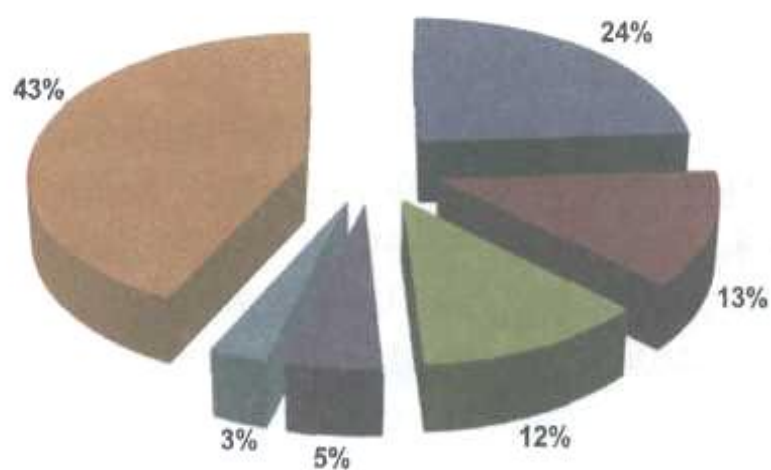


Ш.Ж.Имомов, Hwang Sang Gu, К.Э.Усмонов, Э.Б. Шодиев, Т.Х.Каюмов

АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО НА ОСНОВЕ ОРГАНИКИ



Издательство “Фан” Академии Наук
Республики Узбекистан
Ташкент – 2013

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**БУХАРСКИЙ ФИЛИАЛ ТАШКЕНТСКОГО ИНСТИТУТА ИРРИГАЦИИ И
МЕЛИОРАЦИИ**

Ш.Ж.Имомов, Hwang Sang Gu, К.Э.Усмонов, Э.Б.Шодиев, Т.Х.Каюмов

АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО НА ОСНОВЕ ОРГАНИКИ

Издательство “Фан” Академии Наук
Республики Узбекистан
Ташкент – 2013

УДК 620.95
ББК

В монографии дана оценка потенциала альтернативным топливам и эффективности ее применения в аграрном секторе экономики. Представлены пилотные проекты, реализуемые в ряде регионов, по переработке биомассы, получению сырья для биотоплива и биодобавок к топливу. Рассмотрено производство биологических видов топлива на основе расширения посевов гуза-пай, рапса, кукурузы, сорго и других высокоэнергетических культур, а также стимулирования экспортного потенциала Узбекистана по биотопливу и сырью для его производства.

Разработаны меры по поддержке инновационной и инвестиционной деятельности в этом направлении. Определены тенденции и приоритетные направления развития биоэнергетики в мире. Показана возможность использования продуктов анаэробного брожения органических отходов, биоэтанол-вырабатываемой из сельскохозяйственной продукции и из отходов консервных заводов, а также биодизельное топлива – относительно нового вида экологически чистого топлива. Приведены данные касающиеся технологии и оборудования процессов, а также результаты практической эксплуатации экспериментальных и производственных установок.

Для специалистов ...

Органические удобрения

Ответственный редактор:

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *К.Шаринов*

доктор сельскохозяйственных наук, академик РНАН *У.Т. Тожиев*

ISBN 978-9943-19-...-...

© Издательство “Фан” АН РУз, 2013 г.

ВВЕДЕНИЕ

Постоянно растущие потребности мировой и национальной экономики в энергии обуславливают необходимость развития альтернативного топлива, в частности, биоэнергетики. Это также диктуется решением глобальных проблем, связанных с ограниченностью запасов ископаемых видов энергии и обеспечением экологической безопасности – выполнения принятых обязательств в рамках Киотского протокола.

Основные виды альтернативного топлива несут в себе новые технологии, которые потребуют для массового внедрения в энергетический баланс нового вида топлива серьезной, политической и экономической поддержки со стороны государства. Альтернативное топливо, аккумулирующее в себе солнечную энергию в форме углеводов растительного происхождения, служит исходным сырьем для выработки биотоплива в твердом, жидком и газообразном виде в зависимости от технологии переработки.

Имеющийся в республике ресурсный потенциал биомассы практически неисчерпаем.

Развитие биоэнергетики в Узбекистане является весьма актуальной государственной задачей по снижению энергозависимости сельскохозяйственного производства, обеспечению животноводства кормовым белком, созданию дополнительных рабочих мест и дополнительному производству в аграрном секторе экономики конкурентоспособной, экспортной продукции.

При подготовке издания использованы научные публикации и документы конгресса в Москве [38] 26–27 ноября 2008 г., прошедшего в рамках Московской международной конференции «Биотопливо – 2007» (1 октября 2007г.), Третьего международного конгресса "Топливный биоэтанол – 2008" (23–24 апреля 2008г., г. Москва), 1-й Международной специализированной выставки "Альтернативная энергетика" (24–26 апреля 2008 г., г. Москва), международных выставок «Агротехника – 2005» и «SIMA – 2007», семинара «Перспективы развития биогазовых установок в Республике Узбекистан» в рамках проекта

ПРООН и правительства Республики Узбекистан «Поддержка Узбекистана в переходе на путь низкоуглеродного развития национальной экономики» (20 июля 2011 г., г. Ташкент), а также материалы посещения узбекистанскими специалистами предприятий США, Германии, Нидерландов, Южной Кореи, России и Республики Казахстан с целью изучения технологических процессов и организационно-экономических условий работы предприятий биоэнергетики.

ИСТОЧНИКИ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ОРГАНИКИ

1.1. Общие положения

Цивилизованный мир давно пришел к пониманию широкой интеграции в области развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ), что связано, прежде всего, с истощением углеводородных энергоресурсов, глобальным изменением климата и экологическим ущербом, нанесенным их использованием.

В условиях нарастающего дефицита энергоносителей и существенного увеличения стоимости всех видов энергии исключительно актуальными во всем мире становятся мероприятия по экономии энергоресурсов, внедрению новейших технологий для топлива, энергосбережения и рационального использования топлива, электрической и тепловой энергии.

В связи с ограниченностью запасов ископаемых источников энергии задача удовлетворения нарастающих потребностей населения и промышленности в топливе, электрической и тепловой энергии привела к необходимости применения возобновляемых источников энергии.

Возобновляемые источники энергии – это источники, образующиеся на основе постоянно существующих или периодически возникающих процессов в природе, а также жизненных циклов растительного и животного мира и жизнедеятельности человеческого общества, в названии которых отражаются источники его возникновения (солнечная, геотермальная, гидравлическая и др.), природное явление (ветровая, волновая, приливная и др.) или вид энергоносителя (биомасса, «шахтный» газ и др.).

Человечеству не грозит энергетический кризис, связанный с истощением запасов нефти, газа, угля и урана, если оно освоит технологии использования возобновляемых источников энергии и сможет найти оптимальное сочетание применения возобновляемых и истощаемых ресурсов.

В этом случае будут решены проблемы загрязнения среды обитания выбросами электростанций, транспорта и мобильных агрегатов, обеспечения

качественными продуктами питания, получения образования, медицинской помощи, увеличения продолжительности жизни и повышения ее качества.

Решающими факторами развития возобновляемой энергетики являются:

- снижение зависимости от импорта энергоресурсов (энергетическая безопасность);
- ограничение вредного влияния на окружающую среду, в том числе необходимость сокращения эмиссии парниковых газов (экологическая безопасность);
- стремление сохранить собственные невозобновляемые энергоресурсы для будущих поколений и на случай чрезвычайных обстоятельств.

Возобновляемые источники энергии как производные солнечной активности можно подразделить на следующие две категории: первичные и вторичные возобновленные источники энергии.

Первичные возобновляемые источники энергии – это солнце, воздушные и водные потоки, энергия которых преобразуется непосредственно на преобразователях различного рода в необходимую для жизнедеятельности энергию.

Вторичные возобновляемые источники энергии – это биомасса, использование которой требует переработки с определенными энергетическими затратами в газообразные, жидкие и твердые виды топлива.

Биомасса – продукт образования в клетках зеленых растений, водорослей и в некоторых микроорганизмах углеводов из углекислоты и воды под действием света, погашаемого светочувствительным пигментом – самого мощного на планете преобразователя солнечной энергии и последующей многообразной пищевой цепочки, основного источника топлива и энергии, включая и ископаемое органическое топливо, как конечный продукт переработки древнейшей биомассы. Биомасса – это растительный и животный мир и продукты их технической и физиологической переработки, в том числе и многочисленные органические отходы. Биомасса или биоресурсы являют собой мощный,

потенциальный, мировой источник топлива и сырья для химической промышленности.

Содержание биомассы в биосфере оценивается в 800 млрд т, причем 90% приходится на древесину, из них 70 млрд т накапливается в континентальных лесах с общим энергосодержанием, вдвое превышающим современное мировое потребление энергии.

Для сравнения следует отметить, что разведанные запасы угля оцениваются в 500 млрд. т, нефти – 200 млрд, природного газа – 100 млрд т (по углю). Ежегодный прирост биомассы на земле составляет 220 млрд. т, что позволяет запастись в виде энергии химических связей до 4×10^{21} Дж энергии.

Ежегодное мировое коммерческое использование всей энергии составляет 3.9×10^{20} Дж, что в 10 раз меньше запасаемой энергии. Например, энергетическое содержание производимых в мире сельскохозяйственных отходов составляет 93×10^{18} Дж в год. Допуская, что из них реально можно использовать только 25%, отходы могут обеспечить выработку около 7% мировой энергии.

Интерес к использованию биомассы как источника энергии вызван следующими положительными обстоятельствами:

- биомасса постоянно возобновляется;
- энергия, запасенная в биомассе, может храниться и использоваться длительное время;
- биомасса конвертируется в различные виды топлива;
- к настоящему времени разработано и создано значительное количество биоэнергетических технологий, пригодных к использованию;
- имеются реальные перспективы в развитии биоэнергетической отрасли;
- отмечается широкое вовлечение в энергетику различных видов органических отходов;
- в ряде регионов биоэнергетика более экономически выгодный либо основной вид энергии;

- биоэнергетика служит источником экологически чистой энергии, не образующей вредные газообразные оксиды серы и не изменяющей баланс углекислого газа в биосфере.

Между тем эта новая отрасль энергетики имеет и свои негативные стороны:

- для производства энергетической биомассы необходимы земельные площади, вода, удобрения и т.д., требуются преобразования в сельскохозяйственной и лесоводческой практике;

- стоимость биоэнергии в ряде случаев превышает стоимость традиционных источников энергии;

- биомассу экономически выгодно использовать только локально;

- значительная часть биомассы содержит более 50% воды, что удорожает технологии ее переработки в топливо и энергию;

- продуктивность биомассы зависит от климата и агроусловий, некоторые виды ее сезонны;

- фотосинтез имеет малый КПД;

- технологии конверсии биомассы в топливо пока недостаточно эффективны;

- биомассу сложнее хранить, чем нефть или природный газ.

Количество и виды топлива, получаемого из биомассы, зависят не только от общих объемов воспроизводимой биомассы, но и от ее качества (влажности, состава органических веществ, физических особенностей и т.д.).

1.2. Альтернатива энергии на основе органики в мире

На сегодняшний день доля ВИЭ в мировом энергетическом балансе невелика – порядка 14%, а вклад биомассы – около 1.8%. Но, как показывает практика, даже незначительные колебания в предложении на рынках энергетических ресурсов вызывают заметные изменения цен. Это говорит о том, что роль альтернативной энергетики в укреплении стабильности на рынках этих ресурсов в перспективе будет только расти.

В структуре альтернативной энергетики в мире энергия биомассы составляет до 13% (рис. 1.1). По прогнозам ученых, доля возобновляемых источников энергии к 2040 г. достигнет 47.7%, а вклад биомассы – 23.8%.

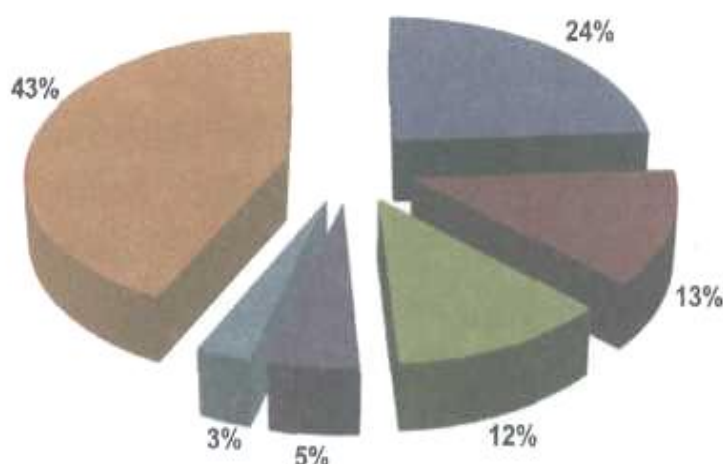


Рис.1.1. Структура альтернативной энергетики в мире: энергия малых рек (24%); энергия биомассы(13%); низкопотенциальное тепло (12); солнечная энергия(5%); энергия ветра(3%); энергия тепла земли (43%)

Эффективному, энергетическому использованию биомассы в последнее время уделяется особое внимание. В пользу этого имеются следующие аргументы:

- использование растительной биомассы при условии ее непрерывного восстановления (например, новые лесные посадки после вырубki леса) не приводит к увеличению концентрации CO_2 в атмосфере;
- излишки обрабатываемой земли в промышленно развитых странах целесообразно использовать под возделывание энергетических культур;
- использование отходов (сельскохозяйственных, промышленных и бытовых) на энергетические цели решает также экологические проблемы;
- вновь созданные технологии позволяют использовать биомассу более эффективно.

Потенциал биомассы, пригодной для энергетических целей, в большинстве стран достаточно велик, и его эффективному использованию уделяется значительное внимание.

При общем производстве энергии в мире 10 млрд т нефтяного эквивалента (н.э.) вклад биомассы в 2001 г. составил 1.1–1.2 млрд т н.э., а суммарный вклад всех ВИЭ – 1.36 млрд т н.э. В 2004 г. вклад биомассы в общий энергобаланс Европейского Союза (ЕС) (25 стран) составлял 4.13% от общего объема потребляемых энергоресурсов, а вклад ВИЭ – 6.26%.

Европейская ассоциация биомассы (АЕВЮМ) в 2007 г. опубликовала статистический отчет об использовании биомассы в странах Европейского союза [46,47]. Отчет касается оценки потенциала биомассы в энергосистемах Европы, роли биомассы в производстве тепла, электроэнергии, моторного биотоплива и биогаза.

В отчете энергия измеряется в мега (миллионах) тоннах нефтяного эквивалента:

$$1 \text{ Мтн. э.} = 11.63 \text{ ТВт} \cdot \text{ч} = 11.63 \times 10^6 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

Биомасса составляет около двух третей всех возобновляемых источников энергии в Европе. Даже в абсолютных цифрах, как утверждает президент АЕВЮМ Хайнц Копетц, это наиболее быстро растущий сектор энергетики. Общее потребление произведенной на ВИЭ составило в 2004 г. 109.6 млн т н.э. (М. тнэ), из которых на долю биотоплива приходилось 72.3 М. тнэ, т.е. 66%. Впрочем, на фоне общего энергопотребления в Европе, достигшего в 2005 г. 1747 М. тнэ, доля биомассы составила лишь 4.13%.

Последнее десятилетие характеризуется высокими темпами роста объема ВИЭ в ЕС, особенно биомассы (табл. 1.1). По различным причинам – историческим, экономическим, техническим биомасса используется неравномерно. Из 72.3 М.тнэ 66.8 % идет для производства тепла, 30.5 – для производства энергии и 2.7% – для производства жидкого моторного топлива. Источником биомассы служат лесное (61.5 М.тнэ) и сельское хозяйство (3.5 М.тнэ), а 7.3 М.тнэ производится из отходов.

Таблица 1

Показатели использования ВЭР в ЕС в 1995–2004 гг., М.тнэ

Виды ВИЭ	1995 г., М.тнэ	2004 г., М.тнэ	2004 г. к 1995 г., ±
Биомасса	44.8	72.3	+2771
Гидроресурсы	26.4	26.1	-0.3
Ветровые установки	0.4	5	+4.6
Солнечные тепловые Установки	0.3	0.7	+0.4
Геотермальные воды	2.5	5.4	+2.9
Фотовольтаж	0	0.1	+0.1
Всего	74.4	109.6	+34.8

Уровень использования биомассы в разных странах ЕС различается и зависит от доступности ресурсов биомассы, плотности населения, исторического опыта развития энергетики и эффективности политической поддержки [31,38,95].

В табл. 1.2 приведены данные по потреблению энергоресурсов (ПЭР) в европейских странах за 2004 г., ранжированные по объемам энергопотребления, ВИЭ и биомассы. По объему использования биомассы лидируют Франция, Германия, Швеция и Финляндия, в долях от внутреннего потребления энергоресурсов – Латвия, Финляндия, Швеция и Дания.

В Латвии, которая следует примеру скандинавских стран, произведенная на биомассе энергия составляет 29.7% от общего потребления (4.4 М.тнэ). Во Франции на биомассе в 2004 г. произведено 11.9 М.тнэ (4.4% от общего потребления в 270.6 М.тнэ).

Таблица 1.2

Энергопотребление в 25 Европейских странах в 2004 г.

Страна	ПЭР. М.тнэ	ВИЭ. М.тнэ	Биомасса. М.тнэ	ВИЭ от ПЭР.%	Биомасса от ПЭР.%
1	2	3	4	5	6
Германия	347.7	13.76	9.37(2)	3.95	2.69
Франция	273.7	17.3	1.92(1)	6.32	4.35
Великобритания	232.1	3.67	3.05	1.58	1.31

Италия	184.8	12.53	3.79	6.78	2.05
Испания	140.2	8.98	4.85(5)	6.4	3.45
Польша	92.5	4.32	4.12	4.67	4.45
Нидерланды	82.3	2.36	2.17	2.86	2.63
Бельгия	54.8	1.16	1.12	2.11	2.04
Швеция	53.1	14.13	8.88(3)	26.61	16.72(3)
Чехия	43.6	1.36	1.19	3.12	2.72
Финляндия	37.7	8.8	7.49(4)	23.34	19.86(2)
Австрия	32.7	6.77	3.45	20.7	10.55
Греция	30.6	1.56	0.95	5.09	3.1
Португалия	26.2	3.89	2.87	14.84	10.95(5)
Венгрия	26.2	0.97	0.86	3.7	3.28
Дания	20	2.93	2.37	14.6	11.85(4)
Словакия	18.6	0.74	0.38	3.97	2.04
Ирландия	15.7	0.32	0.21	2.03	1.33
Литва	9.2	0.73	0.69	7.93	7.5
Словения	7.1	0.82	0.47	11.54	6.61
Эстония	5.6	0.61	0.6	10.89	10.7
Люксембург	4.7	0.07	0.05	1.48	1.06
Латвия	4.6	1.65	1.37	35.86	29.78(1)
Кипр	2.5	0.09	0.005	3.6	0.2
Мальта	0.9	-	-	-	-
В с е г о	1747.2	109.53	72.274	6.26	4.13

«План действий ЕС» по использованию биомассы, принятый Европейской комиссией в 2006 г., определил уровень ее использования к 2010 г., М.тнэ:

- для производства тепла – 75;
- для производства электроэнергии – 55;
- для производства жидкого моторного топлива – 19.

