дуго-пастбищное хозяйство	Зерновое хозяйство
Местонахождение	Среднепольские горы	Альпий	Вестфалия
Число голов скота в том числе:	4	4	4
Площадь с.х. угодий, га в том числе:	11	10	10
площадь лугов и пастбищ, га:	10	40	--
из них сенокосы, га:	5	20	--
площадь под зерновыми, га:	5	--	40
Число животных в том числе:	15	70	30
доух коров (стойлово-голландские)	10	10	—
молодняк, угл. гол. откормливаемых свиней	5	16	—
Сухая масса	—	—	500
подогрев воздуха, °С	Горячий воздух (см. табл. 24)	Пол. нагрев (см. табл. 24)	—
интенсивность, %	4	30	—
продолжительность сушки одной партии	6	4	—
Сушка зерна	1 неделя (см. табл. 27)	1 сутки	— (см. табл. 27)
прочно интенсивность, %	9,5	—	1,0
продолжительность сушки в течение суток, ч	30	—	18
Расход биогаза	—	—	—
Сушка сена, м³/сут. доз	50	100	—
Календарное время	30	70	—
Сушка зерна, м³/сут. доз	15,05—30,09	25,05—30,09	—
Календарное время	5	—	100
Оборудование животноводческих помещений промышленные агрегаты (см. табл. 31),	—	—	10,07—1,00
	—	1,2	—

Продолжение

	Модельное хозяйство		
	I	II	III
посадочная площадь (см. табл. 32), м²/сут.	1,1	4,2	—
байлеры (см. табл. 33) м²/сут.	1,2	7,4	0,4
атомные устройства для доменных стенок (см. табл. 34), м²/сут.	—	2,7	—
Дополнительное хозяйство (см. табл. 23), м²/сут.	7,3, 37,8 с байлерами в зависимости от месяца		
Количество биогаза при его выходе:			
0,2 м³ с 1 кг сухого органического вещества, м³/сут.	15	70	27
0,4 м³ с 1 кг сухого органического вещества, м³/сут.	30	140	54

биогаза в возможности его применения в конкретном хозяйстве. Наличие неиспользованного газа вызывает рост удельных затрат. При этом, с одной стороны, получаются большие неиспользуемые излишки, а с другой — количество получаемого газа недостаточно для какого энергетического процесса, как сушка, несмотря на применение соответствующих сушилок меньшей производительности.

Одна из главных трудностей, связанных с рассмотренным применением биогаза в среднем сельскохозяйственном предприятии, состоит, очевидно, в таком неравновесии между балансом между выходом газа и возможным его использованием: длительное время оно в разрозненных опадает по финансовым соображениям (см. табл. 10, а также главу 5). В этом направлении следует предпринять серьезные исследования. Возможными вариантами представляются, например, модернизированные способы сушки или двухступенчатый нагрев воздуха. Соседние предприятия, в том числе и сельскохозяйственные, лишь тогда согласятся использовать излишки энергии, получаемые с помощью

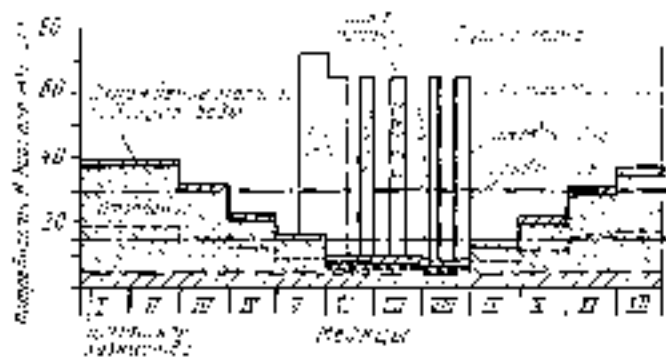


Рис. 31. Месяцное азотное хозяйство 1-го типа (см. табл. 15); в части диаграммы, где отсутствуют обозначения, кривая для азота выведена из баланса по азотному элементу катла, средняя (штриховая) — применительно к механизированному земельному наделу. СВВ — сумм. органические вещества

биогаса, когда стоимость единицы такой энергии будет ниже или, по крайней мере, равна удельной стоимости традиционных видов энергии, и также в том случае, когда будет гарантировано непрерывное ее поступление. Для этой цели необходимо собрать еще значительное количество опытных данных. Для специализированных предприятий, например удобных кукурузы для птицы, винокурен, этой проблемы не существует.

9. Использование биопласта

Все эксплуатируемые в настоящее время биогазовые установки работают на жидком субстрате. Поэтому биопласт тоже жидкий и транспортируется, как и обычно жидкий взвесь, насосами в биогазостерили. Как и жидкий мочевина, шлак не только служит в качестве органического удобрения на полях и в садах сельскохозяйственного предприятия или свиноводческого хозяйства. В некоторых случаях биопласт разделяют на жидкую и твердую фазы и утилизируют их в отдельности (например, твердую часть, чтобы получить материал для производства гранулирует и сушат).

Биогазовый метод не следует рассматривать как решение проблемы отходов. Уменьшение массы неход-

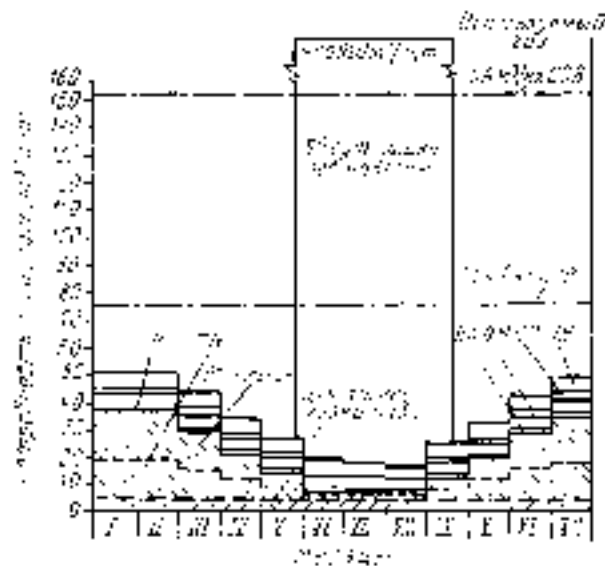


Рис. 32. Месяцное азотное хозяйство 2-го типа (см. табл. 15). СВВ — сумм. органические вещества; ТН — количество азота в навозе; СВВ — количество органических веществ; СВВ — количество органических веществ; СВВ — количество органических веществ; СВВ — количество органических веществ

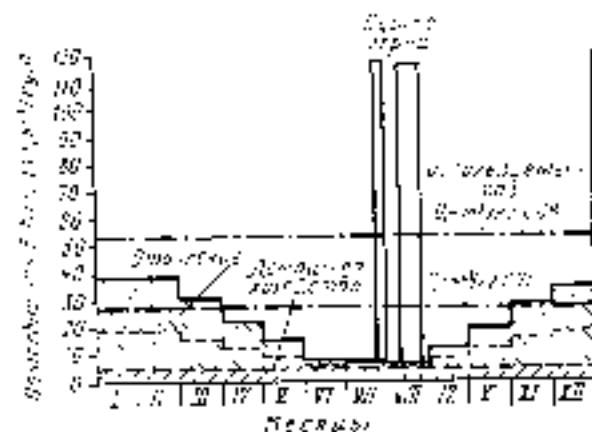


Рис. 33. Месяцное азотное хозяйство 3-го типа (см. табл. 15).

дого субстрата столь незначительна, что их практически можно пренебречь. Во время процесса брожения разлагается в среднем около 30% органического вещества, что составляет всего 10% от массы жидкого навоза. Таким образом, общая масса исходного субстрата уменьшается только на 3%.

С наступлением энергетического кризиса дорожают минеральные удобрения, производство которых чрезвычайно энергозатратно. Это послужило причиной того, что получаемые в самом хозяйстве органические удобрения вновь обрели свою прежнюю ценность и усиленно стремятся использовать их оптимальным способом. В последнем случае речь идет прежде всего об исключении потерь питательных веществ и тенденции к увеличению складских емкостей, что позволило бы внести удобрения в наиболее благоприятные календарные сроки. Это отразится как к обычному жидкому навозу, так и в еще большей мере к биогламу.

Ценность шлама как удобрения зависит от его химического состава. Во время процесса брожения уменьшается только содержание углерода и, следовательно, соотношение C/N. Фосфор и калий, как и азот, полностью сохраняются в биогламе; в биогазе могут содержаться только их следы. Однако при последующем длительном хранении в открытых емкостях вновь возникает потеря азота в виде аммиака. Часто утверждают, что биогламу обладает значительно лучшим удобрительным действием, чем обычный навоз. Точные и репрезентативные сравнительные исследования шлама с обычным жидким навозом или с жидким навозом, подвергнутым аэрированной обработке на оборудованной открытой окружающей среде (только в таком случае можно с полным правом сравнивать биогламу с этим продуктом), которые могли бы подтвердить упомянутое выше мнение, пока не проведены. Сравнение с твердым навозом (высокое содержание питательных веществ) неправомерно. Причиной лучшего удобрительного действия шлама может служить меньшая величина соотношения C/N и то, что в нем сохраняется весь азот. Весьма вероятно также, что во время процесса брожения фосфор переходит в форму, лучше усваиваемую растениями, и что образуются небольшие количества действующих веществ, которые благоприятно влияют на рост растений. Абеле [1] показал, что путем аэрации жидкого навоза, а также

добавлением бентонита и определенных хлорофитовидных препаратов использование азота навоза удается повысить на 10-25%. Исходя из этого, можно заключить, что удобрительное действие биогламы на 15% выше удобрительного действия необработанного жидкого навоза. Однако лишь точные исследования могут подтвердить эти выводы.

По Холиеру [42], стоимость необработанного жидкого навоза в предположении, что гарантируется его 30%-ное использование растением, составляет:

- навоз крупного рогатого скота 7,20 марки ФРГ за 1 м³;
- навоз свиней — 8,55;
- куриный помет — 16,80 марки ФРГ за 1 м³.

Увеличение удобрительного действия на 15% повышает стоимость навоза соответственно на 1,05; 1,28 и 2,52 марки ФРГ за 1 м³.

Интенсивность запаха зависит от степени брожения, а последняя, в свою очередь, связана с размерами реактора и скоростью установки. Объективного критерия возможного ослабления интенсивности запаха до сих пор не существует, его еще нужно разработать. Лишь субъективно указывается на существенное ослабление запаха при биогазовом методе по сравнению с запахом необработанного жидкого навоза, поэтому биогазовый метод при высокой степени разложения исходного субстрата может быть признан с точки зрения запаха окружающей среды равноценным различным аэробным способам обработки. Степень обеззараживания биоглама зависит от выбранного варианта биогазового метода и срока последующего хранения шлама. Надежность обеззараживания не гарантирует ни один из вариантов аэробного брожения.

Есть не ясно, какое кормовое значение обнаруженного в биомассе шлама белка для с каким эффектом можно использовать биогламу как питательную среду для выращивания водорослей, дрожжей и грибов.

10. Экономичность сельских биогазовых установок

Экономичность биогазовой установки следует оценивать с разных позиций в зависимости от того, какова основная цель преследуется при ее эксплуатации. И карбонат, техническое биогазовое установки должно соответство-

вать целевому направлению ее использования, причем от последнего фактора будут зависеть и соответствующие расходы.

Можно назвать три основные цели применения биоглозовых установок.

1. Производство биогаса в качестве источника энергии. Биогазом в этом процессе играет роль побочного продукта.
2. Получение высокоэффективного удобрения и сохранение его, удержавшись в отходах сельскохозяйственного производства патогенных веществ. Биогас рассматривается как побочный продукт.
3. Решение задачи охраны окружающей среды, т. е. уменьшение или предотвращение загрязнения окружающей среды отходами продуктами сельскохозяйственного производства.

На практике в той или иной мере учитываются все эти аспекты. При подсчете же экономической целесообразности приходится учитывать все три аспекта, равно как и вопрос о том, дает ли сооружение установки основание для получения в какой-либо форме государственной субсидии на строительство. Например в качестве компенсации за применение возобновляемых источников энергии или за экологическую деятельность за экологическую энергию в качестве первичных энергоносителей (котельная, теплица и электростанция). Расходы на техническое оснащение установки при осуществлении варианта 2 могут быть, по-видимому, меньше, а для варианта 3 больше, чем для варианта 1.

Ход расчета сам по себе ясен. Проблема состоит лишь в том, чтобы определить реальные характеристики будущей установки, в особенности следующие:

- срок службы;
- ремонтные надержки;
- расходы на техническое обслуживание;
- соответствие потребности в энергии;
- трудоемкость экпл. затрат и соответствующее расходы на оплату труда;
- оценка вреда и охраны окружающей среды;
- возможная экономия минеральных удобрений;
- реальный выход утилизируемого газа, т. е. в какой мере оправдывает ожидания применение, например устройств для подогрева, перемешивания массы в тепловых реакторах.

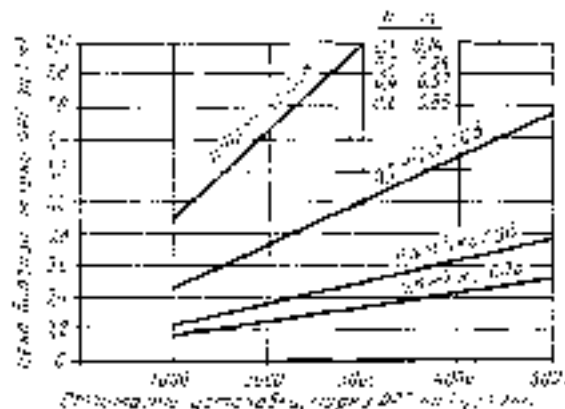


Рис. 33 Цена биогаса в зависимости от первоначальной стоимости и удельного выхода газа (по данным автора) при различных вариантах эксплуатации (см. табл. 7).

Потом сделана попытка определить цену биогаса для варианта первоначальных вложений 1 000, 2 000 евро ФРГ на 1 усл. год производства навоза (ПЕ) — только в этих пределах колебаний стоимости целесообразно эксплуатировать биоглозовую установку — и выхода полезного ископаемого биогаса 0,2, 0,4 м³ на 1 кг сухого органического вещества с учетом требований охраны окружающей среды и использованная нитрата в качестве удобрения (рис. 34). Из данных этого графика в рисунке 24 можно сделать обратный расчет, какова должна быть в том или ином конкретном случае максимальная стоимость установки, чтобы ее эксплуатация была еще рентабельной. При пересчете на 1 усл. год (цена центов навоза для производителей биогаса) вычисляются все данные между стоимостью установки газа для разных видов навоза (см. табл. 7).

Формула для расчета цены биогаса:

$$G = \frac{k - (I + D + Z)}{V} \quad \text{или}$$

$$G = \frac{\frac{k}{100} \cdot A - I - D + Z}{V}$$

- где G — цена биогаза, марки ФРГ за 1 м^3 ;
 K — годовые затраты, марки ФРГ;
 A — стоимость установки, марки ФРГ;
 x — доля постоянных затрат, % от A (амортизационные расходы, оплата процентов, издержки на ремонт и техническое обслуживание, страховые взносы);
 L — годовые расходы на оплату труда, марки ФРГ;
 M — общий годовой выход газа, м^3 ;
 a — удельные затраты на средства производства (потребность в электроэнергии для привода насосов и т. п.), марки ФРГ за 1 м^3 ;
 U — годовая экономия минеральных удобрений, марки ФРГ;
 Z — годовые дотации от государства, марки ФРГ;
 N — годовой выход полезно используемого газа, м^3 .

Расчет можно вести на все предприятие в целом, но также исходя из соображений целесообразности, в удельных показателях на 1 усл. гол. ПН. В отношении отдельных элементов расчета отметим следующее.

- а. Доля постоянных затрат принимается равной 10%, в том числе: 5% — амортизационные отчисления (сроки службы 20 лет), 3,5% — оплата процентов, 1,5% — издержки на ремонт, техническое обслуживание и страховые взносы;
- А. Стоимость установки принимается равной 1000...5000 марок ФРГ на 1 усл. гол. ПН. В эту стоимость не входит стоимость резервуара для последующего хранения биогаза, а учитывается стоимость лишь навесного прицепа с насосом, поскольку последний необходим и при обычном способе утилизации жидкого навоза;
- Л. В основу расчета положена почасовая оплата труда — 12 марок ФРГ за 1 ч и трудоемкость контроля, обслуживания и т. д., равная 0,025 ч на 1 усл. гол. ПН в сутки, что соответствует 105 маркам ФРГ на 1 усл. гол. ПН в год. Эту цифру следует уточнять в зависимости от поголовья животных. В принципе необходимо прибавиться того, чтобы установка работала практически без обслуживания. Мы пока не располагаем точными данными по намеренно данному критерию в зависимости от вида и размера установки;

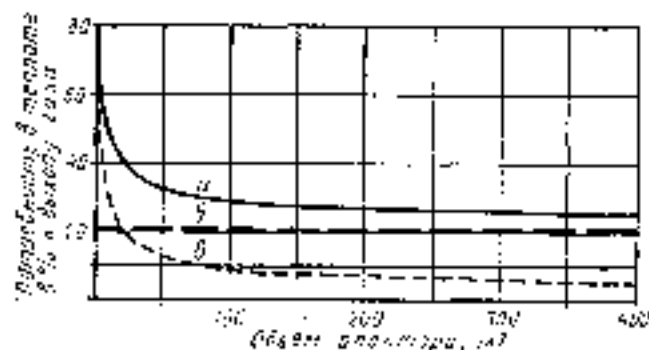


Рис. 35. Потребность в теплоте цилиндрического реактора и температура излучения от его объема с учетом потерь теплоты при излучении [24] (по Розенгеру):

а — общая потребность в теплоте; б — температура излучения на поверхности; в — температура излучения.

М/У. Под общим годовым выходом газа понимается фактически полученное его количество. Однако часть газа обычно используют для поддержания оптимальной температуры брожения (в противном случае реактор следует обогревать за счет посторонних источников энергии), а остальная часть представляет собой полезно используемое его количество. Потребность в теплоте для обогрева реактора зависит от размеров последнего и теплоизоляции. Величину потребности в теплоте для реакторов ранее сконструированных установок определил Розенгер [93] (рис. 35). При соответствующей теплоизоляции и для малых реакторов эту величину можно уменьшить на 30% от общего выхода биогаза (теплоизоляция реактора — пятисантиметровый слой пенополиуретана — стоит сейчас около 40 марок ФРГ за 1 м^2 при общей площади 400 м^2). Значения $M + A$ получают, исходя из среднего выхода навоза 5 кг сухого органического вещества на 1 усл. гол. ПН и полезно используемого количества биогаза 0,2...0,6 м^3 на 1 кг сухого органического вещества. Для ориентировочного расчета и определения цены биогаза этих данных достаточно. В действительности же

выход газа, для его, идущая на покрытие собственных потребностей установки в течение, а также весьма используемое количество газа в расчете на 1 кг сухого органического вещества в течение года неосторожно, а также, например, от времени года;

а. Удельные затраты на собственные производственные нужды можно предварительно оценить лишь весьма приближенно с еще и значительной степенью завязки от технических параметров, кроме того, отсутствуют какие-либо точные данные о них. В ранее применявшихся установках эти затраты составляли 0,2 кВт.ч на 1 м³ биогаза. Коммунальные установки для очистки сточных вод, с некоторой другой целевой направленностью расходуют 0,5 кВт.ч на 1 м³ газа. Однако эта цифра представляется очень высокой для сравнительно сельских биогазовых установок. Соответствующие затраты для них оцениваются в 0,06, 0,1 кВт.ч на 1 м³. При среднем тарифе 0,15 марок ФРГ за 1 кВт.ч стоимость 1 м³ биогаза увеличивается примерно на 1 цент марок ФРГ (с = 0,01);

б. Сельскохозяйственные предприятия во всевозрастающем масштабе вынуждены вести расходы по охране окружающей среды, практические на устранение запахов. Если хозяйство, исходя из своего месторасположения, вынуждено прибегать к расходам на охрану окружающей среды, можно ориентироваться только на обычные прямые затраты на аналогичные мероприятия, например на оборудование герметичных развозуравнителей, предотвращающих распространение запахов во время хранения (9 марок ФРГ на 1 усл. гол. ПН в гол), а на оплату заявки для этой же цели перед внесением его в помой (14-21 марка ФРГ на 1 усл. гол. ПН). В сумме эти затраты оцениваются примерно в 25 марок ФРГ на 1 усл. гол. ПН в год.

в. Точными данными о дополнительной прибыли, полученной по сравнению с использованием обычного жидкого навоза, мы пока не располагаем. Таблица [41] приводит следующие цифры средних потерь при хранении твердого навоза - 25% сухого вещества и 35% азота; обычно жидкого (без подсоса) навоза соответственно - 0 и 15%. Ис-

ти использование питательных веществ увеличивается до 15%, то получаем прибыль примерно 1,2 марки ФРГ на 1 м³ биогаза и 1,9 марок ФРГ на 1 усл. гол. ПН в год.

2. Здесь не следует упускать субсидии на капитальные с расходы. В каждом конкретном случае необходимо прибавлять непосредственно к стоимости установки (см. рис. 31) субсидии из расчета на 1 усл. гол. ПН. Цена биогаза определяется исходя из минимальной стоимости установки.

Как видно из рисунка 24, биогаз должен стоить не более 0,24 марки ФРГ за 1 м³ с учетом 35% стоимости за эксплуатационные затраты, если бы были заменены некоторые детали, которые можно приобрести сейчас по цене около 0,3 марки ФРГ за 1 м³. На рисунке 34 показано, что это можно получить при самом оптимальном расчете и только при очень высоком выходе полезного используемого газа и очень низкой стоимости биогазовых установок. Стоимость установки свыше 1500 марок ФРГ на 1 усл. гол. ПН вряд ли может быть приемлемой без деталей. Эти детали можно назвать лишь ориентировочно, но они должны послужить исходным пунктом для будущей последовательной. Следует обратить внимание на то, что это справедливо лишь для того случая, когда весь полученный биогаз (за вычетом необходимого расхода на нужды установки) будет действительно использован (рис. 31, 33), иначе фактическая цена газа значительно возрастет.