Это означало, что использование биомассы для производства тепла должно вырасти в 1.5 раза, электроэнергии - в 2, моторного топлива – было в 9 раз. За два года производство моторного топлива утроилось и к 2006 г. достигло 5.6 М. тнэ [31,50].

Всего планировалось произвести 149 М.тнэ биомассы. Однако реальный рост производства ВИЭ пока отставал от ранее намеченного, в связи с чем в 2007 г. был предложен скорректированный «Курс использования ВИЭ» (Roadmap) (табл. 1.3).

Таблица 1.3

**План использования возобновляемых источников энергии до 2020 г.
(Roadmap), М. тнэ**

Вид возобновляемых источников энергии	2004 г.	2010 г.	2020 г.
Общее потребление энергоресурсов	1747	1761	1633
Биомасса	71.9	125	235
Гидроресурсы	26.1	30.6	33
Ветровые установки	5	15.4	43.9
Солнечные тепловые установки	0.7	2	12
Геотермальные установки	5.4	8.2	16.4
Фотовольтаж	0.1	0.8	5.3
Солнечные электроустановки	0	0.2	0.8
Приливные	0	0.2	1.3
Всего возобновляемые источники энергии:	109.2	182.4	348

Использование биомассы ограничено, прежде всего, наличием ее в той или иной стране. По расчетам, для обеспечения пищевых потребностей населения необходимо 0.16 га пашни на душу населения (сюда не включен традиционный импорт белкового сырья для промышленности). Общая площадь пахотной земли в Европе – 108756 тыс. га, население – 489.4 млн. Это означает, что более 30 млн га могут быть использованы для производства энергии.

По расчетам Европейского экологического агентства, производство энергетической биомассы в ЕС достигнет к 2020 г. – 235 М.тнэ. В дополнение к

увеличению использования отходов лесопользования, сельскохозяйственной продукции и др. будет расти и импорт биомассы из других регионов мира. АЕВЮМ оценивает импорт к 2020 г. в 25 М.тнэ биомассы.

В последнее время широко обсуждается вопрос о том, какой способ использования биомассы наиболее эффективный, так как ресурсы биомассы ограничены. Многие считают, что наиболее эффективно производство тепла, где КПД достигает 90%, хотя эта отрасль в последнее время менее интенсивно, чем другие. При совместном производстве тепла и электроэнергии, а также при производстве биогаза КПД колеблется от 50 до 90% в зависимости от технологии.

Производство жидкого моторного топлива (главным образом, этанола и биодизеля) менее эффективно: КПД в самых оптимальных условиях в настоящее время не превышает 55–60%, очень многое зависит от того, какая сельскохозяйственная культура используется и какова ее урожайность. В настоящее время существуют тенденции построения многоцелевых комбинатов, производящих моторное топливо, тепло и электроэнергию, и использования отходов производства биоэтанола, например, для производства биогаза.

Современная энергетика и научная дисциплина, связывающие воедино решение проблем получения топлива из биомассы и охраны окружающей среды, получили название «Биоэнергетика».

Биоэнергетика - фундаментальное и прикладное направление, возникшее на границе современных биотехнологий, химической технологии и энергетики, изучающая и разрабатывающая пути биологической конверсии солнечной энергии в топливо и биомассу, а также биологическую и термохимическую трансформацию возобновляемых в топливо и энергию.

Внедрение в народное хозяйство достижений биоэнергетических технологий, прежде всего, зависит от решения задач, связанных с интенсификацией процессов конверсии органического сырья в топливо и крупномасштабным производством самой биомассы. Только при серьезных фундаментальных исследованиях можно создать высокоэффективную отрасль народного хозяйства, отвечающую всем научно-техническим требованиям.

Решение проблем биоэнергетики определяется развитием таких направлений, как:

- изыскание и создание крупномасштабных, высокопродуктивных источников биомассы (фотосинтез, производство древесной биомассы, промышленное разведение растений - продуцентов углеводов, производство углеводсодержащей непищевой биомассы, водной биомассы, использование твердых отходов городов);

- физико-химический и биохимический методы (получение этилового и других спиртов, органических кислот, растворителей из различных видов биомассы, биогаза и водорода, пеллет и гранул);

- термохимический метод (прямое сжигание, газификация, пиролиз, сжижение, флестпиролиз, синтез) для получения жидкого, твердого и газообразного топлива.

Методы переработки и энергетического использования биомассы приведены на рис. 1.2.

К биохимическому и физико-химическому методам относятся такие процессы, как биогазовые технологии; производство этанола; получение биодизельных топлив, жирных кислот, растительных углеводов; производство биоводорода, получение тепловой энергии, производство топливных гранул.

Производство этанола. Этанол, как и другие низшие спирты, альдегиды и кетоны – продукты спиртового брожения разнообразной сахаро- и крахмалосодержащей перерабатываемой биомассы. Однако наиболее распространенными видами сырья для производства этанола являются отходы сахарного производства: багасса или меласса (сахарная свекла), а также крахмал кукурузы, сорго, картофеля, пшеницы и риса [88,91]. В Узбекистане этанол получают пока соковых выжимок перерабатывающих заводов, а в России – также и при брожении гидролизатов древесины (целлюлозы).

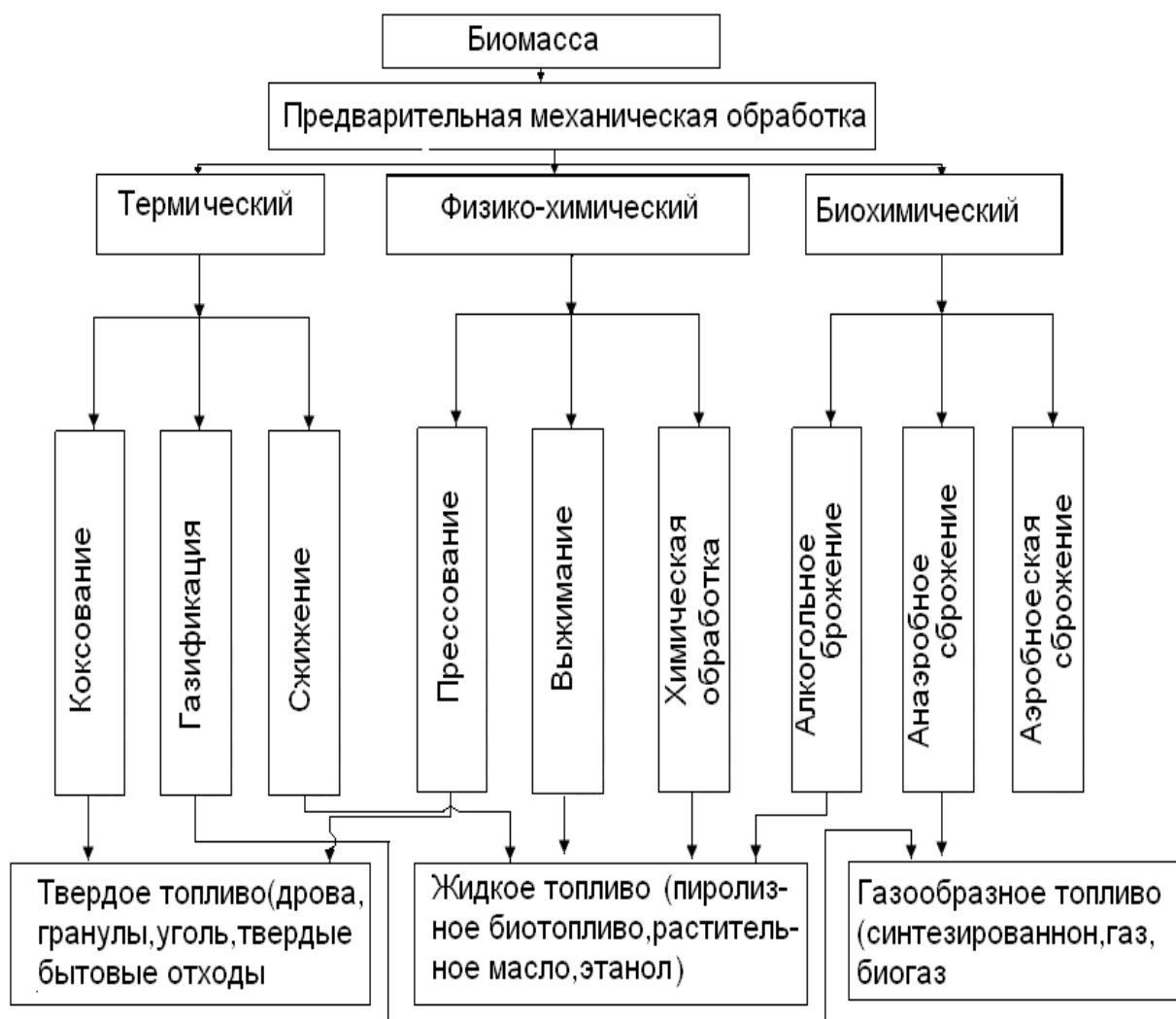


Рис. 1.2. Методы переработки биомассы.

Биодизельное топливо имеет те же характеристики, что и обычные дизельные топлива, которые используются в дизельных двигателях. Биодизельное топливо может быть получено из любого маслосодержащего растения – семян рапса, сои, кактусов и т.д. Преимущество биодизельного топлива состоит в том, что его производство основано на технологиях получения растительных масел с их дальнейшим метилированием.

Как правило, эффективные продуценты углеводов и масел являются представителями тропической и субтропической флоры. Однако и в умеренном климате произрастают культурные растения, семена которых содержат значительное количество масел: подсолнечник, конопля, лен, рапс и др.

Получение тепловой энергии активным компостированием (микробное окисление). Использование этого метода для утилизации твердой биомассы и,

прежде всего, твердых органических отходов также может внести существенный вклад в энергетику, в частности, в производство тепловой энергии. Метод основан на процессе бактериального окисления твердых органических веществ с образованием тепловой энергии, которая повышает температуру пропускаемого воздуха до 80–90°C. Путем компрессии температуру выходящих газов можно поднять до 110°C. В некоторых странах, например в Японии, разработаны опытно-промышленные установки, КПД которых достигает 95%.

К термохимическим методам переработки биомассы в топливо относятся прямое сжигание, пиролиз, газификация, сжижение, быстрый пиролиз, синтез.

Прямое сжигание – древнейший, но наименее выгодный процесс с КПД получения тепловой энергии 15–18%. Однако существуют такие виды биомассы, которые выгоднее сжигать в тепловых агрегатах с более высоким КПД. К таким видам биомассы относятся:

- солома злаковых и крупяных культур, стебли подсолнечника и кукурузы, из которых производят топливные гранулы;
- некоторые виды древесины, древесные отходы;
- твердые отходы сельскохозяйственного производства;
- городские твердые отходы;
- отходы производства сахара из сахарного тростника – багасса, которая при прямом сжигании используется для производства пара, электричества, пульпы, бумаги, картона, корма для животных. В 1995 г. во всем мире было получено около 200 млн. т багассы, из которых 95% использовалось как топливо при производстве сахара, заменив 40 млн. т нефти.

Пиролиз – термохимическая конверсия сырья без доступа воздуха при температуре 450–550°C, позволяющая получать из 1 м³ абсолютно сухой древесины 140–180 кг древесного угля, не содержащего серы, фосфора, используемого для получения лучших сортов стали, 280–400 ед. жидких продуктов (метанола, уксусной кислоты, ацетона, фенола), 80 кг горючих газов (метана, монооксида углерода, водорода).

Газификация – сжигание биомассы при температуре 900–1500°C в присутствии воздуха или кислорода и воды с получением синтез - газа, состоящего из смеси монооксида углерода, водорода и стеклообразной массы (7–10%-ной массы исходного материала), применяемой как наполнитель для дорожных покрытий. Газификация – более прогрессивный и экономичный способ использования биомассы для получения тепловой энергии, чем пиролиз. Синтез-газ имеет высокий КПД тепловой конверсии и может употребляться для получения метанола.

Сжижение – производство жидкого топлива из биомассы путем термической конверсии: термический пиролиз или газификация в присутствии катализаторов. Основным продуктом реакции – жидкое топливо, при этом можно дополнительно производить уголь и газ.

Быстрый пиролиз – биомасса в течение короткого времени подвергается воздействию высоких температур (700–1400°C), в результате чего происходят быстрое разложение исходных продуктов и образование новых соединений: этанола, пропилена, углеводородов, близких к бензину. Газ, получаемый с помощью быстрого пиролиза, содержит водород, метан, этилен, пропилен. Использование быстрого пиролиза биомассы выгоднее, чем пиролиз угля, так как биомасса содержит значительно меньше золы и разлагается при более низких температурах.

Синтез – каталитический синтез метанола из газов, образующихся при термической конверсии биомассы. Изменяя температуру и давление, а также используя уникальные катализаторы, кроме метанола, можно получать и другие соединения. Промежуточные соединения образуются и из лигнина. Из 1 т древесины можно синтезировать 410–540 л метанола. Если синтез производить в присутствии водорода, получающегося при электролизе воды, то выход метанола увеличится до 1400 л.

В настоящее время в соответствии с классификацией, утвержденной Директивой ЕС от 8 мая 2003 г. № 2003/30 ЕС «О мерах по аудированию использования биологического топлива и других видов возобновляемого топлива

в транспортном секторе», получили наибольшее распространение следующие виды биотоплива:

биогаз – топливный газ, производимый из биомассы и или из биологически разлагаемых компонентов отходов и используемый в качестве биотоплива, который может быть очищен до качества природного газа (химическая формула – CH_4), с получением сопутствующих продуктов (органических удобрений, топливных брикетов);

биоэтанол – этиловый спирт, производимый из биомассы и/ или биологически разлагаемых компонентов отходов и используемый в качестве биотоплива (химическая формула – $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) с получением сопутствующих продуктов (барды, жома и т.д.);

биодизель – сложный метиловый эфир с качеством дизельного топлива, производимый из масла растительного или животного происхождения и используемый в качестве биотоплива;

твердое – пеллеты, брикеты, производимые из биомассы путем ее переработки и прессования и используемые в качестве печного топлива в быту для получения тепла или электроэнергии.

Анализ мирового опыта показывает, что развитие производства биотоплива наиболее целесообразно на основе масличных культур (биодизельное топливо), углеводородсодержащих составляющих (биоэтанол), растительного сырья и отходов животноводства (биогаз).

Активное использование возобновляемых источников энергии из сельскохозяйственного сырья в странах американского континента (США, Бразилия, Канада), Азии (Япония, Китай) и Европы (Германия, Финляндия, Италия, Испания, Швейцария, Франция и др.) является одним из приоритетов национальных политик. Переход ряда стран на применение биотоплива связан с расширением использования экологически чистых и возобновляемых видов топлива. Так, в Японии сторонники применения биотоплива делают основной упор не на экономическую эффективность использования этого вида топлива, а на его экологические свойства (отсутствие выбросов серных окислов, более чем

троекратное снижение выбросов сажи по сравнению с обычным дизельным топливом, менее опасное воздействие на здоровье человека и окружающую среду в целом).

Высокие цены на нефть и газ, установившиеся в последние годы на мировом рынке, стимулируют развитие производства заменителей традиционного топлива из возобновляемых источников сырья.

В 2005 г. было произведено более 30 млн т только моторного биотоплива. Динамика данного сектора впечатляет: в среднем рост составляет 15–20% в год.

Многие государства в мире активно переходят на экологически чистое топливо для двигателей из ВИЭ. Для стимулирования данных процессов разработан целый комплекс мер: законодательное регулирование, индикативное планирование объемов производства, льготное налогообложение, бюджетная поддержка и мн. др. Так, к 2010 г. в Бразилии, странах ЕС и ряде других государств доля биотоплива в общем потреблении доведена до 5% и более. Во многих странах (даже «нефтегазоизбыточных») созданы специальные органы исполнительной власти, управляющие и координирующие реализацию программ в области производства альтернативных видов энергии.

В настоящее время по объему производства биотоплива среди стран ЕС лидирует Германия - ее рыночная доля достигает 3.75%. За ней следуют Швеция и Франция. В структуре потребления первичных видов топлива в Германии на долю биодизельного топлива приходится 3%, растительного масла – 0.33, биоэтанола – 0.27, дизельного топлива – 51.4 и автомобильного бензина – 45%. В Германии к 2010 г. доля биотоплива в общем топливном балансе была доведена до 6.75% вместо ранее запланированных правительством 6% [53,60].

Согласно прогнозу международной энергетической ассоциации (МЭА), мировое производство биотоплива увеличится с 20 млн т энергетического эквивалента нефти, а 2005 г. до 92–147 млн т в 2013 г., ежегодные темпы прироста производства составят 7–9%. Таким образом, к 2030 г. доля биотоплива в общем объеме в транспортной сфере составит 4–6%. При этом наибольшим будет прирост производства этанола, поскольку ожидается, что производственные

затраты на выпуск будут сокращаться быстрее, чем на биодизель. Проведенный анализ мирового производства и потребления углеводородного сырья (рис. 2.3,*а*) и биотоплива (рис.2.3,*б*) характеризуется следующими данными: среднегодовые темпы роста объемов производства ископаемых видов топлива за 2000–2005 гг. составили 1.6–2.8%, производства биоэтанола – 31.7, дизельного биотоплива – 80.7%.