Влияние изменения отдельных элементов расчета на цену биогаза представлено на рисунке 36, причем только для выхода газа 0,2 м³ на 1 кг сухого органического вещества. Изменяются, например:

- годовая доля постоянных затрат до 12% (в результате уменьшения срока службы или увеличения доли затрат на техническое обслуживание);
- годовые затраты на оплату труда до 72 и 216 марок ФРГ на 1 усл. гол. ПН;
- удельные затраты на собственные производственные нужды до 0,02 марки ФРГ на 1 м³.

Из вышесказанного ясно, как сильно колеблется цена биогаза и как важно, с другой стороны, знание точных данных, характеризующих особенности рассматриваемой технологии.

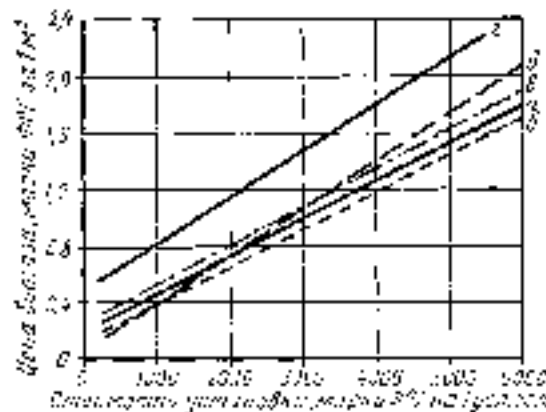


Рис. 36 Цена биогаза в зависимости от стоимости установки для разных размеров хозяйств в зависимости от биогаза $n=0,25$ м³ на 1 кг сухого органического вещества при получении с помощью элементов навоза

Доля биогаза в энергозатратах, %	Средняя стоимость биогаза, руб/куб. м	Удельная стоимость биогаза, руб/кг
10 (а)	190	0,01
10 (б)	72	0,01
10 (в)	108	0,01
22 (а)	216	0,02
22 (б)	72	0,02

а — без учета затрат на обслуживание фермы.

Итоги и перспективы

В первой части своей работы мы провели систематический обзор современного состояния научных знаний о технологии метанового брожения с особым вниманием к единственному западноевропейскому и зарубежным литературным источникам. Было указано также на проблемы и перспективы в этом вопросе.

Во второй части подробно рассмотрены основные точки зрения, важные для оценки эффективности газовой биогазовой установки. Для этой цели были подобраны разными способами образцы качественных и количественных данных о хранении биогаза, подготовке его к применению, а также о его использовании в сельскохозяйственном производстве. Путем составления балансов производства и расходования газа для трех модельных хозяйств с биогазовыми установками и теоретического расчета

экономичности последних была сделана попытка дать качественно четкое представление об основных трудностях практической эксплуатации установок вряду с обеспечением надежного выполнения ее своей технической функции. Речь идет о двух главных трудностях: весьма существенных преимуществах и экономичности по сравнению с традиционной технологией других видов энергии и сложности обеспечения устойчивого баланса между производством и потреблением биогаза.

С точки зрения современного состояния науки оборудование и эксплуатация биогазовых установок для всех размеров в ФРГ размеров хозяйства технически вполне выполнимы. Однако предварительно определить экономичность такой установки невозможно из-за того, что не хватает данных о минимальных затратах на оборудование и ее эксплуатацию. Эти данные должны быть получены при максимальном использовании техники и усилий для сельскохозяйственного производства хозяйства с учетом размеров хозяйства. Успешное применение биогазового метода по сравнению с другими разлагаем сельскохозяйственных отходов, в особенности отходов животноводства, с точки зрения требований охраны окружающей среды все еще не поддаются количественной оценке, поскольку отсутствуют систематические исследования в этом направлении.

Выход газа и его энергетический потенциал могут колебаться в широких пределах, поскольку они очень сильно зависят от вида, состава и состояния используемых исходных материалов, а также от характера режима брожения и управления им. Кроме того, биогазовая установка, которая должна иметь высокий энергетический КПД, требует создания постоянных и соответствующих используемому составу субстрата оптимальных условий производства в отношении количества загружаемого органического вещества, времени брожения, температуры процесса и перемешивания обрабатываемой массы. Чем выше требования, предъявляемые к КПД биогазовой установки, тем больше затраты на ее техническое оснащение. Поэтому биогазовые установки могут быть экономичными в эксплуатации только при очень большой эффективности реактора.

При определении экономичности ориентироваться на современную цену котельного топлива, поскольку в таком образом этот вид топлива вытесняет газом био-

газ, и исходят из расчетов факторов, которые максимально отражают реальную действительность. И в данном вопросе отчетливо проявляется упомянутая выше трудность — отсутствие различных точных данных по новым установкам. Поэтому требуют уточнения:

- потребность в энергии на подогрев субстрата;
- потребность в энергии на собственные нужды для перекачивания и перекачки субстрата (кВт/м³);
- долговечность теплических объектов;
- затраты на ремонт и техническое обслуживание (Марк ФРГ в год);
- удельные затраты рабочего времени (марк ФРГ на 1 м³ или ч на 1 усл. год);
- затраты на охрану окружающей среды (марк ФРГ на 1 усл. год);
- максимальная удобрительная ценность биомасса (марк ФРГ на 1 усл. год).

С наименьшим количеством факторов изменяется и экономичность. В особенности следует опираться в будущем с растущей стоимостью энергии. Чем дороже становится энергоресурсы, с которыми ведется управление, — жидкое топливо (или также электроэнергия), тем больше будет заинтересованность в биогазовых установках. Имея в виду аспект возможности энергоснабжения, необходимо проанализировать, оправдывает ли это инвестиции на строительство. Однако в рамках данной работы представляется возможным гарантировать экономичность биогазовых установок только в очень узких пределах:

- удельные первоначальные затраты 1000, 2000 марк ФРГ на 1 усл. год. Это предполагает тенденцию к применению однореакторной схемы непрерывного действия для небольших установок;
- высокий удельный выход полезного газа — не менее 0,4 м³ биогаза на 1 кг сухого органического вещества. Повышение выхода полезного газа представляется возможным благодаря применению других пробных видов сырья, рекуперации теплоты и поступлению вторичных энергетик, хотя бы частично для подогрева субстрата.

Чтобы получить соответствующую потребность установки в энергии, необходимо предъявлять жесткие требования к устройству реактора (его форме и теплоизоляции) и к механизмам перемешивания. При этом нужно дова-

тельно принимать меры по утилизации отбрасываемого тепла шлама в теплообменнике.

Нарушение баланса расхода и потребления биогаза немедленно скажется на экономичности установки. Среднее предприятие сначала имеет несбалансированный газовый баланс, только специализированные предприятия будут иметь уравновешенный баланс. Обеспечение такого баланса — решающий фактор для экономичности установки. Выше были перечислены различные отправные точки для продолжения в этом направлении исследований. Видно, насколько будет обойтись без промежуточных данных часов газа и газгольдерах. Мало-реакторные установки, работающие с непрерывным включением отдельных реакторов, требуют газгольдера большей вместимости.

При проектировании сельскохозяйственной биогазовой установки следует проверить, действительно ли оправдывает фактическая потребность производства биогаза его вывозный выход из отходов, так как при ограниченном использовании потенциала газа можно значительно понизить затраты на установку и ее эксплуатацию.

Чтобы можно было в будущем лучше калькулировать и проектировать биогазовые установки, представляется целесообразным получить четкие данные по следующим пунктам:

- снижение потребности в энергии путем а) систематических исследований по перемешиванию субстрата с различной вязкостью и с различным содержанием крупных частиц, причем исследования следует вести с учетом формы и размеров реактора; б) установление оптимального сочетания газового двигателя и генератора с учетом покрытия собственных потребностей установкой в теплоте (за счет теплоты системы охлаждения двигателя) и электроэнергии для привода механических агрегатов, включая тепловой насос для разрушения плавающей корки энергосберегающим способом;
- улучшение эксплуатации (контроль, управление, регулирование);
- повышение срока службы установки (уменьшение разрушений от коррозии и изнашивания благодаря

применению соответствующих материалов и новых принципов конструирования);

- снизить стоимость установки путем применения новых экономичных принципов конструирования, в том числе разработки более простых и дешевых съемных емкостей, монтируемых на реактор для сбора газа в установках, работающих с галгольдером;
- разработка моделей для конкретных технологических решений, предусматривающих различные цели процесса (применение конкретного продукта, защита окружающей среды) и производственное подчинение установки: сельскохозяйственные частные предприятия различного масштаба, производственные объединения (например, для одного села);
- сооружение установок-драгоценностей по выбранным моделям и анализ их грантовой ценности.




ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1.

Инструкции по применению опасных рабочих веществ

Надлежащее: «Модерне-индустри», Вольфганг Думмер и К^Г, Эргеленштрассе штр. 36, 8000, Мюнхен 50.

ИНСТРУКЦИЯ № 109. МЕТАН

<p>Опасное вещь</p> 	<p>Метан Поставляется в баллонах в жидком виде или (в сжатом виде). Другие названия: рудничный газ, природный газ, баллонный газ.</p>
<p>Рабочее вещь</p> 	<p>Бесцветный, не растворяющийся в воде, не имеющий запаха, неядовитый, легко воспламеняющийся (горит значительно легче воздуха). С кислородом или без него образует взрывоопасную смесь. Горит с голубым пламенем. Адулгивный газ! Обладает слабым парниковым эффектом. Высокотемпературный продукт.</p> 

A. Правила техники безопасности

1. Предусмотреть хорошую вентиляцию помещения и отсасывание воздуха через герметичные шланги. Обеспечить надлежащую защиту работающих. Принять меры предосторожности против возможных электростатических зарядов и искрообразования. Разработать план действий в случае аварии!
2. Провести в соответствии с инструкцией классификации C и кодами в рабочем помещении. Метаноможет быть опасен в сочетании с табачным дымом.
3. Перед началом работ закрыть газ из установки. Применить герметичную газонепроницаемую аппаратуру, подсоединенную к газонепроницаемой системе и выводить отток наружу. Слабые трубы проводить предупредительными знаками и этикетками, устанавливаемыми

мации и бесшумных местах (шляк, стартовые палатки (по требованию) «Метан». Проводить регулярные испытания на герметичность трехгранной и специальной журнале. Аппаратуру и балон в рабочем состоянии не открывать. Проверять герметичность балона в любом. При уходе газа срочно покинуть рабочее помещение. Возвращаться в это помещение только с исправным респираторным аппаратом. Проверке герметичности балона подлежат все балоны из повышенной и резервной аппаратуры без исключения. При работе с очень большим количеством газа, а также при заливании, транспортировании и сжигании необходимо предупредить опасность взрыва для предотвращения давления поступающего газа и исключить возможность возникновения взрыва газопровода в этот момент. Не хранить газ балоны в рабочем помещении. Балон для компакты баллонной системы, общим весом не более 10 кг.

4. Хранить и использовать газ в закрытом балоне, открытом клапане и оборудован декоративности. Запрещается курить и проводить сварочные работы в рабочем помещении. Если в охраняемой зоне возможна утечка газа, исключить возможность возникновения взрыва газопровода и газа. При работе под открытым небом избегать воздействия радиоактивного излучения на газные баллоны, при возможности предусмотреть защиту от них.

5. При содержании кислорода менее 2% по объему и низкой влажности воздуха не производится. Наибольшая допустимая сила воздействия газопровода смесь при содержании метана 0,4%. Не смешивать метан с кислородом, азотом, диоксидом азота, фтором, тетрахлоридом азота.

6. При хранении и в процессе производства следить за герметичностью резервуаров и устанавливать их в вертикальном положении в хорошо вентилируемом месте. Не хранить газ балоны в помещениях с повышенной влажностью. Не ставить и вешать газ балоны и рабочие помещения. Запрещается хранение и использование баллонов в экстремальных условиях. Резервуары следует хранить в защищенном виде под углом 45°, хранить отдельно от других газов, чтобы избежать эффективного влияния на другие газы. Газ должен быть свободен от влаги, кислорода и кислорода.

7. При транспортировке важно защищать клапаны баллонов и ручки балона.

8. Для газовых баллонов с шаровым клапаном М. Д. 60Д¹/Г предусматривается защита балона. Клапан должен открываться без особого усилия. При уходе балонных из газопроводов он герметичности. Если газ заливается, так и газ балонной Шланг и протереть не реже чем раз в неделю. При транспортировке устанавливать устройство предотвращающее обратный удар, если в этом случае произошла утечка, способствующая повреждению.

9. При длительной работе с газом использовать балон более 2% по объему не удалять надпись «Метан», а также перечеркнуть ее.

10. Принятие газа, ртуть и хранение продуктов питания в рабочем помещении запрещается.

11. При уходе газа в закрытом помещении удалить газ только с тяжелым кислородным аппаратом. Контролировать концентрацию газа в воздухе с помощью газа (детектора) газопроводного газа.

12. Необходимо регулярно повторять обучение рабочих в зависимости их расписания в специализированном журнале. Соблюдать ограничения по доступу к работе с газом согласно § 10, а также по 28-баллонной системе.

13. Маркировка резервуаров с газом в соответствии с ТИО, соответствующей таблице «Газы» и маркировке резервуара, а также соответствие на баллоне соответствующей таблице.

В. Правила противопожарной безопасности и меры предотвращения аварий

1. Проверить герметичность или паровых труб «ответственный». Вышедший газ может быть взрывчатой смесью под давлением. Необходимо респиратором и баллоном с кислородом охлаждать газопровод. Запрещается использовать только маркированную аппаратуру.
2. Проверить герметичность респираторных аппаратов.
3. При уходе газа по авторизованной таблице безопасности газа руководствоваться инструкцией по технике безопасности СЕРИС и предотвратить в случае аварии.

В. Правила охраны здоровья людей

1. Характер действия и токсичность. Метан и формальдегид являются простыми собой взрывчатыми газами и могут вызвать острую реакцию, раздражение слизистых оболочек.



При токсическом действии возникает только при вдыхании газа под давлением. Минимальное количество смеси на 5 кубометры людей метана и 1 кубометры газа кислорода не вызывает токсического действия. При концентрации 3,40... 526 мг/л возникает раздражение кожи и слизистых (продолжительностью до 10 минут и не принимается). Различия между маркировкой и газопроводной маркировкой.

2. Первая помощь. Пострадавшего как можно быстрее вывести из помещения. Положить пострадавшего на спину и сделать искусственное дыхание (искусственное дыхание) и более тяжелые — искусственное дыхание. Если пострадавший находится в сознании, вызвать скорую помощь и при необходимости начать делать искусственное дыхание. Транспортировать в положении лежа на боку.

3. Врачебная помощь. Вдыхание кислорода, инъекции адреналина и при необходимости — при отравлении CO.

Формула	Cl ₂	MAK*
Метан (резервуарный баллон)		Классификация опасности — 2,3
Формальдегид	0,01	100 МПа
Формальдегид (резервуарный баллон)	0,05	400 МПа
Токсичность (резервуарный баллон)	0,05	Размер емкости баллона — 20 л
Токсичность (резервуарный баллон)	0,05	0,250 мг/л
Токсичность (резервуарный баллон)	0,05	1 баллон — 100 мг/л
Токсичность (резервуарный баллон)	0,05	1 баллон — 100 мг/л
В жидком состоянии.		
Токсичность (резервуарный баллон)	0,05	
Токсичность (резервуарный баллон)	0,05	
Токсичность (резервуарный баллон)	0,05	

* МАК — максимальная допустимая концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны (по ГОСТ 12.1.008-77).

<p>Опасная зона</p> 	<p>Углекислый газ Появляется в баллонах при сильном давлении в сжиженном виде (сухой лед) виде</p>
<p>Рабочая зона</p> 	<p>Безвредный, неядовитый, стабильный, способный к резкому скачку температур, тяжелее воздуха (сжиженный газ). Сжиженный углекислый газ при резкой смене фазы переходит в твердое состояние (сухой лед). Хлопковый газ, соединяясь с влажным воздухом, образует туман. В зависимости от концентрации выделяемого газа возможны возбудитель, а также ожоги или удушье при вдыхании. Резорбция в небольших мере происходит также через кожу. Жидкая углекислота при попадании на тело вызывает местные обморожения.</p>

А. Правила техники безопасности

1. Провести осмотр, проверить герметичность и отсутствие утечек при производстве. В случае обнаружения утечки баллон необходимо вынести в место выхода или помещения газа. Шахта и кабели должны быть защищены от повреждения газа.
2. Отключить и размотать в местах нахождения точек материала. Флажки и хвосты для провешивания газа поместить на видном месте в рабочих помещениях. Места нахождения газа и возможные выходы обозначить специальными табличками. Двери и окна входов выходов должны открываться наружу. В больших помещениях двери должны открываться наружу. Обязательно наличие аварийных выходов.
3. В производстве по возможности использовать термометрическую аппаратуру. Регулярно контролировать герметичность. При нарушении герметичности или выводе установки из строя немедленно покинуть помещение и эвакуироваться в него так как с автономным респиратором или аппаратом. При этом необходимо присутствие не менее чем двух человек.
4. Устанавливать баллоны в удалении от отопителя газа и отопительных приборов. На открытом воздухе избегать воздействия солнечной радиации. При обнаружении дефектов респираторов,

представителей опасности для персонала или третьих лиц, немедленно сообщить на аварийный газ.

5. Углекислый газ может применяться при работе в помещениях, в особенности при повышенных температурах, поэтому его нельзя считать универсальным противопожарным средством. При смешивании с азотом, кислородом, металлами, диоксидами и триоксидами возможны опасные реакции. При быстром сжатии и давлении до критического значения углекислота затвердевает, охлаждаясь до -78°C, и превращается в сухой лед, который, падая, быстро испаряется.
6. При сжиживании и в процессе работы газомы баллоны необходимо держать с учетом их относительного заряда как в горизонтальном, так и в вертикальном положении. Нельзя хранить их рядом с легковоспламеняющимися веществами в значительных количествах и работать с ними, а также в непосредственной близости от них. Запрещается и опорожнять баллоны в складских помещениях без разрешения. Резервуары следует очищать от жидкого газа не более чем на 95%. Если жидкую углекислоту заливают в баллоны и газомы, то эти газомы должны быть хорошо вентилируемыми и находиться на высоте, также как и выходы разгрузочной площадки.
7. Углекислый газ в сжиженном виде транспортируется в баллонах высокого давления. При несоблюдении правил допустимых количеств и газомы баллоны.
8. При обрыве цепи газомы баллоны W 21,86x110", а также другие КЗ для приведения в действие должны быть установлены: должны находиться без большого усилия. При замене баллонов всегда следует проверять на герметичность фланж как до монтажа, так и после монтажа. Не следует вносить изменения в конструкцию помещений. При отборе газа баллоны должны быть только в вертикальном положении. Следует проверить не менее чем один раз в полгода. Нормативные материалы должны храниться в соответствии с правилами хранения, хранения и транспортировки материалов. Для обслуживания газа и других его функций необходимо использовать только специальные трубы. Аварийно.
9. При работе, работе и хранении продуктов питания на рабочих местах запрещается.
10. Во время работы носить защитную одежду и перчатки из кожи или другой ткани. В случае утечки газа в помещениях помещений пользоваться только автономным респиратором. Звонить. При работе с другим лицом принимать меры для защиты от обморожения.
11. Проводить регулярное обучение рабочих в процессе их работы и специализированной. При приеме на работу учитывать профессиональные ограничения и соответствия в § 13 инструкции о рабочих веществах.
12. Резервуары обслуживать под давлением и давлением, соответствующим в них. Применять только разрешенные законом емкости.

Б. Правила противопожарной безопасности и меры предотвращения аварий

1. Углекислый газ не горит. При возникновении мероприятий необходимо в соответствии с окружающей обстановкой. Резер-

дуры, попадающей в зону лавины, — ожидать разбрызгивания воды, выходя из опасной зоны — отключиться! Выходящий из лавины человек должен двигаться с размахом, образуя туман. Выходящая жидкость имеет очень высокую температуру и немедленно затвердевает, превращаясь в сверхобъемную массу, которая быстро расширяется. Опасно люди могут задохнуться, особенно в закрытых помещениях или под землей плавающим. Остерегайтесь обожженных тел и останьтесь на безопасной стороне.

2. Небольшие количества жидкого азота можно использовать.
3. Углекислый газ лучше не применять.
3. Непосредственно с помощью трансформатора электропитания при перевозке по автомобильным дорогам перевозка газа возможна только специальными машинами. На автомобильные перевозки предусмотрена табличка с соответствующими цифрами сигнальными, а также знаки и знаки предупреждения до знака безопасности.

И. Правила охраны здоровья людей

1. Характер действия и токсичность. Углекислый газ в высоких концентрациях парализует дыхательный центр. При низких концентрациях человек может испытывать недостаток энергии, ощущение заложенности в носоглотке и при этом происходит нарушение обмена веществ. В зависимости от продолжительности нахождения при отсутствии достаточного поступления кислорода 8...10% (по объему) CO₂ может вызвать головные боли, шум в ушах, головокружение, повышение артериального давления, тахикардию, учащенное дыхание или одышку, озноб, дрожь, дрожь, слабость, тошноту. При концентрации свыше 10% — отравление, при 14% — судороги, при 18% — потеря сознания, падение артериального давления. При свертываемой крови человек может потерять сознание. При концентрации свыше 18...20% — острое, парализующее отравление. В случае контакта кожи с жидким CO₂ — так называемый «лед» — покраснение и отек, возможно образование пузырей. В отдельных случаях более или менее глубокие повреждения кожи. Сильное быстрое.
2. Первая помощь. Прекратить контакт с жидким газом, вывести из опасной зоны. Обеспечить поступление свежего воздуха. В закрытых помещениях — вентиляция. Тепло, при необходимости и искусственное дыхание. Освободить дыхательные пути. Следить за пульсом, при необходимости сделать массаж сердца. При излечении больного транспортировать в госпиталь или больницу.
3. Врачебная помощь. При сильном отравлении вывести (пер. дозе) — введение кислорода и легкое специальное спирофор, и введение диметилсульфоксида и контроль за состоянием сердца. Введение венозного баллона, кислородного и парового дыхания путем введения гидрокарбоната натрия (бикарбоната) и др. Давление и температура из симптомов.

решит. При сильном болевом состоянии ввести под кожу 1 мл 1% раствора гидрокарбоната натрия. Следить за давлением и пульсом. Внутримышечное — 2 мл 1% раствора гидрокарбоната.