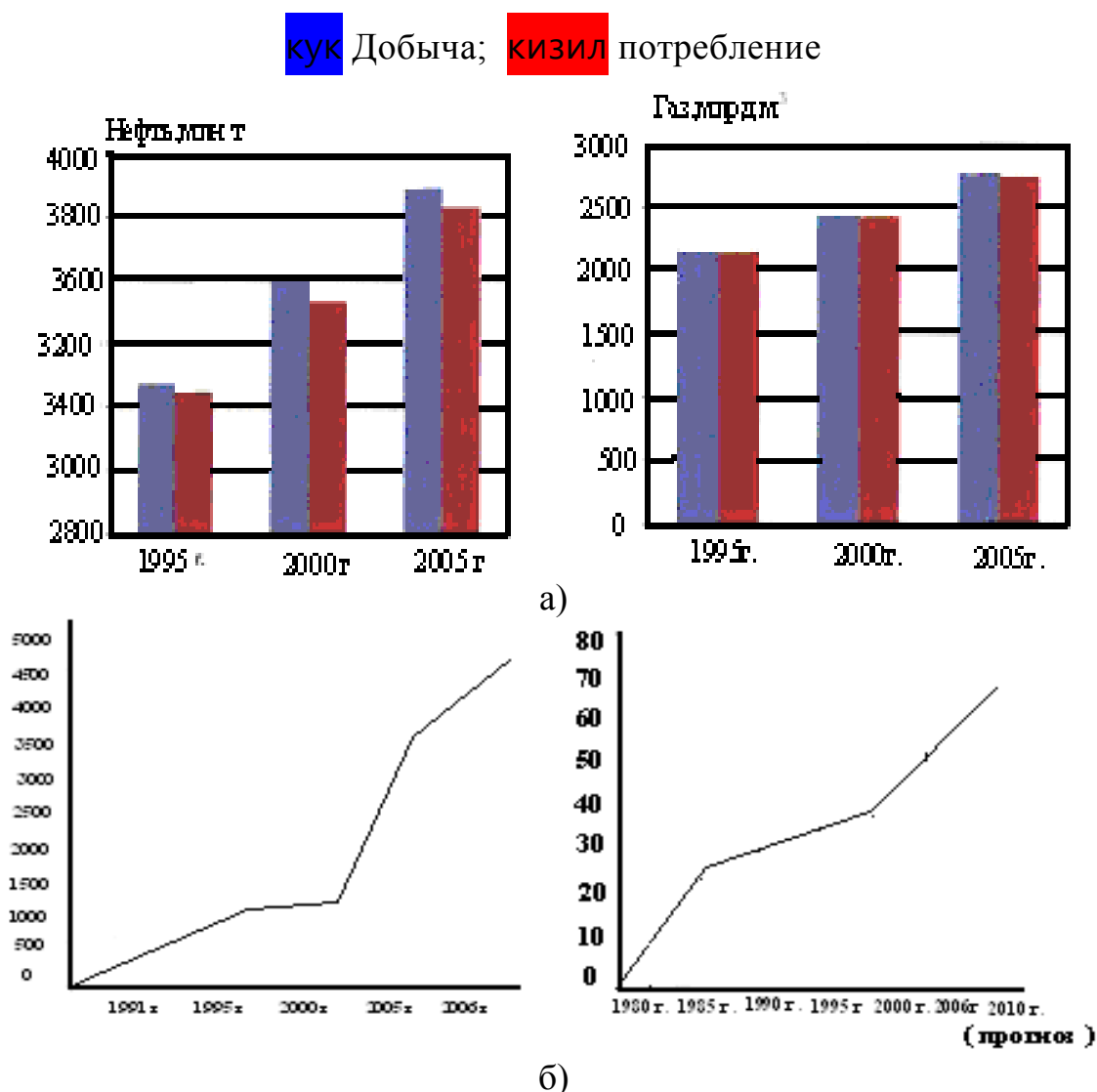


Рис. 1.3. Динамика мирового производства и потребления углеводородного сырья (а), а также производства моторного биотоплива в мире (б).

Таким образом, биоэнергетика позволит решить проблему получения топлива посредством возобновляемых источников энергии.

ГЛАВА 2

БИОГАЗ: ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ, СЫРЬЕВАЯ БАЗА, УСТАНОВКА И ПРОИЗВОДСТВО

2.1. Энергетический потенциал биогаза

Как известно, биогаз – смесь метана и углекислого газа – продукт метанового брожения органических веществ растительного и животного происхождения, осуществляемого специфическим природным биоценозом анаэробных бактерий различных физиологических групп [11,49,66,68].

Содержание метана в биогазе зависит от химических свойств сырья и может составлять от 30 до 90 %. В зависимости от природы исходного сырья изменяется и выход биогаза: от 100 до 800 л на 1 т абсолютно сухого органического вещества.

К настоящему времени разработано и применяется множество технологий получения биогаза, основанных на использовании различных вариаций температурного режима, влажности, концентрации бактериальной массы, длительности протекания биореакций.

В 1875 г. И.О.Попов впервые исследовал горючий газ, выделяющийся из разной, сложной, перерабатываемой биомассы. Он определил, что конечными продуктами разложения целлюлозы являются метан (CH_4), водород и углекислый газ, причем оптимальная для образования метана, по его данным, является температура составляющая $+ 40^\circ\text{C}$. Продолжая эти исследования, Гоппе - Зейер (1887) впервые начал изучать процесс анаэробного распада слоя жирных кислот. Наблюдая распад ацетата кальция в присутствии речного ила в длительных опытах (на протяжении нескольких месяцев), он получил углекислоту и метан в соотношении 1:2.

Бусвел и Ниве (1930) экспериментальным путем доказали, что все жирные кислоты в результате брожения распадаются до газообразных продуктов с образованием углекислого газа и метана. Брожение называется метановым, так

как одним из основных конечных продуктов распада органических веществ является метан.

Метановое сбраживание биомассы (навоз и т.п.) – многоступенчатый процесс, осуществляющийся при участии разнообразных микроорганизмов и протекающий в определенной последовательности (рис.2.1).

Деятельность метанообразующих бактерий и соответственно объем биогаза, получаемого в результате сбраживания, зависит от температуры, кислотности среды, ее щелочности, содержания летучих жирных кислот (ЛЖК), питательных веществ, соотношения между углеводами, азотом и от других факторов [15,16].

Большое содержание ЛЖК при загрузке в метантенк оказывает неблагоприятное воздействие на процесс: понижает рН среды метантенка, изменяет оптимальное соотношение микроорганизмов в метантенке, вследствие чего нарушается нормальный ход процесса метанового брожения. Большинство авторов считают, что концентрация ЛЖК в загружаемом навозе не должна превышать 8000 мг/л.

Хобсон [6] и Кухтера [7] наблюдали резкое снижение газовыделения при 86%-ной влажности навоза. Это происходит в связи с нарушениями технологического процесса. Процесс метанового сбраживания протекает оптимально при влажности от 90 до 97% [8,9].

Многие исследователи считают, в анаэробном разрушении органического вещества следует выделить три физиологические группы бактерий [10]. В 1964 г. исследователем Маккарти предоставленная схема используется в [11], с некоторыми изменениями и в настоящее время (рис.2.2). По его схеме, «первичные» анаэробы подвергают ферментативному гидролизу сложные многоуглеродные вещества, представляющие собой основные классы органических соединений: белки, липиды и полисахариды .

На этой стадии участвуют такие облигатные анаэробные бактерии, как *Clostridium*, *Bacteroides*, *Ruminococcus*, *Butyrivibrio*, а также факультативные: *Escherichia coli* и *Bacillus*.

На второй стадии такие ацетогенные микроорганизмы, как *Syntrophobacter*, *Syntrophomonas*, *Desulfovibrio* ферментируют H_2 и CO_2 . одноуглеродные соединения, а также некоторые более сложные вещества в низкомолекулярные органические кислоты через промежуточное образование ацетил – КоА [12]. Реакция процесса происходит в две стадии: окисление органических кислот и окисление спиртов, например этанола.

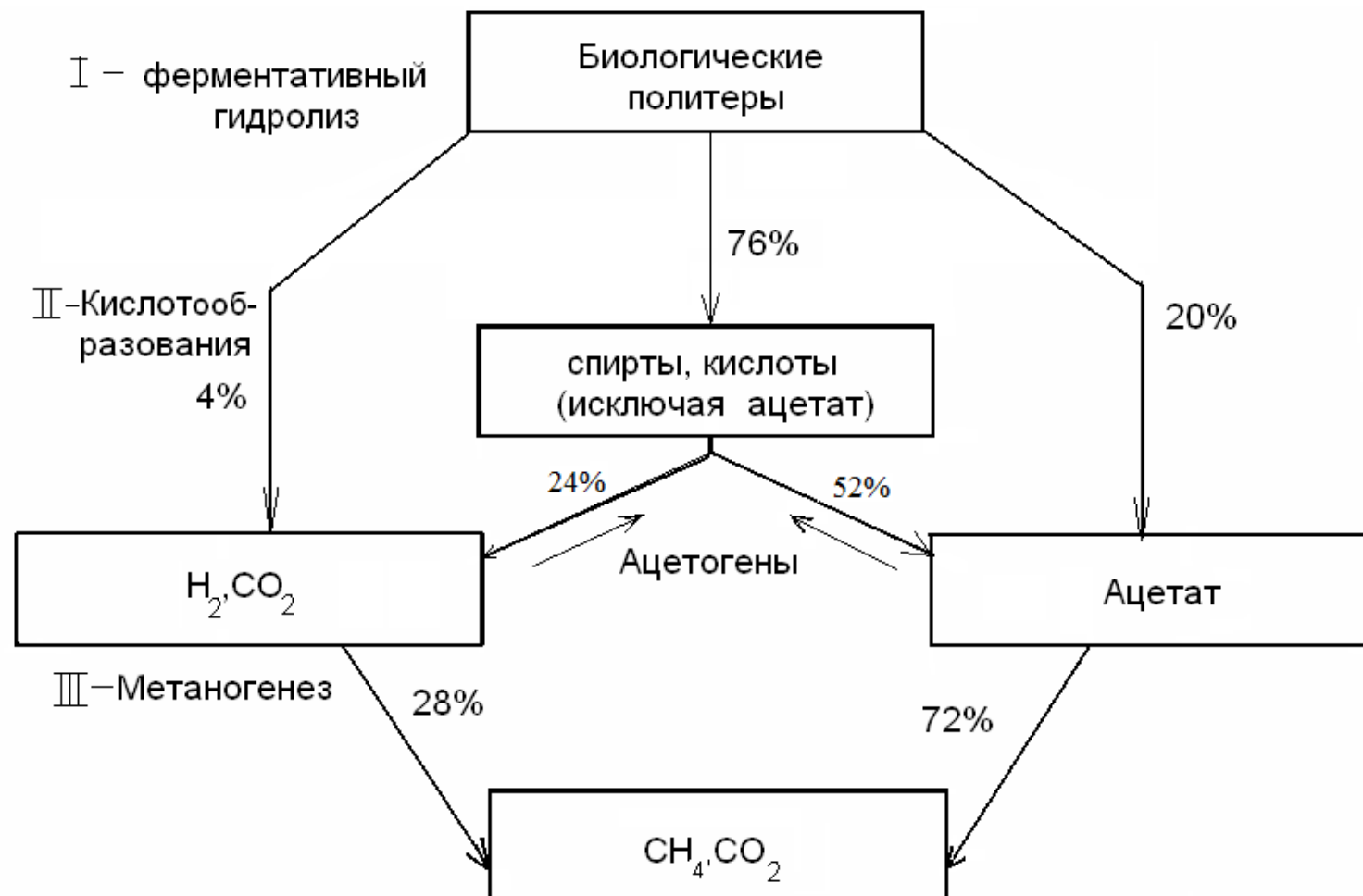


Рис.2.1. Графическая иллюстрация кинетического хода трехстадийного анаэробного распада органического вещества и процентный переход энергосодержания сложных органических веществ в метан на каждой стадии, представленных в виде данных о химической потребности кислорода (ХПК)

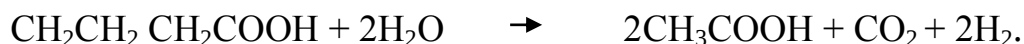
На первой стадии окисление органических кислот производят [82] во-первых, молочной:



во-вторых, пропионовой:



в-третьих, масляной:



На второй стадии окисление спиртов, например этанола –



Последняя стадия осуществляется метанобразующими и сульфатредуцирующими микроорганизмами, которые используют метаболиты, образующиеся на первых стадиях. На последнем этапе анаэробного брожения органического вещества в экосистемах с низким содержанием сульфатов образуются, главным образом, CH_4 и CO_2 и незначительное количество H_2S .

Воздействие температуры на процесс метанового брожения исследовалось в [36,82]. Установлено, что температура является одним из важнейших факторов процесса. В природе CH_4 образуется в широком диапазоне температур. В ледниках метан образуется при 0°C , в болотах – при $4\text{--}15^\circ\text{C}$, в желудках – при 39°C , в горячих родниках – при 97°C [82].

Обычно выделяют три температурные зоны жизнедеятельности метанобразующих бактерий: психрофильную, мезофильную и термофильную.

Исследователи неоднозначно принимают для различных зон границы температурные зоны метанового брожения: для мезофильной зоны – $20\text{--}40^\circ\text{C}$, термофильной $-40\text{--}60^\circ\text{C}$; тогда как границами являются для мезофильной зоны – $5\text{--}45^\circ\text{C}$, термофильной – $45\text{--}60^\circ\text{C}$. Однако большинство авторов предлагают следующее разделение температурных зон: психрофильная зона – до 20°C , мезофильная зона – $20^\circ\text{--}40^\circ\text{C}$, термофильная зона – $50^\circ\text{--}60^\circ\text{C}$. Кроме того, считают, что чем выше температура, тем уже должны быть пределы температурных зон.

Ими также установлено, что в процессе метанового сбраживания оптимальное значение pH – 7–7.6.

К факторам, влияющим на интенсивность газовыделения, относится доза загрузки биореактора в сутки (или период брожения органической биомассы) (Д,%). Ее выражают как процентное отношение объема загружаемого сырья (O_{зс}) к объему сырья в метантенке (O_{сб}):

$$Д = O_{зс} \times 100\% / O_{сб} \quad (1)$$

или как отношение массы сухого, органического вещества в загружаемом сырье (COB) M_{сов} к объему сырья в метантенке

$$Д_{COB} = M_{сов} / O_{сб} \quad (2)$$

Степень разложения COB снижается с повышением дозы загрузки. Использование различных доз загрузки в большой мере зависит от температуры процесса: при высоких температурах процесс протекает более интенсивно. Хашимото считает, что для навоза КРС можно использовать гораздо более высокие дозы загрузки при термофильной температуре (около 20 кг COB/(м³·сут), чем при мезофильной температуре (около 7 кг COB/(м³·сут). Кроме того, от дозы загрузки зависит время технологической выдержки (ВТВ) биомассы в метантенке.

ВТВ – это время, в течение которого в реактор загружают свежую биомассу и выгружают сброженную биомассу, равную объему сырья в метантенке. Это происходит в непрерывной системе (свежую биомассу загружают в камеру сбраживания непрерывно или отдельными порциями через определенные промежутки времени, при этом, удаляя соответственно такое же количество сбраживаемой биомассы с полным смешиванием во всем технологическом объеме). В большинстве случаев ВТВ выбирают в зависимости от температуры, степени разложения и состава сырья в следующих интервалах: при 10–25°C – до 30 сут, при 25–45°C – от 10 до 20 сут и при 45–60°C – от 8 до 4 сут.

Интенсивность процесса метанового сбраживания в значительной мере; зависит от применения или отсутствия перемешивания сбраживаемого навоза. Перемешивание позволяет:

1) поддерживать однородность распределения загружаемого сырья и постоянный контакт его с микроорганизмами, что дает возможность максимально утилизировать свежие питательные вещества;

2) сохранять на низком уровне концентрацию продуктов распада, так как они равномерно распределяются по всему объему;

3) обеспечивать однородность среды как по температуре, так и по концентрации питательных веществ, что создает наилучшие условия жизнедеятельности бактерий;

4) устранять концентрацию ингибирующих веществ в 1 чашкой в отдельной зоне технологического объема сбраживания, что ограничивает их влияние на интенсивность процесса метанового сбраживания;

5) предотвратить образование корки и неподвижного густого осадка;

6) способствует начальной стадии обработки биомассы в реакторах, устраняет неприятное и отрицательное влияние на процесс брожения вредных газов.

В настоящее время используются различные способы перемешивания сбраживаемого навоза, которые условно можно разделить на пять:

- перемешивание механическими мешалками;
- перемешивание за счет принудительной циркуляции;
- перемешивание барботажем биогаза;
- перемешивание за счет естественной циркуляции нагреваемой биомассы;
- вакуумное перемешивание.

Выбор системы перемешивания зависит от конструкции биореакторов. Некоторые варианты перемешивания для вертикальных реакторов показаны на рис. 2.2,б; 2.2,е). Мешалки достаточно эффективно и с допустимым расходом энергии применяют для работы небольших биореакторов при использовании тяжелой перерабатываемой биомассы. На небольших установках с незначительным выходом биогаза используют механические мешалки с ручным приводом.

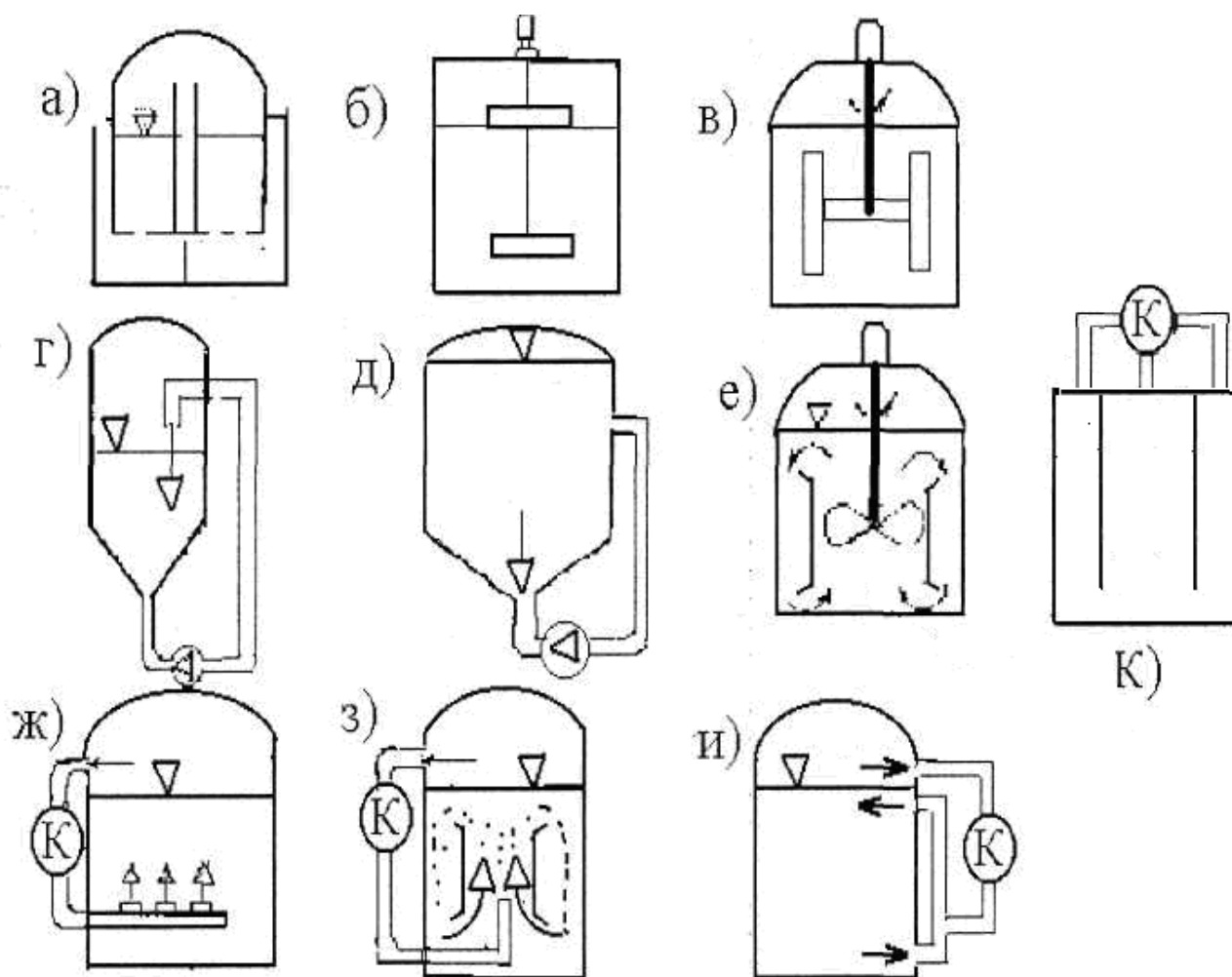


Рис. 2.2. Системы перемешивания в вертикальных биореакторах: а – передвижением газгольдера; б, в – механической мешалкой; г – насосом (выгрузкой над коркой); д – насосом (выгрузкой под коркой); е – механической мешалкой и струями жидкости; ж – биогазом; з – биогазом и циркуляцией жидкости; и – биогазом и жидкостью; к – вакуумным перемешиванием

Содержимое крупных реакторов, особенно цилиндрической формы, перемешивают гидравлическим способом (рис. 2.2, е – з), т. е. при помощи струи жидкого навоза. На многочисленных установках метанового сбраживания для перемешивания навоза применяют системы с подвижным соплом.

Перемешивание вакуумом – самый молодой способ перемешивания биомассы, находящейся в биореакторе (рис. 2.2, к) [37].

При работе установки для переработки навоза осуществляют циклическую подачу исходного навоза через дозатор 5 загрузки (рис. 2.3) в выдерживатель 3, встроенный в реактор 1, при этом в выдерживателе 3 происходит поглощение

кислорода семианаэробными микроорганизмами и преобразование органических веществ в органические кислоты.

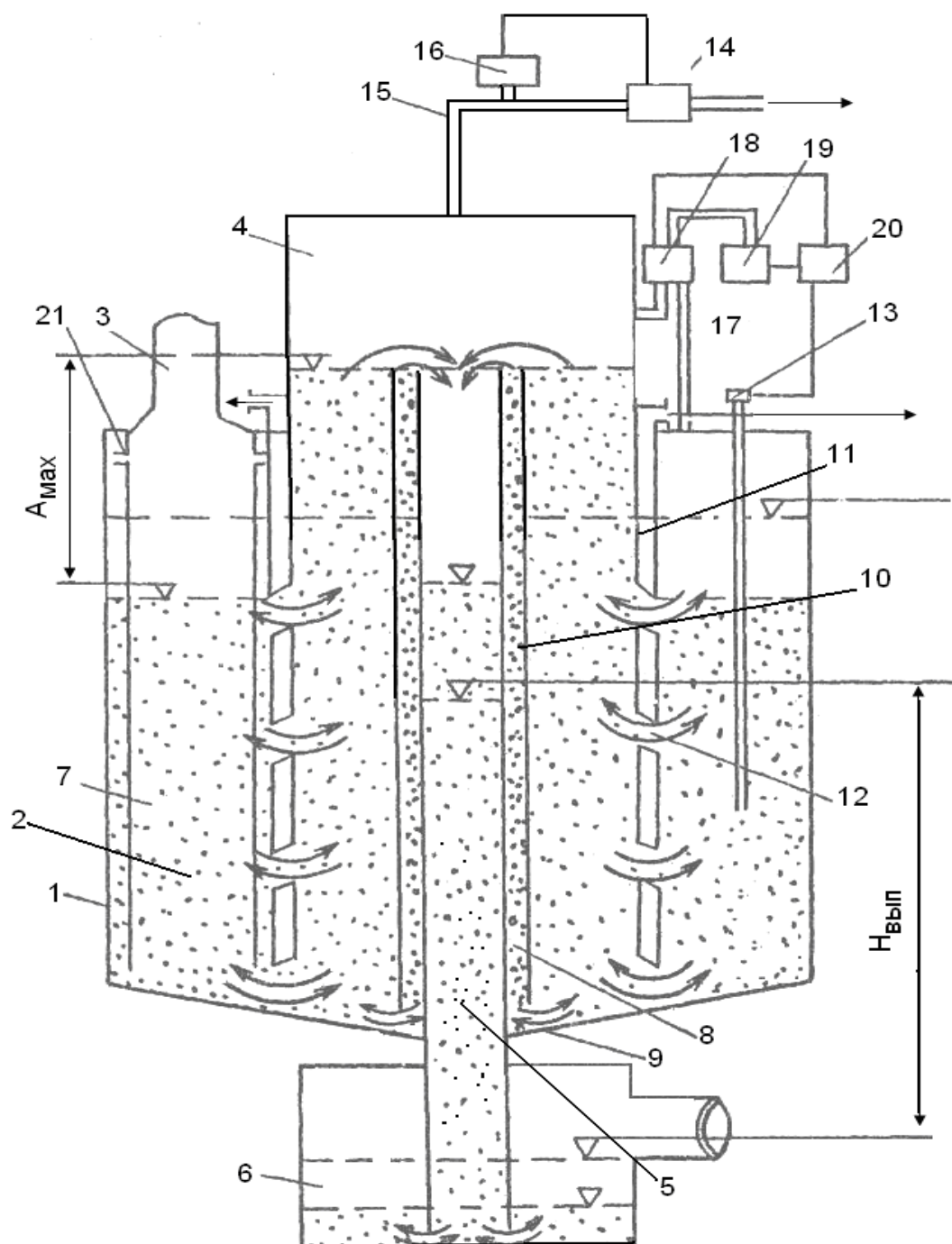


Рис. 2.3. Принцип работы вакуумного перемешивания в биогазовой установке

Процесс поглощения кислорода, содержащегося в исходном навозе, и преобразование органических веществ в органические кислоты происходит

интенсивнее, чем в выдерживателях, отделенных от реактора, так как в первом нижняя часть выдерживателя сообщена с нижней частью камеры смешивания 2, где в большом количестве накапливаются и развиваются семианаэробные микроорганизмы и при перемешивании выдерживаемый навоз не смешивается со сброживаемым навозом по всему объему реактора 1, а только сообщается с нижней частью камеры смешивания 2. Благодаря выполнению выдерживателя 3 в виде прямой треугольной призмы одно из ребер которой направлено к вертикальному ряду патрубков 17 (см. рис.2.3), установленных в теплообменнике 15, увеличивается контактная площадь выдерживателя со сброживаемой биомассой, пропускаемой через теплообменник, из-за чего обеспечивается быстрый равномерный нагрев выдерживаемой биомассы.

При этом объем для выдерживаемой биомассы выбирают в пределах $(2-3) \cdot V_{p.з}$, где $V_{p.з}$ – объем разовой загрузки, так как $(2-3) \cdot V_{p.з}$ достаточно для нормального функционирования выдерживателя 3, встроенного в реактор 1. После подачи исходной биомассы в выдерживатель 3 при подключении средств для нагрева навоза в реакторе 1 начинается перемешивание. Одновременно с перемешиванием осуществляется подача в камеру смешивания выдержанного навоза объемом, равным объему загруженной исходной биомассы.

В камере смешивания 2 при заданном уровне происходит анаэробный распад органических веществ с выделением метаносодержащего газа, при этом в нижней части камеры смешивания 2 развиваются семианаэробные микроорганизмы, в средней части - метанообразующие микроорганизмы. В верхней части камеры смешивания накапливается сброженная биомасса, которая удаляется через трубопровод 18 и вместе с ним, по мере разложения, частично трудноразлагаемые компоненты – через трубопровод 18 для их выгрузки в трубу приспособления 20, в которой происходят очистка сброженной массы от остатков продуктов метаногенеза (от газовых пузырьков и биомассы, готовой к газовыделению) и выгрузка переработанной биомассы из трубы через емкость 21 с выгрузным патрубком. Объем сброженной биомассы, подаваемой в трубу, и

переработанной биомассы, выгружаемой через емкость 21 с выгрузным патрубком, равен объему загруженной исходной биомассы в дозаторе 5.

Давление в верхней части теплообменника 5 и реактора 1 поддерживается ниже атмосферного в 600–700 мм вод. ст. вакуумным насосом 9, управляемым от датчика 8, причем перепад гидростатических давлений в трубе соответствует принятой величине разрежения газообразных продуктов в верхней части теплообменника 5 и реактора 1 и равен $H_{\text{вак}}$.

Для перемешивания содержимого в реакторе 1 программное устройство 12, блокированное регулятором 14 температуры, расположенным в камере смешивания 2, обеспечивает в заданные интервалы времени закрытие электромагнитного клапана 10 и включение вакуумного насоса 11. При этом вакуумный насос 11 отбирает газообразные продукты из верхней части теплообменника 5 и соответственно из верхних частей камеры 18 для выгрузки твердых компонентов из трубы приспособления 20 и нагнетает в верхнюю часть реактора 1, соответственно в верхнюю часть выдерживателя 7 через отверстия 4. Когда уровень сбраживаемой биомассы доходит до уровня, по которому расположен верхний ряд патрубков, сообщающих объемы сбраживаемой биомассы, разделенной на две равные части теплообменником 5, начинается частичное обрушивание столбов сбраживаемого навоза в теплообменнике 5 твердых компонентов в камере 18 для выгрузки твердых компонентов и очищаемого навоза в трубе приспособления 20 с последующим подъемом.

При этом заданный уровень биомассы в камере сбраживания соответствует уровню, при котором обеспечивается максимальная амплитуда возвратно-поступательного перемещения (A_{max}). При возвратно-поступательном перемещении с переменной амплитудой обеспечивается микросмешивание сбраживаемой биомассы, содержащейся на различных уровнях камеры смешивания с одновременным нагревом и без смешивания их между собой. Тем самым предотвращается преждевременная выгрузка сбраживаемой биомассы и, соответственно, увеличивается отбор метаносодержащего газа от единицы перерабатываемой биомассы, а также

обеспечиваются оптимальные условия для развития различных анаэробных микроорганизмов, содержащихся в различных уровнях камеры смешивания.

После заданного числа малоамплитудных циклов возвратно-поступательного перемешивания программное устройство 12 открывает электромагнитный клапан 10 и отключает вакуумный насос 11. В результате этого верхняя часть теплообменника 5 через патрубки 13 сообщается с верхней частью реактора 1 и происходит полное обрушивание столбов сброживаемой биомассы в теплообменнике 5 через нижний его торец, твердых компонентов в камере 18 для выгрузки твердых компонентов через ее нижний торец и очищаемой биомассы в трубе приспособления 20 через его нижний торец до заданного уровня. Благодаря этому обеспечивается подъем осевших твердых компонентов по камере 18 для выгрузки твердых компонентов и предотвращение образования корки в верхней части камеры смешивания и очистка сброженной массы от остатков продуктов метаногенеза в объеме трубы приспособления 20, соответствующем высоте $H_{\text{вак}}$ между заданными уровнями навоза в выгрузной емкости б и в трубе приспособления 20. Через заданные промежутки времени цикл повторяется, при этом частота пульсаций возвратно-поступательного перемешивания биомассы в реакторе 1 может регулироваться изменением производительности вакуумного насоса 11. При этом объемы для очищаемой биомассы в трубе приспособления 20 и для твердых компонентов в трубе для выгрузки твердых компонентов выбирают соответственно в пределах $(1 - 2) \cdot V_{\text{р.з}}$ и $(0.5 - 1) \cdot V_{\text{р.з}}$, где $V_{\text{р.з}}$ – объем разовой загрузки.

Благодаря осуществлению переработки биомассы на трех последовательных этапах (выдерживание, анаэробное сброживание и очистка) и обеспечения необходимых условий для каждого этапа, значительно увеличивается отбор метаносодержащего газа с единицы объема перерабатываемого навоза, размещение выдерживателя в реакторе, при котором не будет необходимости в отдельных средствах для подвода тепла, перемешивания и вакуумирования. Нагрев сброживаемого навоза одновременно с перемешиванием, при котором

происходит быстрее термостатирование, снижает затраты на процесс переработки биомассы.

Способ переработки биомассы заключается в том, что исходная биомассы через гидравлический затвор циклично порциями 0.18 л загружается в выдерживатель 3, рабочим объемом 0.4 л, при этом свежагруженная порция вытесняет из выдерживателя 3 выдержанную порцию равными объемами.

Так как рабочий объем выдерживателя 3–0.4 л и объем порции загрузки 0.18 л, то время выдерживания $\theta = 2 \theta_{p.з.}$, где $\theta_{p.з.}$ – время между разовыми загрузками, ч.

Например, доза суточной загрузки биореактора – 0.3 л/сутки, объем разовой загрузки 0.18 л, который установлен обеспечением максимально возможной дробностью загрузки 10 раз/сутки. Тогда время выдерживания составляет $\theta_v = 2 \cdot \theta_{p.з.} = 2 (24 : 10) = 4.8$ ч.

Сбраживание с учетом дифференциации времени технологической выдержки слоев навоза осуществляется при одновременной выгрузке сброженной биомассы из нижнего и верхнего слоя, когда поддерживается заданное соотношение между выгружаемыми объемами, соответствующее соотношениям между временем технологической выдержки. Это соотношение или дифференциация в лабораторной установке обеспечивались путем выбора площади поперечного сечения камеры 18 и соответствует соотношению 1:3 между временем технологической выдержки верхнего и нижнего слоев.

Очистка сброженной биомассы от продуктов метаногенеза происходит, когда порция сброженной биомассы одновременно из нижнего и верхнего слоя выгружается в трубу приспособления 20, где за счет пульсационно-возвратно-поступательного перемещения очищается от газовых пузырьков и биомасс, готовых к газовыделению до последующей выгрузки порции сброженной биомассы, а очищенная биомасса выгружается через выгрузную емкость 21.

На многочисленных установках метанового сбраживания для перемешивания навоза применяют системы с подвижным соплом. При горизонтальном направлении

сопла, которое вращается вокруг оси реактора и может перемещаться вдоль нее, струя жидкости проникает во все зоны рабочего пространства биореактора (рис. 2.4).

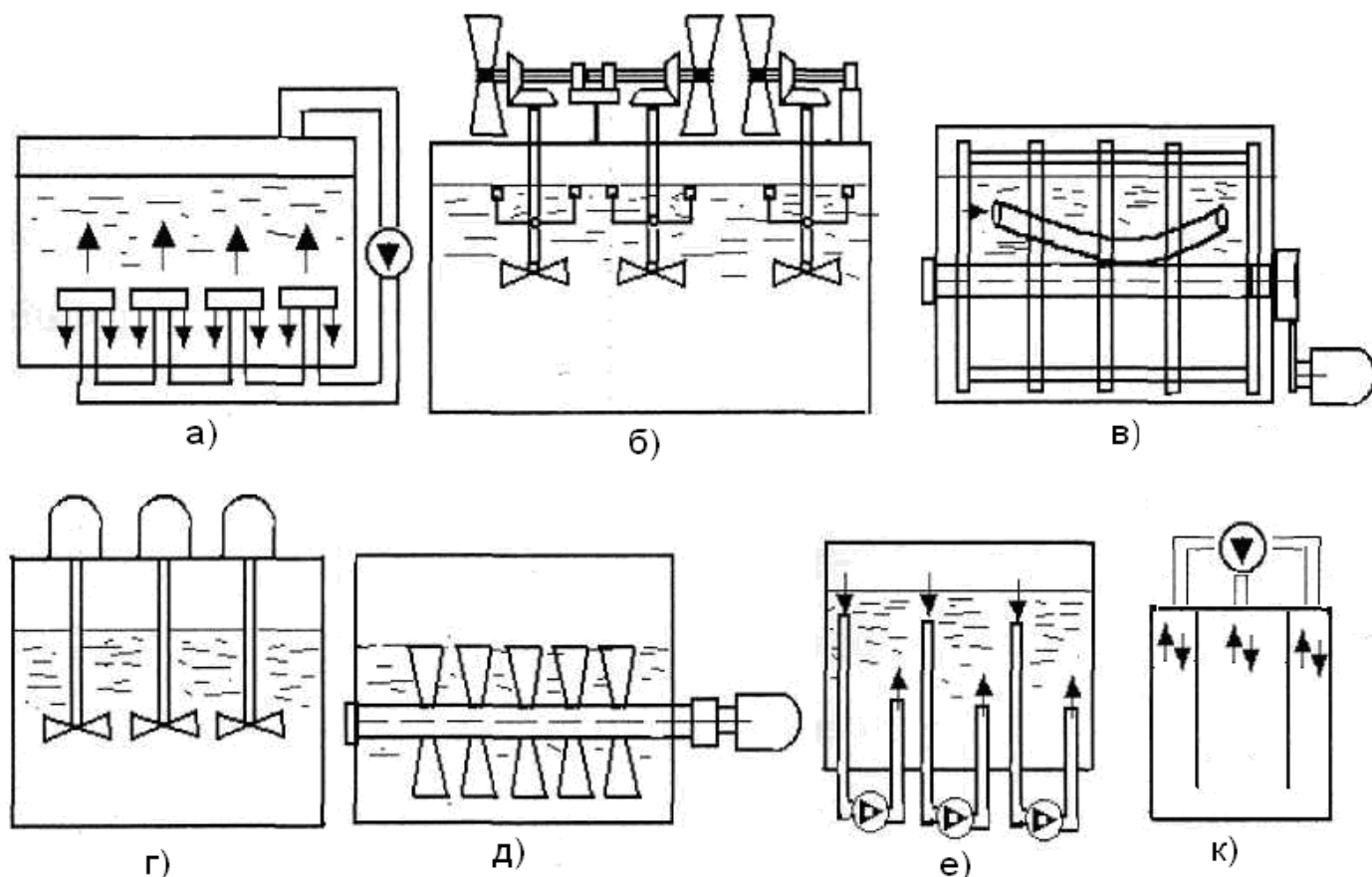


Рис.2.4. Системы перемешивания в горизонтальных биореакторах: *а* – биогазом; *б* – по секциям механическими мешалками, приводимыми в движение ветровой энергией; *в* – механическая мешалка приводится в медленное движение с помощью храпового механизма и гидроцилиндра, из последней секции плотный осадок возвращается в первую; *г* – по секциям механическими мешалками от отдельного двигателя; *д* – механическими лопостями; *е* – с помощью насоса: из верхней зоны отбирается более жидкая перерабатываемая биомасса и выгружается в зоне более плотного осадка; *ж* – биогаз вакуумным насосом

Гидравлические системы с подвижным соплом требуют тщательного выбора в соответствии с размерами и формой реактора, чтобы обеспечить хорошее перемешивание перерабатываемой биомассы во всех зонах биореактора.

Нагнетание полученного биогаза в жидкую перерабатываемую биомассу дает хорошие результаты по перемешиванию. Однако при этом перерабатываемая биомасса не должна обладать слишком большой вязкостью и быть склонной к образованию плавающей корки, в противном случае следует постоянно удалять

всплывающие частицы или; отделять крупные частицы твердого материала от перерабатываемой биомассы перед поступлением её в реактор.

В биореакторах - газгольдерах с плавающей верхней газовой частью перемешивание осуществляют с помощью прикрепленных к подвижной части биореактора газгольдера пластинок, расположенных под разными углами.

Установки метанового сбраживания системы «Дармштад» (Германия).