Объем газа	10%	15%	20%
Время действия	10 мин	15 мин	20 мин
Клиническая картина	Клиническая картина	Клиническая картина	Клиническая картина
Патологические изменения	Патологические изменения	Патологические изменения	Патологические изменения
Лечение	Лечение	Лечение	Лечение
Прогноз	Прогноз	Прогноз	Прогноз

Опасная информация



Сероводород

Поступает в баллонах высокого давления. Пользоваться осторожно при работе с газом в баллонах. Другие названия: сероводородная кислота, сульфид-диоксид.

Важная информация



Иногда, в зависимости от давления, газ, без запаха, может образовывать белый дым. Газ не имеет запаха в воздухе, в определенной концентрации пахнет тухлыми яйцами. При длительном воздействии в повышенной концентрации раздражение слизистых оболочек при вдыхании, поэтому этот признак обнаружения не надежен! Скорее всего газ в дыхательные пути. Крайне опасен при вдыхании. Вдыхание может вызвать отек легких и смерть.



A. Правила техники безопасности.

1. Предусмотреть всерьез контроль концентрации рабочего вещества и концентрацию воздуха на уровне пола. Обеспечить эффективное проветривание газа и место его выделения. Обеспечить наличие аварийного выхода. Принять меры при обнаружении газа и предотвращения дальнейшего распространения газа. При обнаружении газа прекратить работу сразу!
2. Держать в состоянии готовности огнетушитель в классе С и классу В. В случае возникновения пожара для предотвращения газа предусматривать индивидуальную защиту. Место нахождения газа обозначить специальными табличками.
4. Пользоваться в работе герметичную газовую аппаратуру и предотвращать утечку газа. Обращаться с газом только через специальную трубку. Следить за поступлением газа и давлением. В аварийной ситуации немедленно прекратить подачу газа и уведомить «МЧС». Регулярно контролировать герметичность в местах утечки газа как можно быстрее сообщить о работе в помещении. Избегайте в помещении пламя с тяжелой respirator.

формы аммиака. Запасные баллоны в помещении не хранить. Обеспечить наличие датчика газоанализатора H₂S — только при наличии доступа.

4. Крайне избегать от электрических приборов, особенно брызг металлов, сварки и искры. Категорически запрещается курить и использовать рабочую в помещении.
5. Во влажной среде и при повышенной температуре при контакте с металлами при взаимодействии H₂S образуют сульфиды. Серебряный металл, марганец, цинк и их сплавы непригодны для использования в качестве контактных элементов материалов электрических контактов (вплоть до 50%). Если прибор не находится в коррозии H₂S реагирует с окислителями, в частности с углями вплоть до восстановления (с образованием SO₂). При выдувке газа в открытой атмосфере образуется большое количество диоксида серы. H₂S может также образовываться в основном элементе на его входе при контакте их с металлами. Описание реакции показано с аммиаком, окислен азотом, аммиаком, хлором, диоксидами азота, диоксидами азота, фтором, метанолом, сероводородом, четырехокисью азота, трихлоридом. С аммиаком не вступает в реакцию реакция только при концентрации более 2% по объему.
6. При эксплуатации баллонов в промышленности обращаться осторожно на территории баллонов. Хранить в закрытом хранилище. При работе не курить, не пить, не есть. Не хранить в помещениях с легковоспламеняющимися веществами. Не хранить в помещениях жилых, в школах и детских. Держать вдали от детей и животных в баллонах в складских помещениях запрещается.
7. При работе газом использовать защитные костюмы и обувь, очки.
8. Крайне баллоны не стандартной формы работы должны храниться вдали от детей. При замене баллонов Крайне газ на территории, где в нем пустых баллонов работать на территории.
9. При работе газом и изменении условий питания на рабочем месте запрещается.
10. Надеть противопожарную защитную одежду. Крайне газом одежду немедленно снять и проверить. По возможности использовать защиту на территории и лица. В определенных случаях применять респиратор с фильтром В (картриджный фильтр серы). При отсутствии защитной концентрации газа и в случае тяжелых работ использовать только только респираторы с фильтром. Контролировать концентрацию газа и воздуха только с помощью специального прибора (прибор СИЗ04, 291, 292, 291 или простого индикатора со специализированной бумагой).
11. Необходимо регулярно повторять обучение работам с газом из инструкций и специальных журналов. Соблюдать ограничения по времени работы с газом согласно § 15 инструкции по работе с веществами. Запрещается принимать на работу людей с болезнями глаз и нервов.
12. Маркировка респираторов и оборудования с международными стандартами IEC0 с помощью плакатов «Мир и Жизнь», респираторы снабжать датчиками, выходящими в местах загрязнения газа и место работы плакатом.

В. Правила противопожарной безопасности и меры предотвращения аварий

1. Применять специальный углекислотный огнетушитель. Выезжать к месту аварии стараясь дутьить разбрызгиванием воды, при этом избегая контакта с ней. Находясь на близком расстоянии и базируясь на безопасном направлении, осуществлять разбрызгивание воды. Карьеры пуски! При пожаре немедленно вызвать разрабатывающее предприятие на место и тщательно вести наблюдение за развитием огня в течение всего срока его ликвидации. Обращать внимание на возникшие последствия. Присутствие паводка требует применения дополнительных устройств.
2. Использовать личный респираторный аппарат и герметичные индивидуальные костюмы.
3. После завершения работ плавара обратиться выехавшим на место аварии. Исключить возможность повторной утечки или протекания жидкости или газа в подвалы, ямы и карьеры, включая И-С — отражающее воду вещество.
4. В соответствии с производственными характеристиками при работе на карьерах бытовых бытовых И-С действующим средством автомобиля является присутствие в кабине водителя с собой и в конструкции техники безопасности. Проверка осуществляется только по специальному разрешению!

В. Правила охраны здоровья людей

1. Характер действия и токсичность. В результате конденсации (\approx до 200 мг/л) — раздражение слизистых оболочек (глаза, дыхательные пути), тошнота, рвота, головная боль, понос, слабость, учащенное сердцебиение, бред, судороги. Характерна также местная кожная раздраженность. К смертельному исходу может привести поражение органов, который наступает очень быстро, чем выше концентрация, тем выше вероятность смерти. В тяжелых случаях смерть наступает в течение 1-2 часов при 100 мг/л. Научными исследованиями доказано, что при попадании в организм человека при вдыхании паров И-С происходит поражение слизистой оболочки верхних дыхательных путей, что приводит к отеку слизистой оболочки. Обычно поражение верхних дыхательных путей в И-С. Хронические симптомы раздражения слизистой оболочки, легкие попутные нарушения, слабость, головная боль, общая слабость, головная боль, нарушение проводимости. Характерна также сыпь и кожный зуд.
2. Первая помощь. Свежий воздух, при необходимости дыхание искусственное (надувать баллон в рот). Тепло, покой. Переохлаждение в холодном помещении. При отсутствии потер сознания переводить в положение лежа на боку.
3. Врачебная помощь. Как можно быстрее доставить в лечебное учреждение, при этом не забывая и в обязательном порядке! Помогать амбулатории. Внимательно следить за функциями системы кровообращения и дыхания. Предупреждать оск. барана. При необходимости давать кислород, как только увидят возможность сделать реанимацию. При остром отеке легких во время длительного периода вынужденной работы (превышения индивидуальной). Кроме того, диффузия ТНММ и дозы 0,5 г/мл 1 мл в час. Абсолютная доза, токсич. Профилактика инфекции. Дыхательные пути очищать путем

вдыхания. Применять марлевый тампон в увлажненном. Провести очищение кожи при помощи горячей воды. Следить за состоянием дыхания. При поражении глаз обрабатывать препаратом стараясь избежать попадания в глаза. Жел. Кож. и при отравлении СО₂.

Формат	И-С	Дозы (мг/л)
Средняя концентрация	0,1	100
Влажность воздуха	1,0	1000
Охлаждение воздуха	1,0	1000
Температура воздуха	1,0	1000
При работе на карьерах	1,0	1000
В жилых помещениях	1,0	1000
Температура воздуха	1,0	1000
Влажность воздуха	1,0	1000
Охлаждение воздуха	1,0	1000
Температура воздуха	1,0	1000
При работе на карьерах	1,0	1000
В жилых помещениях	1,0	1000

Приложение 2.

Правила техники безопасности Объединения гельсского и лесного хозяйства Рейнхессен-Пфальц

РАЗДЕЛ 5. БИОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

При брожении органических веществ (сенового высева, гумуса, остатков корма) в канонных ямах, каналах и т. д. в условиях отсутствия кислорода выделяется горючий газ, который по большей части состоит из метана (CH_4) и углекислого газа (CO_2) и известен под общим названием, как биогазовый газ, биогаз и др. Поэтому этот газ можно использовать для отопления и в качестве топлива для двигателя внутреннего сгорания, если получают в специальных установках — биогазовых реакторах. Биогас не содержит окиси углерода (CO), как сжиженный газ, и поэтому не ядовит. Однако он может вызвать смерть от удушья, так как не содержит кислорода. В смеси с воздухом (инспиратором) биогас взрывоопасен. Перед тем как войти в биогазовый камеру для ее осмотра, ремонта и т. п. необходимо привентилировать эти камеры с помощью соответствующих устройств, например вентиляторов, до тех пор, пока пламя зажженной для безопасной рудничной лампы не будет гореть ровно, не колеблется, следовательно таким образом о наличии достаточного количества свежего для дыхания воздуха. Проверка открытым пламенем запрещается как из соображений безопасности, так и потому, что может испортить лампу и вызвать пожар. При этом для дыхания в пустую камеру человека нельзя помещать крепкую веревку, другой ремень или что-либо подобное и очках у двух человек, чтобы в случае опасности — выхода из строя безопасной рудничной лампы — они могли сразу вылезти наружу, не спуская и не влезая под, еще живого рабочего. Как правило прикреплять веревки, показано на фотографии к таблице 3.

Предисловия

§ 1. Область применения

Перед началом работы правила техники безопасности распространяются на биогазовые установки вместимостью до 100 м³. Для больших установок действует принцип дальнейшее совершенствование области применения в соответствующих предприятиях.

Споружение установок

§ 2. Биогазовые установки должны быть построены с соблюдением всех технических правил.

§ 3. Предварительная работа поручить исключительно биогазовой установке его администрацией фирме с условием, что эта установка будет соответствовать § 2 и приведенная ниже правилами техники безопасности в смеси с той

будет перелита подробная инструкция на ее правильному обслуживанию.

§ 4. (1) Биогазовые и биогазовые камеры должны быть оснащены всеми приборами и устройствами, которые позволяют быстро пропускать биогас из помещений.

(2) Из биогазовой камеры должна выходить трубка со специальным устройством для отвода газа и воздуха. Выходит только после тщательной проверки и проверки с помощью безопасной рудничной лампы. За исключением в камеру должны быть прикреплены два человека, соединенные с ней веревкой.

(3) На специально выделенном месте должны быть прикреплены безопасная рудничная лампа и веревка для прикрепления к монтажному болту.

(4) Гимнастик для газа следует располагать на достаточном расстоянии от жилых домов, скотных и общественных выгребов. В качестве минимального допустимого рекомендуется следующее расстояние от домов с мягкой кровлей — 10 м; от домов с твердой кровлей — 5 м; от общественных дорог — 2 м, если местами нет никаких препятствий другим ограничениям. Если биогазовые установки расположены во внутри усадьбы, они должны быть ограждены забором по крайней мере привлекательными старыми или новыми терриформами.

(5) С помощью специальных приборов следует измерять давление и температуру газа в области газовой резервуаров.

§ 5. Экономические установки во внутренних помещениях должны соответствовать инструкциям Союза немецких электротехников на обслуживание электрических установок во внутренних помещениях промышленных объектов (VDE 0100) и для электрических установок электрических средств производства (VDE 0171).

Эксплуатация установок

§ 6. Самостоятельное обслуживание и эксплуатацию биогазовых установок можно доверить только компетентным в данной области лицам.

§ 7. Следует избегать действия огня, правила обслуживания и эксплуатации. Они должны быть вывешены в соответствующих помещениях или непосредственно на самой установке.

§ 8. Необходимо регулярно проверять уровень воды в резервуаре сальника, количество газа и надежность самого сальника. Забой предотвращать образование ледяной корки.

§ 9. (1) Перед тем как войти в биогазовую камеру для работы, обслуживания работ, измерения расхода, следует удалить скопившийся там биогас путем активной вентиляции с помощью специальной вентиляционной оборудования. Входить в камеру можно только тогда, когда с помощью безопасной рудничной лампы установленное количество кислорода соответствует нормального для дыхания воздуха. Входить в камеру разрешается только с безопасной биогазовой рудничной лампой и присутствием двух человек, которые должны находиться в безопасном периметре и находиться в состоянии готовности вылезти из камеры в случае аварии.

(2) В случае аварии поступать в соответствии с § 3, таб. 3 фотографии 3.

- § 10. Ремонт резервуаров и трубопроводов должен выполняться только с использованием аппарата избыточного давления (установки). Это особенно важно для всех работ с открытым пламенем и сваркой, проводимых на территории и трубопроводах.
- § 11. Курьезы, резаные шпалы и прочие отходы плавки в размере до 10 м от территории запрещены.
- § 12. При обращении с вышеперечисленными материалами применяться соответствующие правила, изложенные в § 4 раздела 3.

1. Abete O. Ertragssteigerung durch Flüssigmistbehandlung. KIBL-Schrift Nr. 224. KIBL-Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup, 1978.
2. Ahrens W. Experimentelle Untersuchungen zur Frage der senkrecht eintretenen Gärbarkeit vor abgeschlossenem Schlamm (Methangärung). Wiss. Zeitschrift d. Th. Dresden 1956/57, II, 6.
3. Arberg M. F. Desulfure Kraft-Wärme-Kopplung in einem Klärwerk. Energie 29 (1977), II, 11, S. 374 ff.
4. Bauer W. Freisetzung von Wärme aus organischen Reststoffen der landwirtschaftlichen Produktion. Landbauforsch. Völkensloh 28 (1976), II, 2, S. 171—176.
5. Bauer W., Hardtke D., Gräbe K., Tietjen C. Behandlung tierischer Exkremente. H. mit Strauch D., Bauer W., Tietjen C.: Abfälle aus der Tierhaltung. Verlag E. Ulmer, Stuttgart, 1977. S. 70—157.
6. Bauer W., Schuchardt E., Thier R., Döhrig E. Behandlung organischer Reststoffe aus der landwirtschaftlichen Produktion in biologischen Prozessen. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes für die Europäische Wirtschaftsgemeinschaft, 1977.
7. Bauer W. Aussichten der Biogasgewinnung aus organischen Rest- und Abfallstoffen aus der landwirtschaftlichen Produktion. Kongressbericht I. Deutsches Sommerforum, Hamburg (1977) Bd. 3, S. 133—142.
8. Bauer W. Biogasgewinnung im landwirtschaftlichen Bereich—Technische Voraussetzungen und Konsequenzen. Landtechnik 33 (1978), II, 2, S. 61—68.
9. Bauer W., Thier R., Trautwein H. Verfahren zur Behandlung von Abfällen der tierischen Produktion. Der Loh. 50 (1972), S. 612—627, Verlag Paul Parey, Hamburg u. Berlin, 1972.
10. Bartlett H. D., Perrier S., Rogers R. W., Brandt J. A. E. Experiences in operation of an size anaerobic digester. ASAE Paper 77-4053. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, 1977.
11. Bestler H. Kleinbiogasanlage, 1977. Pers. Mitteilung v. Herrn Mauser, Landesanstalt für Maschinenwesen, Ulm/Heim.
12. Beyer K. Gasbetriebene Wärmepumpe. Gasterzeugung 26 (1977), II, 9/10, S. 335 ff.

13. Böttner H. *Beiz. Mitteilung, Institut für Tierernährung der FAL Braunschweig*, 1976.
14. Bremner P. Le potentiel énergétique Suisse des gaz des fermentations No. 17, Commission Fédérale de la conception globale de l'énergie, Vevey, 1975.
15. Bryant M. P. The microbiology of anaerobic degradation and methanogenesis with special reference to sewage. II. In: Seitzinger H. G., Barnea E. *Microbial energy conversion*, Verlag E. Goltze KG, Göttingen, 1976, S. 107-117.
16. Bryant M. P., Yarel V. H., Froehner R. A., Isaacson H. R. Biological potential of thermophilic methanogenesis from cattle wastes. In: Seitzinger H. G., Barnea E. *Microbial energy conversion*, Verlag E. Goltze KG, Göttingen, 1976, S. 347-359.
17. Buswell A. M. Fundamentals of anaerobic treatment of organic wastes. *Sewage Ind. Wastes*, 29 (1957).
18. Buswell A. M., Borum C. S. The correlations between the chemical composition of organic compounds and the amount and quality of gas from sludge digestion. *Sewage Works Journal*, 454, 1952.
19. Converse J. C., Graves R. E., Evans G. W. Anaerobic degradation of dairy manure under mesophilic and thermophilic temperatures. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 20 (1977), S. 336-341.
20. Converse, J. C., Evans G. W., Verhoeven C. R., Goshorn W., Gibbon M. Performance of a large size anaerobic digester for poultry manure. ASAE Paper 77-0451, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, 1977.
21. Converse J. C., Graves R. E. Facts on methane production from animal manure. *Fact Sheet Univ. of Wisconsin*, 1974.
22. Conway C., Wise D. Thermophilic anaerobic digestion of solid waste for fuel gas production. *Biotechnol. Bioeng* 17, (1975), S. 1119.
23. Dittus J., Lux E. *Taschenbuch für Chemiker und Physiker*, Bd. 1: Makroskopische physikalisch-chemische Eigenschaften. Verlag Springer Berlin, Heidelberg, New York, 3. Aufl., 1967.
24. Döhre E., Brenzlauer M. Wie aktuell ist Deut. Biogas? *Landtechnik* 29 (1974), H. 7, S. 302-307.
25. Döhre E., Feldmann F. *Landtechnik 1. Landwirtschaftl. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart*, 1969.
26. Eysler E. Biogas, eine Studie über die Akzeptanz der Biogasgewinnung. Abschlussarbeit Gesamthochschule Kassel, 1976.
27. Fair G. M., Moore E. W. Observations on the digestion of a sewage sludge over a wide range of temperature. *Sewage Works J.* 9 (1937) S. 3.
28. Feldmann F. Biogas — energetisch gesehen. *Landtechnische Forschung*, 4 (1951), H. 3, S. 65-78.
29. Fischer J. R., Lammelli E. L., Porter J. H., Garcia A. Producing methane gas from swine manure in a pilot-size digester. ASAE Paper MC 77-044, American Society of Agricul. Engineers, St. Joseph, Michigan, 1977.
30. Fischer J. R., Mander N. E., Sievers D. M., Fritzsche C. D., Lammelli E. L. Design and operation of a pilot-size stratified digester for swine. ASAE Paper 77-4059, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, 1977.
31. Gaertner A., Künsmann S. D. Faulschlamm (Gärschlamm) «System Berlin». *Städtehygiene* 7 (1950), S. 110-115.
32. Ghosh S., Conner J. R., Klass D. L. Water Pollut. Control Fed. 47 (1975), H. 5, S. 39.
33. Görlicke P. Biwattige Heizungen - Gedanken zur Wärmeübertragung. *Flüssig-Diesel* 24 (1977), H. 2, S. 95 ff.
34. Götz G. Die Biogasgewinnung ohne Schwärzdecke «System München II». *Lichtmann H. Gewinnung und Verwertung von Methan aus Klärschlamm und Mist*, Verlag 9. Oldenburg, München, 1966, S. 269-278.
35. Gooding W. Power from pigs. *New Zealand Farmer*, April 1976, S. 111E.
36. Heide J. Speicherung von Erdgas. *Sachverständigenrat 100 Jahre SVGW des Schweiz. Vereins von Gas- und Wasserfachmännern*, Zürich 1974.
37. Hein K. Betriebserfahrungen mit einer Mehrknoten-500kW-Anlage zur Beheizung eines Hallenbades. *VDI-Berichte Nr. 257 (1977)*, S. 25 ff.
38. Hein M. E., Smith R. J., Vetter R. L. Anaerobic digestion of beef manure and corn stover. ASAE Paper 75-4512, American Society of Agric. Engineers, St. Joseph, Michigan, 1975.
39. Hein M. E., Smith R. J., Vetter R. L. Some mechanical aspects of anaerobic digestion of beef manure. ASAE Paper 77-4058, American Society of Agric. Engineers, St. Joseph, Michigan, 1977.
40. Heisl J. V., Ayik M., Boxberger J. Elektrischer Leistungsbedarf und Energieverbrauch verschiedener Arbeitsverfahren der landwirtschaftlichen Produktion und energiewirtschaftliche Folgerungen. *Forschungsbereich des Instituts für Besonderen Lehrstuhl für Landtechnik der TU München, Georg Weihenstephan, VDEW, Frankfurt/M.*, 1975.
41. Heilmann H. G. G. verbessert die Bodenfruchtbarkeit. *Hannoversche land- und forstwirtschaftliche Zeitung* 130 (1977), H. 29, S. 14-17.
42. Hoyer H. Verfahren der Flüssigdüngung. *KTBL-Schrift Nr. 209*, Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup, 1977.
43. Hult W., Quetschinger W. Einfluß der Brenneremissionen auf die Uchärte zu anorganischen Abfallstoffen auf Körnertrichter bei rückgeführten Trockenschlammern. *Grundlagen der Landtechnik* 26 (1976), Nr. 4 S. 134 ff.
44. Jahn P. P. Mikrobielle Methanzeugung aus Biomasse durch anaerobe Fermentation im technischen Maßstab. *Diss. III Aachen*, 1977 im Bericht der Kernforschungsanlage, Jülich Nr. 1561, 1977.
45. Jewell W. J. (Herausgeber) *Bioreconversion of agricultural wastes for pollution control and energy conversion* TID 27164, Cornell Univ. Ithaca, N. Y., 1977.