Для перемешивания сбраживаемой биомассы в биореакторе данной установки расположена специальная механическая мешалка со спицами, приводимая в действие электродвигателем. Механическое перемешивание осуществляется 10 раз в день по одной минуте с частотой вращения 6 об/мин. Подобные по принципу, но различные по исполнению механические способы перемешивания использованы в установках системы Строганова, фирмы Энбом (Финляндия), фирмы Колорадо - биогаз (США), фирмы «Биосистем» (Швеция), фирмы Липп (ФРГ). Недостатком этого способа перемешивания является то, что он не исключает образования застойных зон, а также невозможность использования в больших объемах биореакторов с энергетической точки зрения. Кроме того, при горизонтальном расположении мешалки этот способ не пригоден для многоуровневого перемешивания, так как при этом смешиваются между собой уровни сбраживаемой массы. При вертикальном расположении мешалки через сальниковое уплотнение может происходить утечка метана, что может в случае проскакивания искры на электроприводе мешалки привести к взрыву установки [16,19].

Основным конструктивным недостатком механических систем перемешивания сбраживаемой биомассы является то, что для выполнения операции по ремонту и обслуживанию этих систем приходится опорожнять метантенк и останавливать процесс сбраживания.

Перемешивание сбраживаемой перерабатываемой биомассы можно осуществлять циркуляцией сбраживаемой перерабатываемой биомассы. В этом случае применяются гидравлические системы перемешивания различных конструкций. Примером гидравлической системы перемешивания может служить установка метанового сбраживания системы Шмидта – Эгерглюса. На установках

данной системы перемешивание и нагрев сбраживаемой массы осуществляются одним и тем же устройством, конструктивно выполненным следующим образом. По центру цилиндрической камеры сбраживания установлена телескопическая система труб с гидронасадкой, которая при помощи винтовой штанги проходящей через крышку газовой камеры (с сальниковым уплотнением), и приводом от электродвигателя совершает возвратно - поступательное движение, а за счет энергии струи сбраживаемого навоза – дополнительно-вращательное движение вокруг своей оси. Для нагрева сбраживаемой массы во время перемешивания пар подается в гидронасадку.

Таким образом, насосом сбраживаемая масса забирается из нижней части бродильной емкости и через гидронасадку равномерно распределяется по всему объему камеры сбраживания. Перемешивание производится 1–4 раза в день по 10–15 мин. Такой способ систем гидравлического перемешивания одинаковый по принципу циркуляции сбраживаемой массы применяется на установках Дюшелье – Исмана (Франция).

Основной недостаток данного способа перемешивания сбраживаемого навоза в реакторах состоит в том, что большие скорости циркулирующей биомассы отрицательно влияют на жизнедеятельность метановых бактерий. Кроме того, при использовании этого способа для циркуляции жидкого навоза циркуляционный насос быстро забивается посторонними примесями. Как и в механической системе перемешивания также через сальниковые уплотнения гидронасодок может произойти утечка метана и привести к взрыву установки. Необходимость извлечения гидронасодок при ремонте и обслуживании потребует опорожнения реактора и остановки процесса сбраживания.

Установки метанового сбраживания (бывш. Чехословакия), в которых для перемешивания сбраживаемой массы применен способ продувки биогаза через сбраживаемую массу компрессором. Применение этого способа позволяет отказаться от механических мешалок и гидронасодок и тем самым сократить расход энергии на перемешивание. Однако возникает опасность флотации интенсивного коркообразования верхней части реактора. Кроме того, избыточное

содержание биогаза в сбраживаемом навозе оказывает ингибирующее влияние на метанобразующие бактерии и приводит к увеличению объема сбраживаемого навоза, и следовательно, к снижению КПД использования реактора. Такой же способ перемешивания применяется на установках фирмы «Бритиш-биогаз» (Англия), «Джиэ-Дти» (Италия), «Пекенжениринг» (Франция).

Способ перемешивания сбраживаемой перерабатываемой биомассы за счет конвекции применен на установке метанового сбраживания фирмы «НИС А.Г» (Швейцария). Перемешивание в этой установке происходит естественной циркуляцией, вызванной нагревом биомассы в нижней части биореактора, что является недостаточным для перемешивания массы по всему объему. Данный способ перемешивания непригоден для таких высоковязких отходов, как навоз крупнорогатого скота.

В последнее время разрабатывается пневмогидравлический способ перемешивания, основанный на пульсирующем поршневом движении сбраживаемой перерабатываемой биомассы за счет создания разности давления в отдельных зонах газовой части биореактора. Преимущество такого способа в том, что средства перемешивания не контактируют со сбраживаемым навозом и находятся вне реактора, что удобно при ремонте и обслуживании. Кроме того за счет различных конструкций неподвижных перегородок можно получить перемешивание с различной интенсивностью в различных зонах биореактора. Одна из разновидностей конструкции пневмогидравлического способа перемешивания применена на установке метанового сбраживания, разработанной РосНИКОМЖем. Она предусматривает всеобъемное интенсивное перемешивание, которое, во-первых, энергоёмко, во-вторых, не дает возможности обеспечения гарантированного срока пребывания в реакторе свежезагруженной перерабатываемой биомассы, в-третьих, смешивает уровни сбраживаемой массы между собой, тем самым снижает качество переработки. По данным Г. Пузанкова, использование такого способа перемешивания в принятой конструкции микробиологического реактора позволяет снизить расход энергии на перемешивание в 4 раза по сравнению с механическими и гидравлическими.

Как известно, режимы брожения и затраты энергия в биореакторах параллельно растут или сокращается.

Термофильный режим сбраживания, который в последнее время получил наибольшее распространение, обуславливает более высокую скорость распада органического вещества, более высокий выход биогаза и более высокую степень обеззараживания. Вместе с тем, сбраживание отходов в термофильном режиме температур некоторые исследователи считают неэкономичным из-за высокой потребности в энергии и сложившегося представления о нестабильности эксплуатации метантенков при высоких температурах.

Сравнительно быстро обновляемая биомасса в объеме метантенка обычно требует большого количества затрат энергии на поддержание теплового режима брожения.

Вайсом с соавт. установлено, что при 60° С выход метана (CH₄) в 2.5 раза больше, чем при 37°С. При этом время пребывания биомассы в метантенке существенно сокращается. Пфеффер наблюдал четырехкратное повышение скорости процесса при 60°С по сравнению с таковой при 35°С для культур, использующих домашние отходы.

Термофильный режим характеризуется также более высокой технико-экономической эффективностью по сравнению с мезофильным и психрофильным режимами. На большинстве существующих установок расход теплоты на нагрев биомассы, поступающей в метантенк, составляет значительную часть затрачиваемой энергии на переработку биомассы (табл.2.1) [24].

Таблица 2.1

Данные по расходу энергии в биогазовых установках

Страна	Емкость метантенка, м ³	Температура процесса, °С	Расход энергии на перемешивание навоза, в процентах от общего расхода теплоты	Расход энергии на нагрев, вновь загружаемого навоза в % от общего расхода теплоты	Расход энергии на компенсацию тепловых потерь, в процентах от общего расхода теплоты
США, «Колорадо-биогаз»	110	35	2,10	72,33	25,66
Финляндия, «ЭНБОМ»	120	37	7,2	75,35	17,45
Англия, «Биосистем»	160	50	9,2	75,4	15,4
Англия, «Бритиш биогаз»	200	35	8,2	75,4	16,4
Чехия, «Гидропроект»	6000	40	-	71,67	26,33
Дания, «Клаухан»	80	35	12	77,6	22,4
Россия, НИИКОМЖ	250	40	6,8	80,32	12,81

Анализируя затраты энергии на биогазовых установках (БГУ), П.В.Богданов приводит данные по биогазовой установке Пярнуской свинофермы для мезофильного режима брожения (табл.2.2).

Таблица 5

Удельные затраты энергии на работу БГУ Пярнуской свинофермы

Виды затрат	Удельный расход энергии навоза, МД ж/м ³	Доля затрат, %
Подогрев навоза	151.91	73.7
Теплопотери метантенка в окружающую среду	9.79	4.7
Эквивалентный расход энергии на электропривод (перекачивания, перемешивание и т.п.)	29.27	14.2
Внутрицеховые нужды	15.30	7.4
Всего	206.27	100

Как установлено, основная часть затрат энергии (> 73.7%) приходится на подогрев навоза до температуры сбраживания. Для термофильного режима этот показатель имеет еще большее значение .

Исследователи считают, что расчет теплового баланса возможен, если в каждом конкретном случае для установки определенной конструкции и размеров, а также для определенного вида навоза (КРС, свиной, овечий и т.п.) будут известны подача и влажность навоза, состав биогаза и количество теплоты, выделяемой при сгорании биогаза.

Для выбора, обоснования и расчета тепловых аппаратов, входящих в предлагаемую технологию переработки навоза и теплового баланса линии, в целом, необходимо знать основные теплофизические характеристики сбраживаемого навоза (температуропроводность α ;вязкость μ ; плотность ρ ; теплоемкость C), зависимости, характеризующие теплоотдачу на границе

"сбраживаемый навоз – ограждающая поверхность установки". Эти показатели в свою очередь зависят от температурного режима брожения.

Исследуя вышеуказанные теплофизические характеристики, А.А.Ковалев и П.И.Гриднев (1987 год) пришли к выводу, что температуропроводность навоза КРС с повышением температуры и влажности W увеличивается. Причина этого заключается в повышении температуропроводности содержания свободной влаги и в отсутствии изменений в структуре макромолекул при изменении температуры. Аналогичный вывод следует из анализа зависимостей теплоемкости навоза от его температуры и влажности.

Плотность сбраживаемого навоза с увеличением содержания в нем сухого органического вещества в отличие от исходного навоза увеличивается. Минимального значения данный показатель достигает при температуре, характерной для термофильного режима сбраживания. При такой температуре идет интенсивный распад беззольного вещества. Выделяющийся газ не успевает прорываться сквозь слой навоза, скапливается в нем, что приводит к значительному увеличению первоначального объема. Динамическая вязкость сбраживаемого навоза с увеличением его влажности от 86 до 98% и температуры с 15 до 70°C уменьшается соответственно с 1.4 до 0.008 Па с, что приводит к уменьшению затрат на перемешивание навоза в биогазовой установке.

Затраты энергии на перемешивание навоза в метантенке являлись объектом многих исследований. Несмотря на большой объем выполненных экспериментов по выявлению влияния перемешивания на выход метана в процессе метанового сбраживания, полученные результаты неоднозначны.

Рютаро Хосимото (1985 год), исследовав влияние перемешивания навоза откормочных бычков в реакторе на выход биогаза, установил, следующее: непрерывное перемешивание увеличивает выход биогаза на 8–11% по сравнению с перемешиванием в течение двух часов в сутки.

Однако в другом случае Р.Хасимото при тех же условиях процесса не выявил преимущества непрерывного перемешивания. Поэтому вопрос об оптимальном режиме перемешивания навоза в метантенке еще окончательно не решен.

Проведенные рядом авторов лабораторные и производственные опыты показали, что перемешивание навоза в метантенке необходимо для получения максимального количества биогаза. С другой стороны, ряд авторов считают, что с микробиологической точки зрения интенсивное перемешивание в метантенке не дает никаких преимуществ.

Проведенный А.Г.Пузанковым (1989 год) анализ литературных источников и его собственные результаты показали, что затраты энергии на перемешивание, осуществляемое за счет создаваемого перепада давления биогаза с использованием эффекта многоуровневого поршневого движения навоза, практически в четыре раза меньше, чем при механическом и гидравлическом способах перемешивания. На основании этого анализа следует принимать расход энергии равным 0.5 Вт/м^3 навоза при поршневом перемешивании и 2 Вт/м^3 навоза при механическом и гидравлическом способах перемешивания.

Относительный интервал длительности перемешивания варьировался от 6 до 100% и большей частью составлял менее 20%, что свидетельствует в пользу коротких интервалов перемешивания.

Исходя из этих интервалов перемешивания (4.8 ч,сутки) и расходов энергии на перемешивание сброживаемого навоза в метантенке, необходимо затрачивать энергию $0.08\text{--}50.34 \text{ МДж/м}^3$ навоза в сутки.

Отсюда удельный расход энергии (МДж/м^3 навоза) на перемешивание навоза в метантенке определяется по формуле

$$E = (0.085 + 0.34) \times \tau_{сбр}, \quad (3)$$

где $\tau_{сбр}$ – время сброживания, сутки.

Проведенный анализ затрат энергии на поддержание оптимального режима перемешивания навоза в установке, позволяет сделать вывод о наибольшей приемлемости способа перемешивания путем многоуровневого поршневого движения биомассы. Большинство авторов считают, что перемешиваемая биомасса в реакторе должна иметь ограниченную скорость (до 0.5 м/с), так как большая скорость движения перерабатываемой биомассы с микробиологической точки зрения невыгодна. Кроме того, она хотя и приводит к повышению интенсивности теплообмена, но одновременно увеличивает и затраты энергии на перемешивание. Убедиться в этом легко, проанализировав следующие известные уравнения теплоотдачи и гидравлических сопротивлений при турбулентном движении жидкости в трубном теплообменнике:

$$N_u = 0.021 R_e^{0.8} \times P_z^{0.43}, \quad (4)$$

$$\Delta P = \frac{\xi_{mp} \ell}{d} + \frac{\sum \xi_m \rho \omega^2}{2}, \quad (5)$$

где N_u – критерий Нуссельта; R_e – критерий Рейнольдса; P_z – критерий Прандтля; ΔP – гидравлическое сопротивление теплообменного аппарата на стороне данной рабочей среды; ω – скорость рабочей среды; ρ – плотность среды; ℓ – длина канала; d – диаметр канала; ξ – коэффициент трения; $\sum \xi_m$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений.

Из (1.2) и (1.3) находим

$$\alpha = A_1 \omega^{0.8},$$

$$\Delta P = A_2 \omega^{1.75}$$

где A_1 и A_2 – коэффициенты пропорциональности.

Из полученных соотношений видно, что повышение скорости потока в два раза обеспечивает рост теплоотдачи в 1.75 раза, а рост гидравлического сопротивления в этом случае – до 3.4 раза.

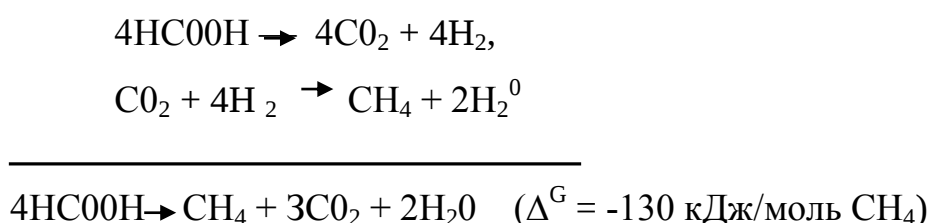
Сложный процесс распада высокомолекулярных соединений в анаэробных условиях осуществляют метанобразующие бактерии или метаногены, для которых нужны строжайший анаэробизм и температура извне.

Процесс анаэробного распада органического вещества протекает в три стадии (см. ранее): I стадия - ферментативный гидролиз, II стадия - кислотообразование, III стадия - метаногенез. В частности, для стадии метаногенеза характерны следующие реакции:

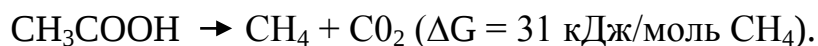
1. Взаимодействие водорода и углекислого газа. Некоторые бактерии используют эту смесь как единственную перерабатываемую биомассу роста:

$4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ($\Delta G = -139.2$ кДж/моль CH_4). При этом клетки используют одновременно газообразный водород и водород, входящий в состав молекул воды.

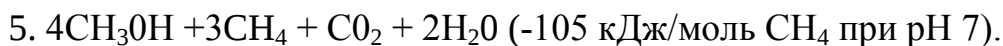
2. Реакция превращения формиата в метан и воду, протекающая по следующему механизму:



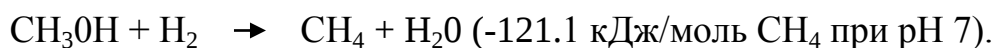
3. Более важной перерабатываемой биомассой для метаногенеза является ацетат, который образуется благодаря деятельности ацетогенных бактерий. Количество CH_4 , образующегося из ацетата (ацетогенная стадия) в метантенке, по которым данные составляют до 72% от общего количества ацетата,



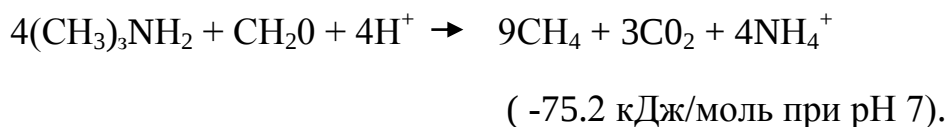
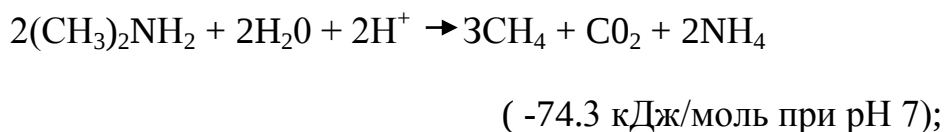
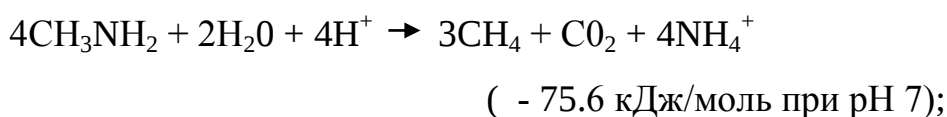
4. Метанол с образованием CH_4 участвует в реакции дисмутации, в ходе которой одна молекула, утилизируемая перерабатываемой биомассой, окисляется до муравьиной кислоты, другая восстанавливается до CH_4 и H_2 . Конечный процесс метанолиза описывается уравнением



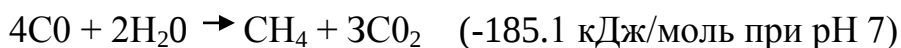
Никакие другие комбинации перерабатываемой биомассы этот организм не утилизирует. Реакция протекает следующим образом:



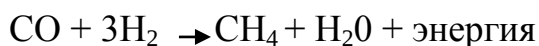
В последние годы выделено и описано несколько новых микроорганизмов, которые для своего роста используют следующие метиламины:



По данным некоторых авторов, ряд видов бактерий образует метан из окиси углерода:



или



В существующих БГУ процесс метанового сбраживания является энергоемким. На его поддержание расходуется значительная часть выделяемого биогаза, который может быть использован как товарный. Энергия при этом затрачивается:

- на измельчение и перекачивание биомассы (навоза);
- на подогрев вновь загружаемой биомассы и компенсацию

теплопотерь в окружающую среду с целью поддержания необходимой температуры биомассы в процессе ее сбраживания;

- на перемешивание биомассы.

Из анализа литературных источников следует, что расход энергии на измельчение и перекачивание биомассы, а также теплопотери через поверхность метантенка в окружающую среду, зависящие от применяемой теплоизоляции, составляют незначительную часть от общих затрат энергии (до 7%).

2.2. Сырьевая база

Как отмечалось, в настоящее время в мире остро стоит проблема поиска и утилизации альтернативных видов газового топлива. Это связано с сокращением добычи природного газа, нарастающим его дефицитом на мировом рынке и усложнившейся ситуацией получения топливных режимов не только для малой энергетики, но и, как выяснилось, для большой. Экономически этот путь становится оправданным, так как, по прогнозам аналитиков, рост тарифов на природный газ на внутреннем рынке неизбежен. В европейских и развитых странах мира уже давно осваивают технологии использования нетрадиционных энергоносителей.

Газообразное топливо обладает неоспоримыми следующими преимуществами перед другими видами топлива - углем, мазутом:

- имеет широкий предел воспламенения при небольшом избытке воздуха;
- не дает твердых осадков при сгорании, образуя продукты полного горения без копоти и дыма;
- характеризуется хорошими антидетонационными свойствами, создает идеальные условия смесеобразования;

- обеспечивает меньший износ ДВС в процессе работы, нежели жидкое горючее;
- удобно для транспортировки на большие расстояния;
- позволяет простейшими средствами осуществлять сжигание в установках различных конструкций и мощностей.

В отличие от минерального топлива газообразное не требует строгой классификации или спецификации. К категории «газообразное топливо» относятся все горючие газообразные смеси, пригодные для сжигания в двигателе внутреннего сгорания. Газообразное топливо, как правило, состоит из нескольких компонентов, разделяемых на два класса: основные газы и микроэлементы (примеси). Основные газы определяют процесс горения, температуру сгорания, линейную скорость распространения пламени, пределы воспламеняемости, устойчивость к детонации, задают характеристики газозвдушной смеси и ее теплотворность.

К основным газам относятся высшие углеводы: метан CH_4 , этан C_2H_6 , пропан C_3H_8 , бутан C_4H_{10} , оксид углерода (угарный газ) CO , водород H_2 , сероводород H_2S , аммиак NH_3 , кислород O_2 , летучие газы: азот N_2 , двуокись углерода (углекислый газ) CO_2 .

Примеси и микроэлементы попадают в топливо, как правило, при образовании газа. Концентрация их обычно очень мала. Поскольку воздействие примесей на эксплуатационные характеристики носит, в основном, негативный характер, желательно применять очищенное топливо.

В общем случае в природе существуют горючие газы. В зависимости от их образования и характеристики они подразделяются на три группы (рис.2.5).

В отличие от природных ископаемых биогаз является возобновляемым источником энергии, и использование его в качестве топлива для газовых двигателей ведет к экономии энергоресурсов.

Состав и основные параметры топливных газов (табл. 2.3) показывает, что их характеристики почти не отличаются.

Биогаз содержит около 60–70% метана, 30–35 % – углекислого газа, 2–3 % – азота, 1–2 % водорода и до 1% кислорода, при этом низшая теплота сгорания не превышает 20–22 МДж/м³ (6.5 кВт/м³), а метановое число составляет 110–120. Преимущество биогаза состоит в том, что он может быть произведен из местного сырья в каждом городе, в отдаленном поселке. Биогаз, как моторное топливо по сравнению с нефтяными моторными топливами имеет более высокую детонационную стойкость, низкую эмиссию вредных веществ и наименьший зольный балласт.

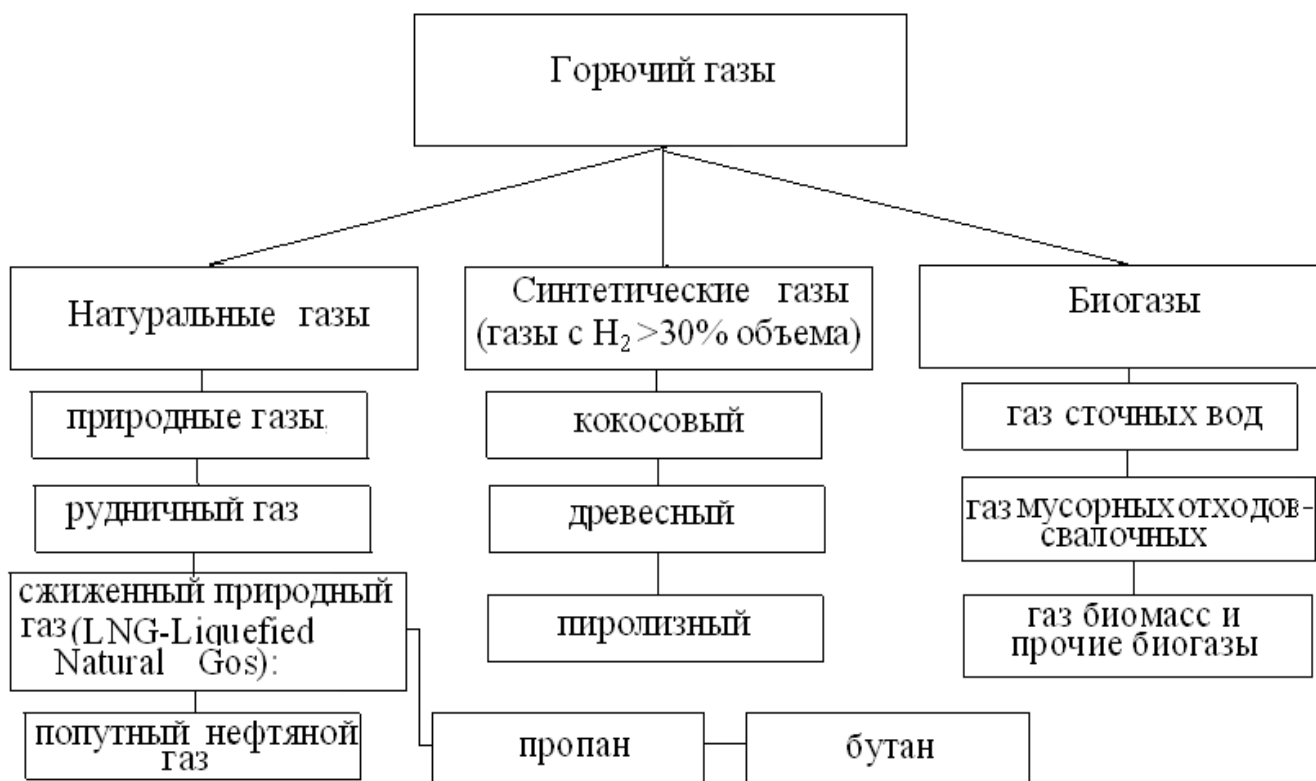


Рис.2.5. Группы горючих газов в зависимости от их образования и характеристики

Теплотворная способность (калорийность) Q_u – количество тепловой энергии, выделяемой при полном сгорании 1 кг топлива, за вычетом тепла, затраченного на испарение влаги, содержащейся в топливе, и влаги, образующейся от сгорания водорода. Данная характеристика напрямую связана с таким немаловажным показателем, как расход топлива.

Таблица 2.3

Состав и основные параметры топливных газов

Газ	Соста в	Объемное содержа- ние, %	Плотность, кг/м ³	Теплота сгорания, кВт·ч/м ³	Метанов ое число	Ламинарна я скорость, см/с
Водород	H	-	0.08988	2.995	0	302
Оксид углерода	-	-	1.2505	3.509	62	24
Метан	CH ₄		0.7175	9.968	100	41
Пропан	C ₃ H ₈	-	2.011	25.893	34	45
Бутан	C ₄ H ₁₀	-	2.708	34.392	10	48
Природ- ный	N ₂ CH ₄ C ₂ H ₆ C ₄ H ₁₀	5 88.5 4.7 1.6 0.2 100	0.7987845	10.134	80	41
Сточных вод	H N ₂ CO ₂ CH ₄	3 5 32 60 100	1.1283564	6.03278	130	27
Газ биомасс	CH ₄ CO ₂ N ₂ H ₂ O ₂	65 30 2.5 1.5 1 100	1.1283564	6.078	120	29
Пиролиз ный	CH ₄ H ₂ CO CO ₂ N ₂	5 30 35 25 5 100	1.06	2.06	71	70

Смесь двух компонентов основных газов в определенных пропорциях дает граничные значения горючести (воспламеняемости в ДВС) газа и его теплотворной способности. На рис.2.6 эти пределы указаны без учета содержания в газе кислорода и могут служить ориентиром для определения пригодности топлива для газовых двигателей.

Например, для биогаза обычное соотношение $\frac{CH_4}{CO_2} = \frac{60}{40}$ при $Q_u = 6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$, а предельное соотношение будет равно 40/60 с уменьшением Q до $4 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$.

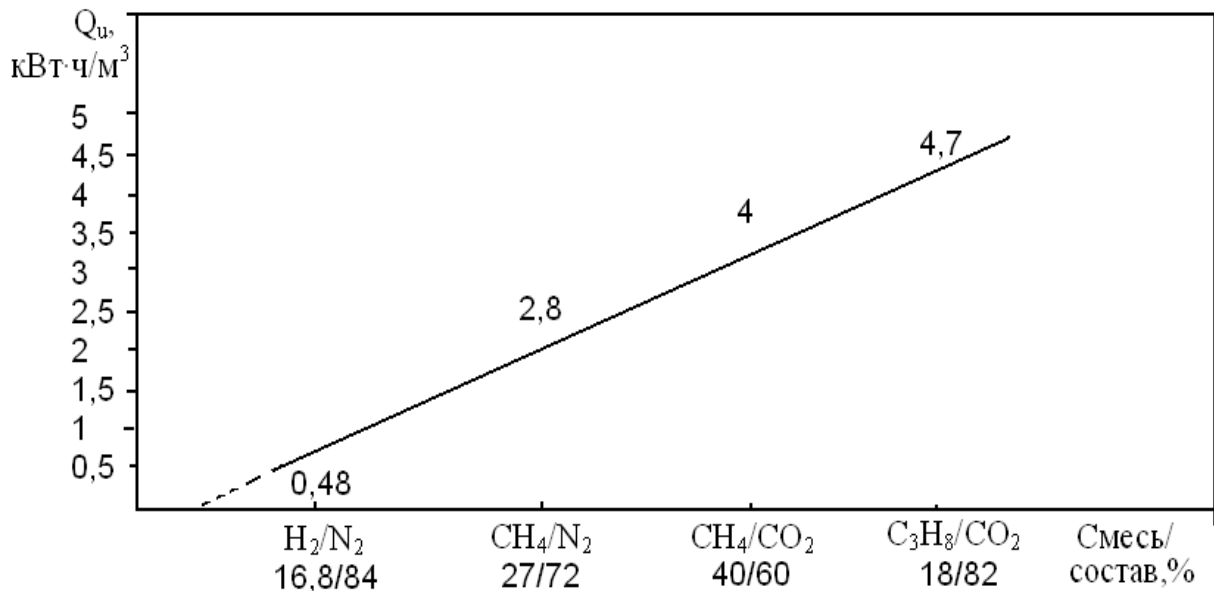


Рис.2.6. Теплотворная способность

Метановое число (МЧ) определяет антидетонационные свойства газа (рис.2.7). Оно сопоставимо с октановым числом бензина и указывает в процентном соотношении содержание метана в общем объеме метановодородной смеси, которая в тестируемом двигателе при заданных условиях показала бы одинаковую антидетонационную стойкость как испытуемый газ.

В газах с переменным или низким метановым числом возникает (вероятность появления детонации и в связи с этим опасность потления большой механической и тепловой нагрузки, способной вызвать разрушения.

Метановое число газовых смесей зависит от многих компонентов, при этом главными являются только четыре: метан, водород, высшие углеводороды и летучие газы.

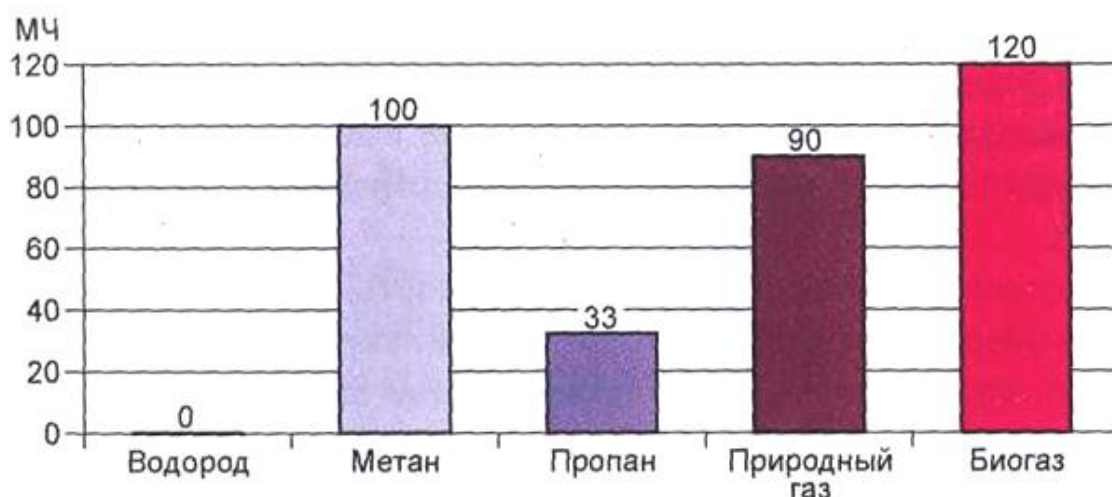


Рис.2.7. Метановое число

Теплота сгорания 1 м³ биогаза достигает 22 МДж (в топливе 6.1 кВт·ч), что эквивалентно сгоранию 0.6 л бензина, 0.85 л спирта, 1.75 кг дров или выработке 2 кВт·ч электроэнергии.

По расчетам специалистов из Германии и проблемной лаборатории ТИИМ Республики Узбекистан (табл.2.4), а также российских ученых, энергетический потенциал биогаза, полученного с 1 га силосной кукурузы, в 6.2 раза выше, чем биодизеля, полученного с 1 га посевов рапса, и в 3.6 раза – биоэтанола, полученного с 1 га посевов пшеницы.

Таблица 2.4

Энергетический (брутто) потенциал растений-поставщиков энергии

Возобновляемая энергия	Рапс	Пшеница	Силосная кукуруза
Энергоносители	Биодизель (RME)	Биоэтанол	Биогаз
Урожайность с 1 га,	1600 л	3200 л	19000 м ³
Выход энергии с 1 га, кВт.ч	14000	20000	105000
Соотношение затраты/выход	1:1,2	1:2,1	1:7,5

Как известно, источниками получения биогаза служат продукты метанового брожения, органических веществ растительного и животного происхождения. В биогазовой технологии используется процесс ферментизации – разложение органических материалов в результате

жизнедеятельности микроорганизмов (специфический природный биоценоз анаэробных бактерий различных физиологических групп). Основными продуктами этого процесса являются горючие газы (преимущественно метан, водород, моноокись углерода) и гумус. Для получения биометана биогаз очищают от CO_2 и влаги.

Технология отличается высокой рентабельностью, так как позволяет утилизировать стоки животноводческих ферм, сельскохозяйственные и бытовые отходы.

Главные преимущества биогаза – наличие местных источников сырья, снижение парникового эффекта и экологического ущерба от систем сбора органических отходов, обеспечение экологически замкнутой энергетической системы.

На эффективность работы биогазовой установки большое влияние оказывает предварительная подготовка исходной перерабатываемой биомассы. Чем меньше размеры частиц органических компонентов исходного сырья, тем больше их удельная поверхность и соответственно интенсивнее происходят процессы сбраживания. Так, измельчение перерабатываемой биомассы до частиц размером менее 1 мм повышает выход биогаза на 20% [10].

Интенсивность метанообразования в значительной мере зависит и от степени однородности исходной перерабатываемой биомассы [11]. Выход биогаза из навоза (помета), полученного от одной головы скота (птицы) в сутки, составляет (м^3): коровы – 1.5, бычка на откорме – 1.1, свиньи – 0.2, птицы – 0.012. Расчеты показывают, что в сельской местности производство биометана может считаться рентабельным при наличии 20 коров, 200 свиней или 3500 кур.

Одним из источников получения биогаза может быть птицеводство. Для определения выхода биогаза принимают, что в одном типовом птичнике содержатся 25 тыс. кур, дающих в день до 5 т помета, из которого (при нормальных условиях) выходит 5000 м^3 биогаза, т.е. из 1 т куриного помета

можно получить моторное топливо в количестве, эквивалентном 700 л бензина.

Не менее важным источником получения биогаза служит животноводство. Из 1 т сухого органического вещества навоза в результате анаэробного сбраживания при оптимальных условиях можно получить около 340 м³ биогаза, или в пересчете на одну голову крупного рогатого скота в сутки 2.5 м³, а в течение года – примерно 900 м³. Рассчитав энергетический эквивалент такого количества биогаза по отношению к бензину, можно прийти к выводу, что одна корова в год, кроме молока, «дает» более 600л бензина. Одновременно при сбраживании обеспечиваются дезодорация и дегельминтизация навоза, снижение всхожести семян сорных растений и перевод органического удобрения в минеральную форму. Для пересчета количества биогаза с птицеводческого комплекса на животноводческий можно пользоваться следующими условными единицами:

$$1 \text{ корова} = 4 \text{ свиньи} = 250 \text{ кур.}$$

Количество биогаза, выделяющегося в метантенке вместимостью 5000 м³, достаточно для работы генераторной установки мощностью около 200 кВт (табл.2.5).

Таблица 2.5

Количество биогаза, получаемого в метантенке вместимостью 5000 м³

Вид производителя сырья для метантенка	Количество голов	Выход экскрементов в сутки, кг	Количество сброженного навоза в сутки, т	Выход биогаза в сутки	
				ГДж	м ³
Птицы	350000	13400	112	95	4300
Свиньи	15200	8000	150	70	3100
Бычки	2530	9000	130	60	2700
Коровы	1640	9000	130	55	2400

Получение биогаза экономически оправдано и является предпочтительным при переработке постоянного потока отходов (стоков животноводческих ферм, скотобоен, растительных отходов и т.д.), когда не

требуются предварительный сбор отходов, организация и управление их подачей, при этом точно известно, сколько и когда будет получено отходов.

Получение биогаза возможно в установках разных размеров, но особенно эффективно в агропромышленных комплексах, в которых осуществляется полный экологический цикл. Биогаз используют для освещения, отопления, приготовления пищи, приведения в действие механизмов, транспорта, электрогенераторов (рис.2.8).