46. Jenek D. D., Dale A. C., Nye J. C., Harrington R. B. Filter wall reactor digestion of dairy cattle manure. *ASAE Paper Nr. 77-4054*.
47. Jous L. Pastuk. Mit einem Gasfermenter Energie sparen. *Gaasverwertung* 28 (1977), H. 9/10, S. 314 ff.
48. Jung W., Meißner W. W. Einsatz von Flüssigerdgas zur Festgasversorgung. *Gaasverwertung* 28 (1977), Nr. 8, S. 278 ff.
49. Kersch v. H. Planungsdaten für die Herstellung RKG, Kiel, 1977.
50. Kirsch E. J., Sykes R. M. Anaerobic digestion in biological waste treatment. *Progr. Ind. Microbiol.* 9, 1971, S. 155—204.
51. Kolbusch P., Schiefer W. Beurteilung verschiedener biologischer Systeme zur Energiegewinnung. *Darmstadt-Forschungsbericht Bundesanstalt für Technologie*.
52. Kuntze H. G. Tagesserie, operation and economics of methane gas production. In: Schlegel H. G., Barnea J. *Microbial energy*. New York, Verlag E. Gollze KG, Göttingen, 1976, S. 379—398.
53. Kuntze H. G. Die technische Anwendung der Kontaktfällung zur Behandlung chlor-organisch hochbelasteter Substrate am Beispiel von Mischgülle aus Massentierhaltung. *Industrieabwasser (Kommunalwirtschaft)* 5 (1975), S. 13—15.
54. Kuntze H. G., Thiel P. G., Halling W. H. J. Anaerobic digestion II. The characteristics and control of anaerobic digestion. *Water research*, 3(7), 1969, S. 459—463.
55. Kuntze H. G., Meißner J. R. Description of ammonia from anaerobic lagoons. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 46 (1973), S. 148—151.
56. Kuntze H. G., Lapp H. M., Schulte D. J., Sparling A. D. Cold weather energy recovery from anaerobic digestion of swine manure. In: *Energy, Agriculture and waste management* (Proceedings, Cornell Agricultural Waste Management Conf., 1975, S. 337—352).
57. Liebmans H. Der neueste Stand der Kenntnisse über die Biologie der Methanbakterien. In: Liebmans H.: *Die Gewinnung und Verwertung von Methan aus Kärntnerland und Mist*. Verlag R. Oldenbourg, München, 1966, S. 9—22.
58. Ljunggren M., Petré F. Methangasfraktionierung. *Mikrobiologisch rapport 5*, Institutionen für Mikrobiologie, Nr. 7, Uppsala, 1976.
59. Loefer R. C. Management of waste from agricultural production. *Problems, Processes and Approaches*. New York, Lamm, 1974.
60. Loefer R. C. Anaerobic treatment of wastes. *Dev. Biol. Microbiol.* 9, (1968), S. 169.
61. Lott U. Engineering, operation and economics of biogas from Duro. Schlegel H. G., Barnea J.: *Microbial Energy Conversion*. Verlag E. Gollze KG, Göttingen, 1976, S. 261—278.
62. Lott U. *Personliche Mitteilung*, 1978.
63. Maly J., Fadrus E. Influence of temperature on anaerobic digestion. *J. Water Pollut. Control Fed.* 43 (1971), S. 611.
64. McCarthy P. L., McCarty R. E. Solubility in anaerobic digestion. *J. Water Pollution Control Federation*, 33 (1961), 4, S. 309—313.
65. McCarthy P. L. Anaerobic waste treatment fundamentals II. Environmental parameters and control. *Public Works*, 94, Oct., S. 124.
66. McCarthy P. L. Anaerobic waste treatment fundamentals. III. Toxic materials and their control. *Public Works*, 95, 1964, S. 91.
67. McCarthy P. L. Anaerobic waste treatment fundamentals. IV. Process design. *Public Works*, 95, 1974, S. 97.
68. McCarthy P. L. Energetics and kinetics of anaerobic treatment. In: *American Biological Treatment Processes*. Pitt M. J., Pomeroy E. G., Adv. Chem. Series, 175, 1971, S. 9.
69. McDermott G. M., Moore W. A., Paul M. A., Eckerle M. B., Cooper and anaerobic sludge digestion. *Journal Water Pollut. Control Federation*, 35 (1963), S. 644—662.
70. Meenaghan G. F., Wells D. M., Ashp R. C., Gray W. Gas production from beef cattle wastes. *ASAE 70—907*, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, 1970.
71. Meiser J. E., Smith R. J. *Hierarchische Lösung von Abfallmanagement mit pollution control*. North Central Regional Research Publication 222, Midwest Plan Service, Handbook MWPS-19, Midwest Plan Service, Iowa State University, 1975.
72. Meiser J. R. (Herausgeber): *Copa animal waste management*. North Central Regional Research Publication 203, Iowa Agricultural Experiment Station Spec. Rep. 67 Ames, Iowa, 1971.
73. Meißner H. *Leichttechnik 2—Veredlungswirtschaft*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 1972.
74. Meißner H. R., Jemel W. J., Casler G. L. Alternative animal waste anaerobic fermentation designs and their costs. In: *Energy, Agriculture and Waste Management*. Ann Arbor Science Publ. Inc., 1975, S. 317—330.
75. Meißner W., Strunck D. Ist es sinnvoll, aus agrarischen Gründen bei Faulgruben eine Verflüchtigung der Schwefelwasserstoff-Gase? *Landw. Ges. Ing.* 88 (1968), S. 119—121.
76. Nehrlich K. *Carlenmilchballewerk 2. Aufl.*. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin 1972.
77. Neuling S. Der Wärmebedarf bei den Betriebs von Biogasanlagen. *Agrotechnik* 5 (1957), H. 6, S. 203—205.
78. Neuling S. Gestaltungsrichtlinien für den Bau von landwirtschaftlichen Biogasanlagen. *Agrotechnik* 7 (1959), H. 10, S. 467—471, 479.
79. Neuling S. Untersuchungen zur wirtschaftlichen Speicherung von Biogas. *Agrotechnik* 6 (1958), H. 2, S. 34 ff.
80. Nitsch W. *Biogas in der Landwirtschaft*. Verlag F. Vieweg, Darmstadt 1977.
81. Orth H. W. Möglichkeiten des Einsatzes von Wärmepumpen in der Landwirtschaft. Institut für Landmaschinenforschung der FAL Bericht 77/1, Braunschweig 1977.
82. Parsons S. Progress report from the first year of operation of the Penn State Anaerobic Digester. Meeting of the North Atlantic Region of the ASAE at Rutgers University, New Jersey, 18. August 1976.
83. Pfeiffer J. T., Kalam K. A. Microbial production of methane from municipal refuse. *Biotechnology and Bioengineering*, vol. XVIII, 1976, S. 1182.

84. Pigg D. I. Commercial size anaerobic digesters performing with early failure. ASAE Paper 77-1056, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, 1977.
85. Pöschl W., Hantschke I. Die biologisch-technische Beschaffenheit von Gülle mit Hilfe der thermophilen Methangärung. Z. Tierärztliche Hygiene, 14 (1968), S. 353-355.
86. Pöschl W. Das Wissen der Vergärung organischer Stoffe bei der Kompostierung. B. 88: Kämpf W., Maus K., Strauch H. Müll- und Abfallbeseitigung, Band 3, Kap. 3375 Erich Schmidt Verlag, Berlin 1966.
87. Pöschl W. Entwicklung und Erprobung einer landwirtschaftlich befähigten Biogas-Anlage aus Holz. Techn. Hochschule Hannover, Arbeitsber. 13, 1962.
88. Pöschl W., Rostek H., Wietters G. Gasgewinnung aus Erste- und zweite Klasse einer Versuchsanlage. VVB-Bericht Nr. 259, 1976.
89. Reinhard F., Naark W. Laboratoriumsversuche über die Gasgewinnung aus landwirtschaftlichen Stoffen. B. aus. Ueb. 11: Gewinnung und Verwertung von Methan aus Klärschlamm und Mist. Verlag R. Oldenbourg, München, 1966, S. 27-28.
90. Echerria A. M., Burnett G. A., Hobson P. N., Benfield S., Suttons R. Bioengineering Aspects of anaerobic digestion of paddy wastes. In: Managing Livestock Wastes (Proceedings, International Symposium), S. 211-219. American Society of Agricultural Engineers, ASAE, 1975.
91. Riedel H. Die anaerobe alkalische Sulfidgärung. Wasser - Abwasser 11, 1. Verlag R. Oldenbourg, München, 2. Auflage, 1967.
92. Riedinger H., Kausrandt H. G. Schlammbehandlung - Die zentrale Stellung der Schlammfällung und Fraktionierung in Bezug auf Abwasserreinigung und Schlammbehandlung. Schweiz. Maschinenmarkt, 47 (1972), S. 34-37.
93. Riesecker S. Energetische Fragen bei der biologischen Gasergangnis an der Landwirtschaft. Agrartechnik 7 (1972), H. 10, S. 399-405.
94. Riesecker S. Neuartige Wege zur Beschönigung von landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Agrartechnik 7 (1972), H. 1, S. 11-17.
95. Riesecker S. Der Wirkungsgrad von Biogasanlagen und Perspektiven für die landwirtschaftliche Praxis. Agrartechnik 7 (1972), H. 12, S. 512 ff.
96. Riedel H. F. Wärmepumpen - Einsatzmöglichkeiten und Wirtschaftlichkeit. Tagungsbericht, Nationale Konferenz zur Anwendung in Wohnanlagen. Basle Institut Fraunhofer, J. Juni 1977.
97. Radolph M. Umwandlungsarten der Kraft-Wärme-Kopplung. Energie 20 (1977), H. 11, S. 368 ff.
98. Sauerlandt W., Tieljen C. Hauswirtschaftliche Aspekte. DLG-Verlag, Frankfurt/M., 1976.
99. Sauerlandt W., Grodziner S. Eigenschaften und Wasserverbrauch bei der biologischen Gasgewinnung aus Klärschlamm und reifen organischen Düngern. B. aus. Ueb. 11: Gewinnung und Verwertung von Methan aus Klärschlamm und Mist, Verlag R. Oldenbourg, München, 1966.
100. Sawyer C. N., Grimbbling A. S. Fundamental considerations in fibre rate digestion. J. San. Eng. Div. Proc. American Society Agricultural Engin. 86, 1960 S. 49.
101. Schellert E., Krommer G. Biologische Gasgewinnung aus Stallmist. DLG 78 (1976), H. 2, S. 27-29.
102. Schlegel H. G., Baraas J. Methan energy conversion. Verlag Fachverlag KG, Göttingen, 1966.
103. Schmitt T., Eggert G., Oss W. Die Biogasanlage. 4. Aufl. DLG-Verl., Heft 9, Velden, 1961.
104. Schmitt L. A., Lippert R. L. Swine wastes, characteristics and anaerobic digestion. In: Animal waste management, Cornell University, Ithaca, New York, 1966, S. 50-57.
105. Schneider J. Energiewirtschaftliche Biogasanlagen. B. aus. Ueb. 11: Landwirtschaftl. Nr. 73, Teil II (1972).
106. Schneider J., R. Schmitt. Der V. Klärschlammbehandlung für die Kalkulation der Kosten und des Amortisationszins im Handel. Landwirtschaftl. Jahrbuch 1975.
107. Schneider J. Preis- und Kostenkalkulation in Biogasanlagen. Gasewinnung KTB-Berichte über Landtechnik 114, Landwirtschaftsverlag, Hiltrup 1971.
108. Seiler A. Biogas aus Krautslaf für Molken- und Ackersektoren. Landtechnik 10 (1975), H. 2, S. 29 ff.
109. Smith E. L., Fenn R. L., Maradowski J. A., Purgeson F. R. The role of anaerobic digestion in a typical rural-livestock farm. In: Food, fertilizer, an agricultural wastes (Proceedings, Cornell Agricultural Waste Management Conf., 1977).
110. Smith L. W., Goering H. R., Goering G. H. Influence of chemical treatments upon digestibility of ruminant feeds. J. Animal Waste Management, Cornell University, Ithaca, New York, 1966, S. 89-104.
111. Smith R. J., Meira V. E., Grunier T. H. Experimental methane production from animal wastes. Journal Paper No. 28917, of the Iowa Agr. and Home Economics Exp. Station, Ames, Iowa, 1977.
112. Smith R. J., Meira J. R. Livestock waste management with pollution control. Midwest 1976 Service, Iowa State Univ., Ames, Iowa, 1975.
113. Sommer K. L. Kuhlen und Heizen mit drahtgeschalteten Absorptionsgeraten. Gaswesen 29 (1977), S. 180 ff.
114. Sommer K. L. Warmetrage der Zerkuhlung - die direktgasbetriebene Absorptionswärmepumpe als Alternative. Gaswesen 28 (1977), H. 9/10, S. 34 ff.
115. Strauch H. D. Energetische Probleme bei der Gewinnung, Behaltung und Verwertung tierischer Exkremente. In: Methan aus der Tierhaltung. Kap. E, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 1977, S. 246-276.
116. Strauss W. Der heutige Stand der Biogasgewinnung aus landwirtschaftlichen organischen Stoffen. B. aus. Ueb. 11: Gewinnung und Verwertung von Methan aus Klärschlamm und Mist. Verlag R. Oldenbourg, München, 1966, S. 216-241.
117. Summers R., Krommer G. Practical aspects of anaerobic digestion. Process Biochemistry, Juni 1976.
118. Tschann G. Ober Maßnahmen zur Beschonigung der Schlammbehandlung. 82. Sahtgarter Berichte zur Siedlungsabwasserwirtschaft, München, 1967.

118. Traigerodes E. P., Hazer J. E., Baderman E. R., Johnson H. P. Properties and pumping characteristics of hog waste. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 7 (1964), S. 124, 121, 127 u. 129.
119. Thomas H. H. Pers. Mitt. Institut für Grundlandwirtschaft, Futterbau u. Tierkonservierung der FAL, Braunschweig, 1978.
121. Tietjen C. From Hiding to Biogas—historical review of European experience. In: Kewell W. J. (Herausgeber): Energy agriculture and waste management. Ann Arbor Sci. Publishers, Inc., Ann Arbor, Michigan, 1975.
122. Tietjen C. Pers. Mitteilung, 1977.
123. Tietjen C. Bilanzuntersuchungen bei Stallmistanreicherung in Biogasanlagen. Dtsche. Tierärztl. Wochenschr. 77 (1977), S. 1388 ff.
124. Tschierschke M. Die Fräugang von Biogas in landwirtschaftlichen Betrieben. Archiv für Landwirtschaft 3 (1961—62), S. 245—277.
125. Varel V. M., Isaacson H. R., Bryant M. P. Thermophilic methane production from cattle waste. Applied and Environmental Microbiology 33 (1977), S. 298—307.
126. Volkmann A. P. M. Anaerobic digestion of piggy waste. I. The influence of retention time and dilution rate. Canadian J. Agric. Sci. 25 (1977), S. 151—160.
127. Völchaber K. VDI-Statustext Wärmepumpe Düsseldorf, VDI-Verlag, 1978.
128. Völchaber K. Wärmepumpen und Gas-Zusatzheizungen. Heizungstechnik (1977), H. 4, S. 9 ff.
129. Vogel H. Pers. Mitt. Institut für Kleinbauzucht der FAL, Celle, 1978.
130. Waziride J., van Meel M. M., Kruif W. Production of energy and nonoffensive smelling sludge from liquid pig manure. Abstracts Fifth Intern. Fermentation Symposium, Berlin, 1976.
131. Weber J. Neue Erkenntnisse in der Fliegenzucht. Eigenverlag F. Weber, 7311 Ditzingen, 1977.
132. Wickerhahn E. Die Kalkulation der Heizenergiekosten für gewächshäuser. Forschungsberichte des In-1100. Landwirtschaftliche Betriebslehre und Marktforschung, TU-Hannover, Nr. 4, 1969.
133. AFN-Handbuch, Handbuch der Elektrotechnik X. Auflage, AFN-Verlag, 1967.
134. ATV-Abwassertechnik, Bd. II Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, München, 1969.
135. DVGW-Arbeitsblatt, G. 260. Technische Regeln für die Gasheizgerätebau.
136. Brennk Gas allgemein, Grundlagen VV, Gasverwendung 28 (1977), H. 7, S. 283.
137. Familie und Wännen. Schrittweises des Pflanzensetzers für Jungel, Familie und Gesundheit, Band 20, Verlag Konthammer, Stuttgart, 1978.
138. Fiat Auto Group—Gelen, Total energy module, September 1977.
139. C. Wasserpumpe, Heizung und Warmwasser. Ruhrgas-Air, Essen, 1978.
140. Hütte, Taschenbuch des Ingenieurs Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin.
141. Landwirtschaftliche Tränkeanlage in der Bundesrepublik. Der Kartoffelan 29 (1972), H. 12, S. 303.
142. Merkblätter gefährliche Arbeitsstoffe, Blatt Nr. M 09. Methan, Blatt Nr. S. 11, (Schwefelwasserstoff), Blatt Nr. K 10, (Kohlenstoff).
143. Metallurgie in gäsel. Transaktion und Anwendung. Jordbruksvetenskapliga Lärstiftet-Rapport 18, Uppsala, 1956.
144. Report of the Preparatory Mission on Bio-Gas Technology and Utilization, Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, Bangkok/Bangkok, 1975.
145. Secherre-Regeln für Abwasserbehandlungsanlagen Bau- und Ausüstung, VUV 17.5.1969. Bundesanstalt für Arbeitsschutz der gewerblichen Unfallversicherungsträger.
146. Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland (1976), Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 1976.
147. Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 1977. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 1977.
148. Unfallverhütungsvorschrift: Der land- und forstwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften.
149. Unfallverhütungsvorschrift: «Druckbehälter» (VBC 17) des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften.
150. VDI-Richtlinie 2047, Blatt 2, Jan. 1974. Wirtschaftlichkeitsberechnungen von Wärmegewinnungsanlagen, betriebliche und wirtschaftliche Grundlagen.

СОДЕРЖАНИЕ

Направление к русскому изданию	3
Переводчик и редактор изданий	6
Введение	6

Часть I

ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАНОВОГО БРОЖЕНИЯ

1. Основы брожения	12
1.1. Особенности процесса	13
1.1.1. Процессы биохимических превращений (15, 17, 18, 54, 60, 91)	13
1.1.2. Факторы, влияющие на процесс брожения	14
Температура [10, 19, 22, 27, 63, 91, 125]	14
Содержание кислот, pH, буферные свойства (щелочность) [50, 54, 58, 71]	15
Ингибиторы [45, 58, 59, 64, 66, 71, 111]	16
Питательная среда [17, 65, 86, 91]	16
Состав газа [17, 65, 96, 91]	17
Кинетика твердых частиц [15, 56, 124, 143]	17
1.2. Влияние исходного материала на выход газа	18
1.2.1. Состав исходного материала	18
1.2.2. Размеры твердых частиц [89, 116, 121]	20
1.2.3. Максимальный выход газа	21
1.3. Особенности технологии	22
1.3.1. Загрузка рабочего пространства	22
1.3.2. Технологические режимы брожения (время пребывания массы в реакторе) [89, 100]	24
1.3.3. Интенсивность перемешивания	25
2. Продукты брожения	26
2.1. Газ	26
2.1.1. Состав газа	26
2.1.2. Свойства газа	26
2.2. Перегородчатый субстрат (шлак)	27
2.2.1. Состав шлама [85, 101, 123]	27
2.2.2. Загрязнение окружающей среды	27
Запах [126, 139]	27
Воздушная пыль [1, 52, 75, 85, 115]	27
3. Технологические схемы биогазовых установок	24
3.1. Системы применяемые в производстве (рис. 7)	24
3.2. Конструкции установки	31
3.2.1. Реактор	31

3.2.2. Нагревательное устройство	36
Подогрев в рабочем пространстве	37
Подогрев подвешенного в реактор субстрата	37
3.2.3. Устройства для перемешивания субстрата	38
Механические перемешивающие устройства	38
Гидравлические перемешивающие системы	39
Перемешивание с помощью газа	39
4. Потребность в энергии	40
4.1. Теплота	40
4.1.1. Подогрев образиваемой массы	40
4.1.2. Компенсация тепловых потерь	40
4.2. Механическая энергия	41
4.2.1. Передача давления	41
4.2.2. Шаги	42
4.3. Шаги, потребности в энергии	42
4.3.1. Газ	42
4.3.2. Вращательное перемешивание	43
4.3.3. Прочие потребности энергии	45
Теплота животноводческих помещений	45
Теплота обогрева	45
Солнечная энергия	46

Часть II

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОГАЗА

5. Аккумуляция газа	47
5.1. Технические возможности	47
Подземные газохранилища бурового типа	50
Подземные газохранилища кавернового типа	50
Газохранилища для газификации природного газа	50
Газохранилища абсорбционного типа	50
Газохранилища высокого давления	55
Мокрая газохранилища низкого давления кавернового типа	55
Сухой газохранилища низкого давления	56
Объемный газохранилища низкого давления	56
Газохранилища баллонного типа	56
5.2. Правовые вопросы	58
Опасность взрыва газа (газовый состав)	58
Опасность взрыва газохранилища при работе с избыточным давлением	59
6. Подготовка биогаза к использованию	63
Синтез метана	63
Абсорбционный очистка от CO ₂	67
Контроль качества биогаза	67
7. Использование биогаза	67
7.1. Использование аспиратора и машины	69
7.2. Обладение и производство тепловой и механической энергии	79
Объединенная выработка тепловой и механической энергии в установках для привода вентиляторов	80
Объединенная выработка тепловой и механической энергии при использовании тепловых насосов	82
Объединенная выработка тепловой и механической энергии при производстве электроэнергии	88
8. Потребности сельских хозяйственных предприятий в энергии, которая может быть получена с помощью биогаза	91

8.1. Крестовые соединения ФРГ	82
8.2. Рядовые соединения	87
8.3. Жидкопроводящие	101
8.4. Молекулярные соединения	105
9. Перенос энергии биохимия	108
10. Физико-химия соединений биологических установок	111
Почта и переписка	138
Бригадная	139
Список литературы	139

В. Баалер, Е. Доне, М. Грендерфер

БИОГАЗ. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА.

Заведующий редакцией А. Т. Докторов

Редактор Т. Н. Могрич

Художник С. Н. Тарасов

Художественный редактор А. Н. Бетшверова

Технические редакторы Н. В. Суржова, Н. Е. Попкина

Корректор А. Н. Пасарова

ИБ № 2921

Сдано в набор 02.12.81. Подписано в печать 04.02.82. Формат А5 (160/210).
 Бумага тип. № 2 Гарнитура литературная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 7,99.
 Тираж 100 экз. Заказ № 111. Цена 1 руб. 00 коп. Заказ № 111.
 Издательство

Издательство «Биогаз» (Издательство «Биогаз», 107005, МП, Москва, Р-50, ул. Саввинская, 15)

Отпечатано в типографии «Биогаз» (Издательство «Биогаз», 107005, МП, Москва, Р-50, ул. Саввинская, 15)