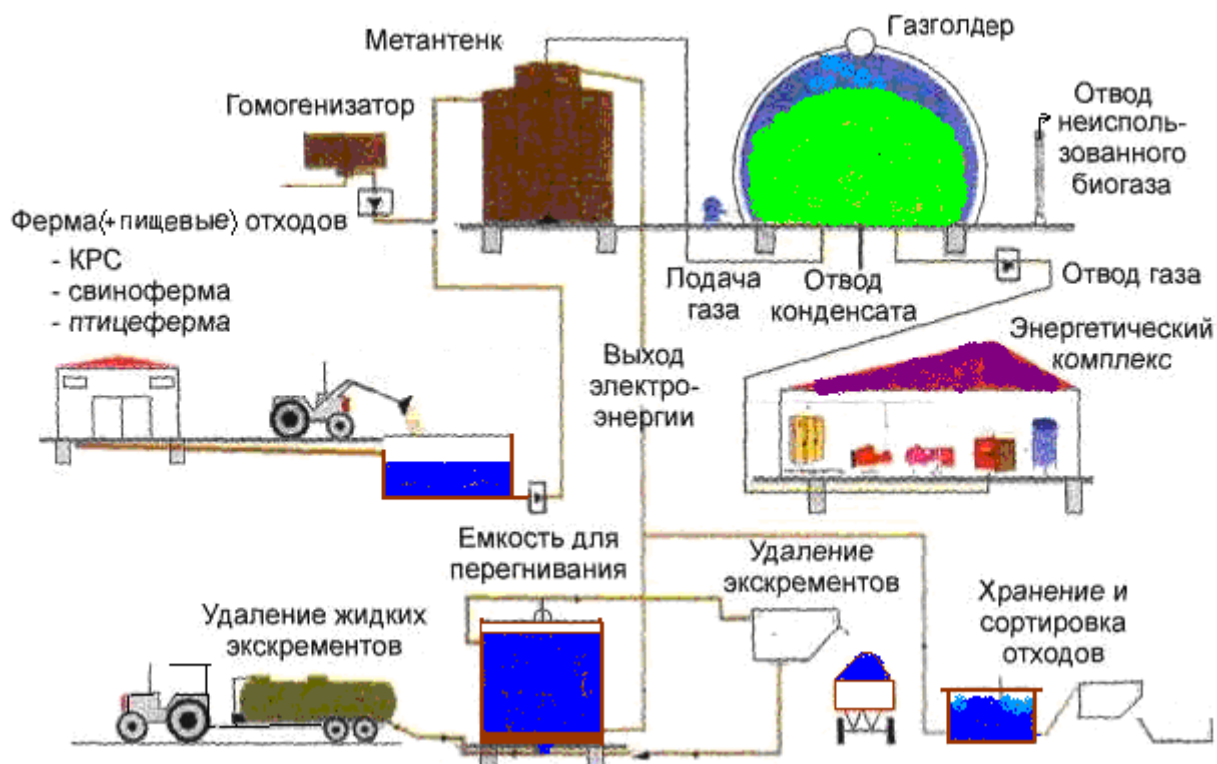


Рис. 2.8. Получения и использования биогаза

Эффективность биогазовых установок, в основном, зависит от количества произведенного биогаза. Исследования показали, что выход биогаза зависит от состава перерабатываемой биомассы для сбраживания (иногда в еду животных попадает большое количество антибиотиков). Стратегические направления развития энергетики предусматривают широкое использование нетрадиционных источников энергии, в том числе и органической биомассы. Расчеты показывают, что при переработке жидких животноводческих стоков на биологический газ можно получать в несколько раз больше энергии, чем производят существующие электростанции мира.

Многие отрасли промышленности (пищевая, целлюлозобумажная, микробиологическая, химическая, фармацевтическая и др.), городские канализации и животноводческие фермы являются масштабными производителями концентрированных по органическим загрязнениям сточных вод и жидких органических отходов. Эти сточные воды и жидкие органические отходы являются громадным ресурсом воды, микроэлементов и биогумуса, а также энергии.

С проблемой утилизации перечисленных отходов тесно смыкается другая, более обостряющаяся – охрана окружающей среды, которая также требует интенсивной и рациональной переработки отходов животноводства.

Биотехнология предусматривает любые превращения перерабатываемой биомассы в кормовой продукт и обратно. Целесообразность осуществления таких процессов определяют, главным образом, санитарно-эпидемиологические и в меньшей мере – технические факторы.

Современное животноводство, в основном, использует естественные природные корма. Состав и свойства экскрементов зависят от состава кормов в рационе кормления животных и его перевариваемости. Различные корма содержат различные количества белка, углеводов и жиров с различной перевариваемостью, а также антибиотики и дезинфицирующие вещества. Как известно, с увеличением численности животных в процессе их содержания увеличивается вероятность появления различных болезней. Против этих болезней, с целью дезинфекции, применяются различные антибиотики и дезинфицирующие препараты. Эти препараты при дальнейшей обработке попадают в отходы животноводческих помещений и при переработке их для получения биологического газа являются сильным ингибитором для метанообразующих бактерий.

Наши исследования выявили 28 видов таких антибиотиков. При определении на метанообразующие бактерии свиного навоза Кореи часть опытов дала отрицательные результаты.

Для выявления микробиологического состава свиного навоза Кореи нами проведены следующие лабораторные исследования, для чего подготовили ламинар-бокс, лабораторные посуду и питательную среду для метанообразующих бактерий, колбы, пробирки, мерные колбы, чашки Петри, химические реагенты и микроэлементы, а также витамины и агаровую среду.

По общеизвестной методике посев проводили в стерильной посуде. Посевную посуду держали 10–14 дней в термостате при 45⁰С и следили за ростом и образованием пузырьков. Но через 7–10 дней культивирования на 0.5 %-ной агаровой питательной среде не были обнаружены колонии микроорганизмов и по истечении 2-х недель 0.5 %-ная агаровая питательная среда оставалась прозрачной (рис. 2.9) и без микрофлоры. Все это дало основание полагать, что данный навоз взят после дезинфекции помещений или в его составе было много антибиотиков. Далее мы исследовали новую партию свежего навоза из штата Пхеджу, повторно изучив микрофлору навоза (2-я партия навоза) на наличие метаногенных бактерий. На 5-й день пересева навоза на 0.5 %-ной агаровой питательной среде метаногенов с добавлением микроэлементов и витаминов на дне 0.5 литровой стеклянной посуды появились колонии анаэробных бактерий (рис. 2.10). Так как колонии данных микроорганизмов находились на самом дне стерильной питательной среды стеклянной посуды, можно судить



**Рис.2.9. 5 %-ная
агаровая
питательная
среда по
истечении 2-х
недель
культивирован
ия**

о наличии именно анаэробных микроорганизмов. Следует отметить, что через 6–7 суток культивирования в полужидкой, агаровой, питательной среде для метаногенов обнаружены газовые пузырьки.

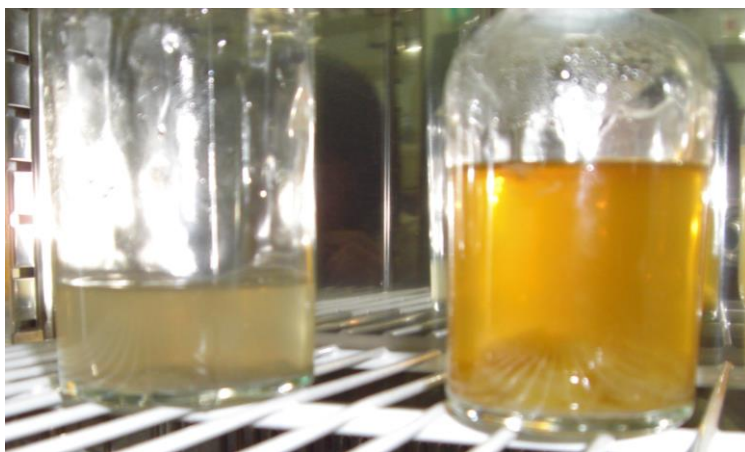


Рис. 2.10. Появление колоний анаэробных бактерий на 0.5 %-ной агаровой питательной среде на 5-й день пересева навоза

Возможно, на 2-й партии навоза было меньше дезинфицирующих веществ и антибиотиков.

На 10-е сутки культивирования дно стеклянной посуды со стерильной питательной средой было сплошь

покрыто светлыми колониями бактерий с пузырьками. Таким образом, нами выделены с 14 июля по 10 августа 2008 г. колония метаногенных микроорганизмов из свиного навоза Кореи, а также микроорганизмы из мочи (свиньи). Так как количество метаногенных бактерий в составе свиного навоза Кореи значительно меньше, чем, например, в составе коровьего это требует дополнительного труда для уменьшения количества дезинфицирующих веществ, что в климатических условиях Кореи нецелесообразно. Необходимо очень долго и тщательно заниматься выделением чистых культур метаногенов.

Таким образом, нами предложена новая установка для обработки свиного навоза, имеющего в своем составе такие антибиотики и дезинфицирующие вещества, которые имеются в Корее. Получены положительные результаты по выходу биогаза и отработанных органических удобрений.

Установка состоит из биореактора (рис. 2.11), вакуумных перемешивающих устройств, системы обеспечения теплового режима брожения, а также автоматического управления загрузки и выгрузки установки вновь загружаемым навозом. На установке также смонтирован рекуператор тепловых отходов переработанного навоза.

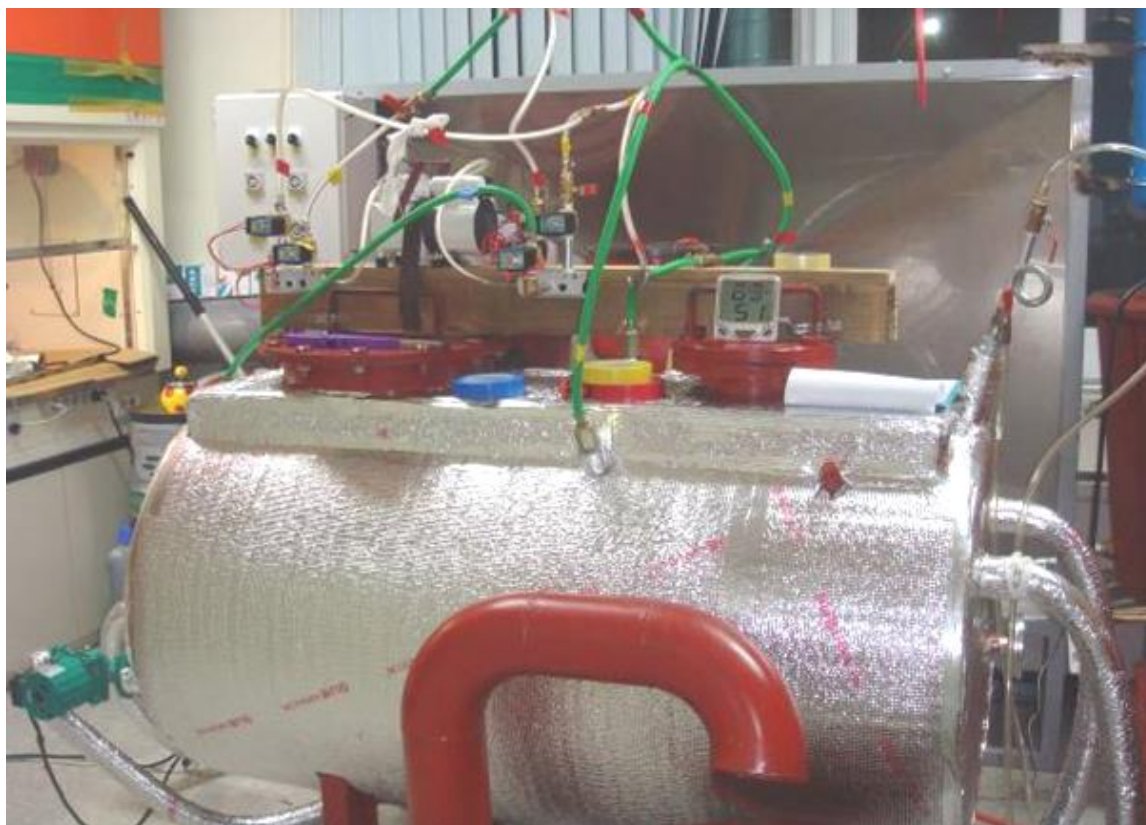


Рис.2.11.Биогазовая установка с рекуператором тепловых отходов

Установка позволит сократить дополнительные расходы и затраты времени на обработку биомассы [12]. При анаэробной обработке органических отходов перед загрузкой биореактор предварительной подготовки, соблюдения его оптимальных параметров и режимов процесса анаэробного сбраживания дает возможность выхода биологического газа больше, чем без подготовки его. В табл. 2.6 приведен выход биогаза, получаемого при анаэробной переработке различных биопродуктов

Таблица 2.6

**Выход биогаза, получаемого при анаэробной переработке
различных биопродуктов**

Вид исходной перерабатываемой биомассы	Содержание сухого органического вещества, %	Выход биогаза, м ³ /т
1	2	3
Свиной навоз	6	25
Птичий помет (твердый)	22	76

Навоз КРС	8	22
Луговая трава	18	95
Солома пшеничная	86	280
Солома ячменная	86	300
Силос кукурузный	35	208

Подсчитано, что годовая потребность в биогазе для обогрева жилого дома составляет в зависимости от климатических зон около 35–40 м³ на 1 м² жилой площади, суточное потребление при подогреве воды для 100 голов крупного рогатого скота – 5–6 м³. Потребление биогаза при сушке 1 т сена влажностью 0% равно 100 м³, 1 т зерна – 15, для получения 1 кВт·ч электроэнергии – 0.7–0.8 м³.

По оценкам специалистов отраслевого объединения «Биогаз» Россия, в настоящее время в 80% действующих установок вместе с другими исходными продуктами используется кукуруза (силос).

В мире много данных товаров прямого потребления для производства биогаза. На наш взгляд, это недопустимо, так как использование продуктов первой необходимости для получения биогаза приводит к повышению стоимости продуктов потребления. Между тем в настоящее время на земле накапливается огромное количество биомассы, которая требует необходимой переработки. Зарубежные специалисты одним из перспективных методов повышения эффективности биогазовых установок считают анаэробное сбраживание перерабатываемой биомассы, представляющей собой смесь навоза сельскохозяйственных животных и коферментов. В качестве последних предлагается использовать кукурузную, зерностержневую смесь, силос, отходы растениеводства или пищепереработки, получаемые в хозяйстве: остатки кормов, солому, зеленую массу с газонов, мельничную пыль, содержимое рубцов животных и др.

Для практической реализации анаэробного сбраживания перерабатываемой биомассы с коферментами немецкими специалистами

созданы «компактные» биогазовые установки, которые в зависимости от исходных компонентов перерабатываемой биомассы бывают следующих типов:

Gastro - анаэробная обработка навозной массы и пищевых отходов, которые требуют предварительной санитарной обработки;

Norm - анаэробная обработка навоза, отходов мукомольного и комбикормового производства (мельничная пыль), пищевой промышленности, травянистой массы после стрижки газонов;

Regio - анаэробная обработка навоза и зеленой массы.

На Международной выставке сельскохозяйственной техники «Агротехника – 2007», состоявшейся в Ганновере (Германия) с 13 по 17 ноября 2007 г., отмечалось, что многие биогазовые установки эксплуатируются без использования навозной жижи. Из-за большого энергопотребления с единицы площади кукуруза в настоящее время, наиболее часто используется возобновляемое растительное сырье для биогазовых установок. Наряду с этим, проводятся испытания новых «энергетических» растений, например, суданской травы, проса или сахарной свеклы (табл.2.7).

Таблица 2.7

**Сахарная свекла для производства биогаза - выход метана с 1 га
посевных площадей**

Сорт	Выход биомассы свеклы	Специальный выход метана	Выход метана с 1га
	т/сухой массы,га	М ³ на т/св	М ³
“Кьяра»-стебли, листья	4.4	359	1579
“Кьяра»-корнеплоды	18.3	445	8143
Всего	22.7	-	9722

Примечание: Источник: В. Хаук, объединение австрийских производителей свеклы(VOR).

Следует различать биогазовые установки, работающие только на возобновляемом растительном сырье, и коферментационные установки, использующие органические остатки и отходы. В Германии ныне оплачивается платится бонус, если биогазовая установка использует только возобновляемое растительное сырье в технологии сухой ферментации. В других странах, где нет такого правила, предприниматели часто интересуются коферментационными установками, сочетающих утилизацию отходов и получение энергии.

Ряд коферментационных установок тоже используют навозную жижу, как дополнительную перерабатываемую биомассу. К установкам, не использующим навозную жижу, в ряде фирм относятся критически, так как она содержит важные микроэлементы, без которых брожение протекает нестабильно. Микроэлементы, конечно, могут примешиваться в виде добавок, но это ведет к дополнительным затратам. В будущем, как считают некоторые фирмы, возможно строительство универсальных биогазовых установок, в которые можно будет загружать различные исходные материалы.

В процессе анаэробного брожения значительно улучшаются свойства навоза, как удобрения за счет минерализации азота. При традиционном компостировании навоза потери азота составляют до 30–70%. По сравнению с обычным компостированием анаэробная переработка увеличивает содержание в навозе аммонийного азота в 4 раза, от 20 до 40% содержащегося в навозе азота переходит в аммонийную форму. Содержание усваиваемого растениями фосфора удваивается и составляет до 50% от его общего количества. Сброженный навоз позволяет повысить урожайность на 10–60% по сравнению с использованием обычного навоза.

Кроме вышеуказанных источников получения биогаза имеются ещё и твердобытовые отходы (ТБО). Во всем мире остро стоит проблема нейтрализации или утилизации бытового мусора. Удельный годовой выход

ТБО на одного жителя современного города составляет от 200 до 720 кг. В развитых странах этот показатель ежегодно возрастает на 4–5%.

В настоящее время в Узбекистане мусор, в основном, вывозят на специально отведенные полигоны и свалки. На территории в отвалах и хранилищах накоплено около 20 млрд т твердых отходов, причем из них токсичных более 0.2 млрд т. Только под свалки и полигоны ТБО ежегодно официально отводится около 0.1 тыс. га земель (рис. 2.12). К сожалению, в республике до сих пор нет заводов, работающих на ТБО.



Рис. 2.12. ТБО за городом в Сеуле

Полного перехода от нейтрализации к утилизации ТБО сжиганием в мировой практике не произошло. В связи со сложностью выполнения природоохранных требований в последние годы прекращают свою деятельность многие мусоросжигательные заводы. Закрыт ряд заводов в США, в 1984 г. закрылись заводы в Японии (Камаки) и Финляндии (Хельсинки).

В мировой практике существует еще один способ утилизации твердых отходов – биотехнологический, представляющий собой компостирование мусора. Суть его заключается в биохимическом процессе разложения органической части ТБО микроорганизмами. Для

компостирования, т.е. биотермической переработки легкогниющих веществ в органическое гумусообразное удобрение, необходимы три составляющие:

- сырье;
- аэробные микробы ;
- время.

Аэробная обработка в течение двухсуточного нахождения мусора во вращающемся барабане (использована конструкция цементной печи) приводит к разогреву за счет окисления, разложению высокомолекулярных органических соединений, распаду органических веществ на простые составляющие. Продукт переработки используют как компост для удобрения почвы.

Более широко во всем мире распространено полигонное захоронение твердых отходов. Основные достоинства технологии захоронения – простота, сравнительно малые капитальные и эксплуатационные затраты и относительная безопасность. При разложении бытовых отходов выделяется биогаз, содержащий до 60% метана, что позволяет использовать его в качестве местного топлива. В среднем при разложении 1 т ТБО может образовываться 100–200 м³ биогаза. В зависимости от содержания метана низшая теплота сгорания свалочного биогаза составляет 18–24 МДж/м³ (примерно 1/2 теплотворной способности природного газа).

Сопоставление разных вариантов утилизации ТБО показывает, что наиболее бурно развивается и имеет минимальное количество ограничений по экологическим и другим условиям технология получения биогаза на полигонах ТБО. Технология предусматривает сепарацию ТБО с извлечением ценных компонентов (черные и цветные металлы и др.), последующее прессование уменьшает объем свалки, позволяет механизировать укладку слоев мусора и облегчает получение биогаза. По технологической схеме предусмотрено бурение скважин на территории полигона, из которых вакуум насосы водокольцевого типа обеспечивают откачивание биогаза. После отделения воды газ поступает в газодувки и по опорному газопроводу

подается в котельную на сжигание. Из 5 млн м³ ТБО получают 20 млн м³ газа, который эквивалентен 70-80 Гкал тепловой энергии в год.

Конечным продуктом после их деструкции являются минерализованные вещества, остающиеся в толще трансформированной массы. В настоящее время за рубежом уже подводятся итоги десятилетнего опыта использования биогаза по такой технологии.

2.3. Установка, технология и производство биогаза

Применяемые установки метанового сбраживания в зависимости от поставленных задач и вида отходов можно разделить на два типа:

1 - метантенки для обработки концентрированных органических отходов, как правило, сельскохозяйственных (навоз, растительные остатки и т.п.) с начальной концентрацией по органическому веществу (ОВ) до 10% и значительным количеством трудно конвертируемых примесей (целлюлоза, лигнин и др.) [46,51,98];

2 - метантенки для обработки разбавленных жидких отходов пищевой, микробиологической и других отраслей промышленности, в которых достигается высокая степень очистки этих отходов (до 95%) при небольшом времени технологических выдержек [11,15,71].

Метантенки первого типа, в основном, используются в сельском хозяйстве, где большее значение имеют начальные капитальные вложения и нет необходимости в достижении высокой степени конверсии органических веществ этих отходов, так как после анаэробной конверсии они могут применяться в виде обеззараженных органических удобрений. Как правило, эти метантенки работают в мезофильном режиме, а получаемый газ не очищается от примесей и используется для бытовых нужд либо как топливо для газогенераторов.

Метантенки второго типа характеризуются более высокими капитальными и текущими затратами, но одновременно и увеличивающимся при этом удельным выходом биогаза (до 4–5 м³/(м³ метантенка в сутки)). При больших временах удержания при помощи этих метантенков обеспечивается решение как энергетических, так и экологических проблем.

Биогазовые установки (БГУ) первого типа можно разделить на традиционные и современные установки промышленного типа.

Традиционные метантенки. Такой метантенк, как правило, состоит из одной герметичной емкости, заполняемой обрабатываемыми отходами. Режим работы реактора может быть как периодическим, так и полунепрерывным. Схематическое изображение такого типа метантенка представлено на рис.2.13 [103,105].

Основным недостатком традиционных метантенков является их низкая эффективность. Степень конверсии ОВ отходов не превышает 40%, а выход биогаза – 0.3–1.3 м³/(м³ метантенка) в сутки. Причем требуется длительная выдержка отходов в реакторе (не менее 10 суток) [15].

Наиболее распространенная схема китайской БГУ представлена на рис. 2.14. На данной установке бродильная камера и газгольдер, располагающиеся под землей, связаны между собой.

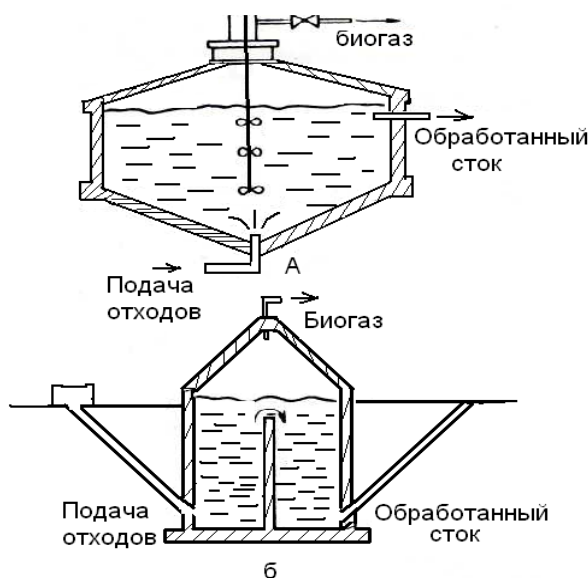


Рис. 2.13. Схематическое изображение метантенков традиционного типа:
***а* – с перемешиванием; *б* – двухсекционный с частичным разделением**
стадий

На этих установках отсутствуют подогрев и перемешивание, вследствие чего процесс протекает стихийно, практически без контроля и поддержания параметров режима. По такому же принципу действует большое число установок в Индии и Корее.

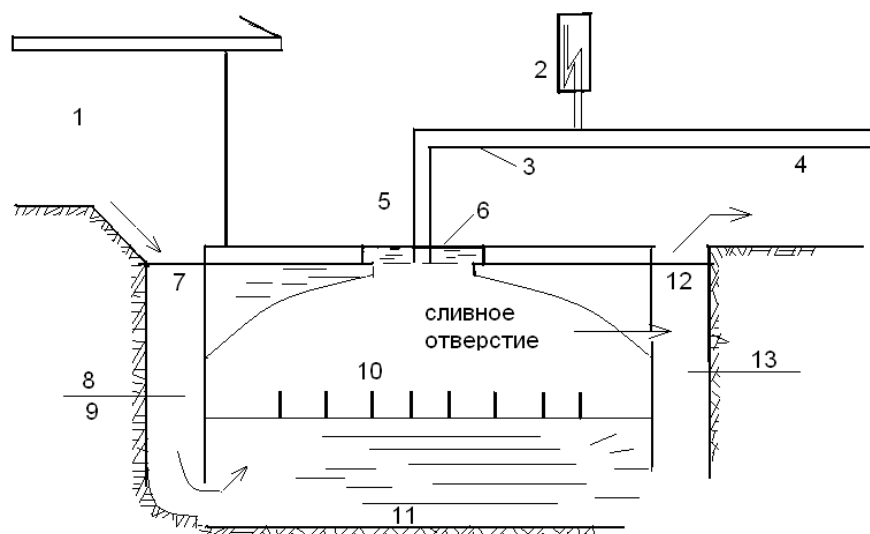


Рис. 2.14. Китайская БГУ: 1 – коровник; 2 – манометр; 3 – газ к потребителю; 4 – шлам; 5 – отбор сброженной массы; 6 – газопровод; 7 – водяная пробка; 8 – отбор газа; 9 – газосборник; 10 – бродильная камера; 11,12 – навоз, и бытовые отходы; 13 – загрузочная горловина

Один из усовершенствованных вариантов установки системы "Дармштадт" (ФРГ), который успешно функционирует с 1962 года, показан на рис. 2.15. В бродильной камере установки расположена специальная механическая мешалка со спицами, приводимая в действие электродвигателем. В процессе сбраживания поддерживается заданная температура путем введения пара. Температура сбраживания 30°C, экспозиция сбраживания – 20 суток. Подземное расположение бродильной камеры ухудшает теплотехнические показатели процесса ввиду невозможности использования современных теплоизоляционных материалов и сложности гидроизоляции установки.

Кроме того, используемый способ перемешивания не исключает образования застойных зон, так как образование биогаза осуществляется по всей длине камеры сбраживания.

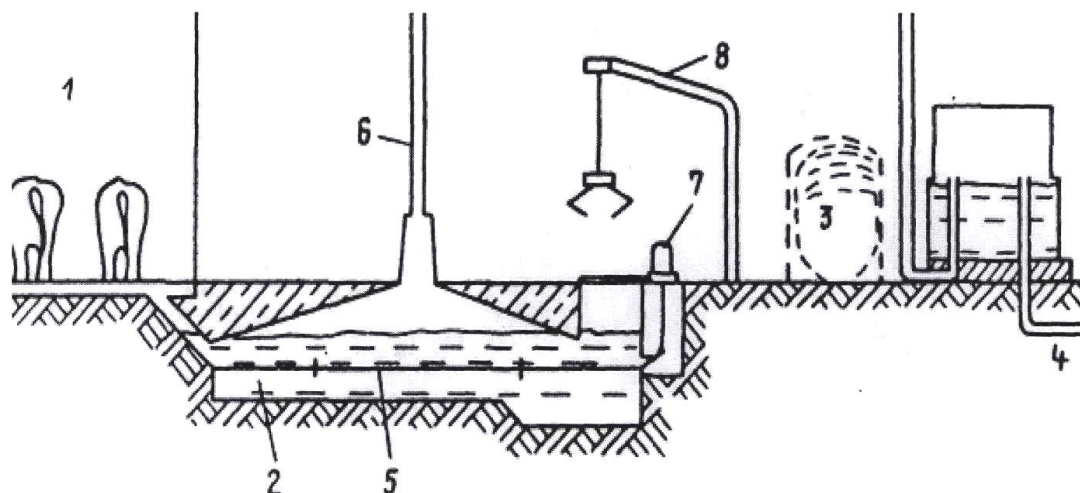


Рис. 2.15. Усовершенствованный вариант БГУ системы "Дармштадт" (ФРГ): 1 – животноводческое помещение; 2 – реактор; 3 – механическая мешалка; 4 – газопровод; 5 – грейфер для загрузки сброженного навоза; 6 – электропривод мешалки; 7 – хранилище для сброженного навоза; 8 – газопровод

Некоторые французские БГУ (рис. 2.16) работают по методу Дюшелье – Исмана, заключающегося в том, что перед метановым сбраживанием перерабатываемой биомассы происходит анаэробное окисление. Температура сбраживания 20-25°C. После загрузки навоза в реактор выработка газа происходит в течение трех месяцев, после чего цикл повторяется. Интенсивность газовыделения с одного м³ камеры составляет 0.3–0.7 м³ в сутки. Эксплуатация этих установок связана со значительными затратами труда на загрузку трехмесячного запаса сырья и выгрузку переработанной массы [15].

БГУ системы Шмитда – Эгерглюса, работающая по проточному способу загрузки и выгрузки перерабатываемой биомассы, представлена на

рис. 2.17. В камере сбраживания автоматически поддерживается постоянная температура (35°C) и осуществляется перемешивание.

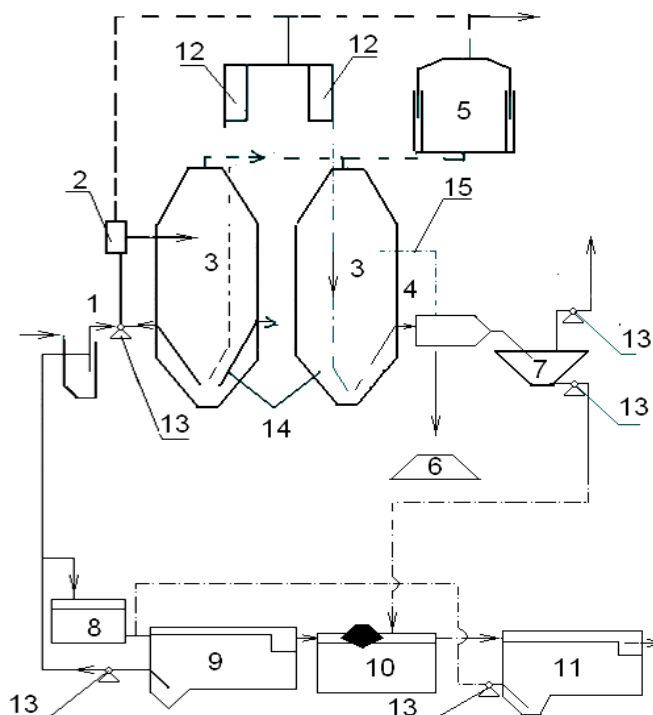


Рис. 2.16. Усовершенствованный вариант системы Шмидта – Эгерглюса (Чехия): 1 – навозоприемник с насосом; 2 – газовый подогреватель; 3 – газовые компрессоры; 4 – газгольдер низкого давления; 5 – насосы; 6 – промежуточная емкость; 7 – твердая фракция сброженного навоза; 8 – центрифуга; 9 – трубопровод отбора жидкой фракции из «бродильной емкости»; 10 – емкости для анаэробной переработки навоза; 11 – барбатеры; 12 – накопительная емкость; 13 – активатор; 14 – отстойник; 15 – отделитель грубых включений

Нагрев массы происходит в специальном устройстве, снабженном газовой горелкой, а перемешивание – путем продувки биогаза по трубопроводу через сбраживаемую массу компрессором. Выход биогаза составляет $1\text{--}1.2 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \text{ метантенка})$ в сутки [15]. Однако возникает опасность флотации и интенсивного коркообразования в верхней части метантенка. Кроме того, избыточное содержание биогаза в сбраживаемом навозе оказывает ингибирующее влияние на метанобразующие бактерии, приводит

к увеличению объема сбраживаемого навоза и, следовательно, к снижению КПД использования метантенка.

Таким образом, в традиционных метантенках осуществляется в основном мезофильный процесс при 50–35°C, а термофильный процесс при 52–55°C, апробируется на макетных установках во многих лабораториях мира с целью создания оборудования, позволяющего интенсифицировать процесс анаэробного сбраживания отходов.

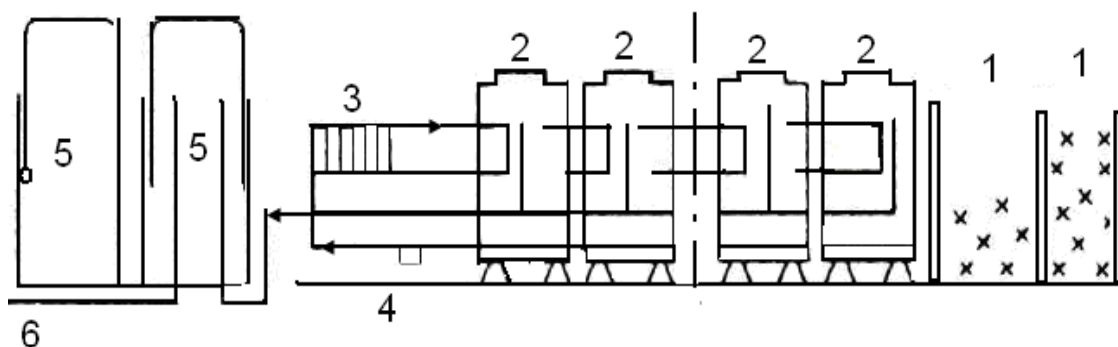


Рис. 2.16. Система Дюшелье – Исмана. (Франция): 1 – емкости для анаэробной обработки, навоза; 2 – наземные реакторы, 3 – защищенные теплоизоляционным материалом теплообменники; 4 – насос для перекачки навоза; 5 – газгольдеры низкого давления; 6 – газ потребителю

Результаты анализа возможностей рассмотренных установок показывают, что они не обеспечивают надежные способы перемешивания и в них практически отсутствует непрерывный контроль биохимических показателей процесса подготовки сбраживаемого навоза, что приводит к нарушениям технологического режима, а порой и к полному его срыву. Кроме того, в традиционных БГУ не предусмотрена система утилизации сбросной теплоты, что приводит к увеличению энергетических затрат на поддержание необходимого температурного режима в них. При этом отсутствует автоматизация технологического процесса, что обуславливает невысокий выход биогаза – 0,3–1,3 м³/(м³ свежего навоза) в сутки, а экспозиция сбраживания может достигать 120 суток и более. Это

неоправданно увеличивает объемы метантенков и капитальные затраты на их строительство.

Современные БГУ промышленного типа. На современном этапе развития биотехнологии все более важное значение приобретает интенсификация процесса сбраживания и сокращение за счет этого его экспозиции, капитальных и эксплуатационных затрат. На установке, разработанной фирмой "Биосистемы" (Швеция), достигнутое время технологической выдержки составляет 11–12 суток при удельном выходе биогаза $1.8 \text{ м}^3 \text{ CH}_4/(\text{м}^3 \text{ метантенка})$ в сутки. Процесс ускоряется за счет введения предобработки сбраживаемой массы в выдерживателе, объем которого равен $1/5$ от объема метантенка (рис.2.18).

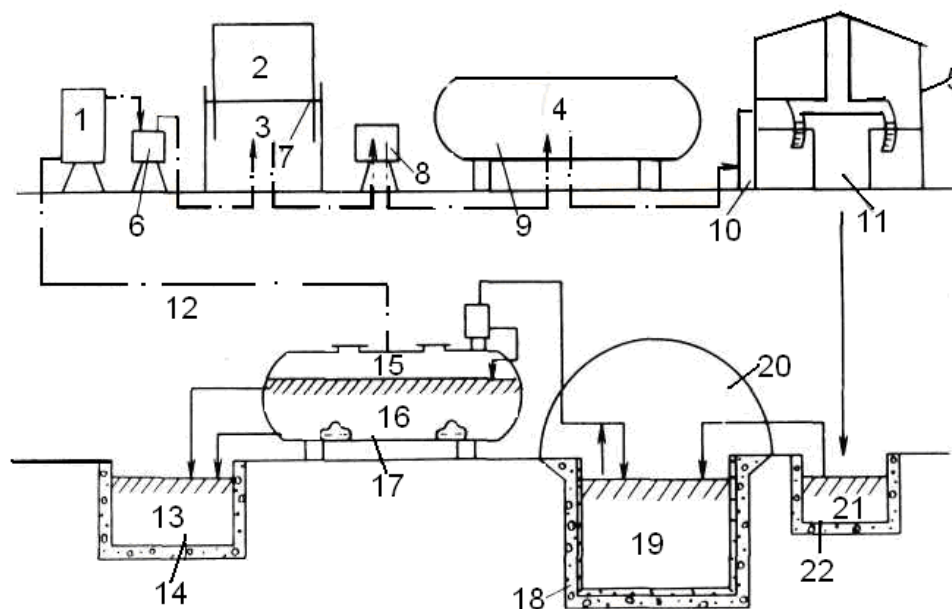


Рис.2.18. БГУ экспериментального животноводческого хозяйства в префектуре Хиросима (Япония) с реактором, выполненным по схеме фирмы "Биосистемы" (Швеция): 1 – нормализатор биогаза; 2,3 – газгольдер (5 м^3); 4 – биогазовая магистраль; 5 – свиноферма; 6,8 – газовый компрессор; 7 – газовый колпак; 9 – газоприемник (30 м^3); 10 – аэрокондиционерные установки, работающие на биогазе; 11 – система навозоудаления; 12 – газопровод; 13 – шлам; 14 – хранилище шлама; 15 – газовая полость метантенка; 16 – метантенк; 17 – метантенк с

погружными насосами; 18,19 – промежуточная емкость; 20 –
 перекрытие; 21, 22 – приемная емкость

Установка фирмы "Энбом" (Финляндия), имеющая близкие к "Биосистемам" характеристики и тип метантенка, не содержит выдерживателя, а многостадийность и связанная с этим интенсификация процесса обеспечиваются за счет секционной конструкции метантенка, создаваемой поперечными перегородками (рис.2.19).

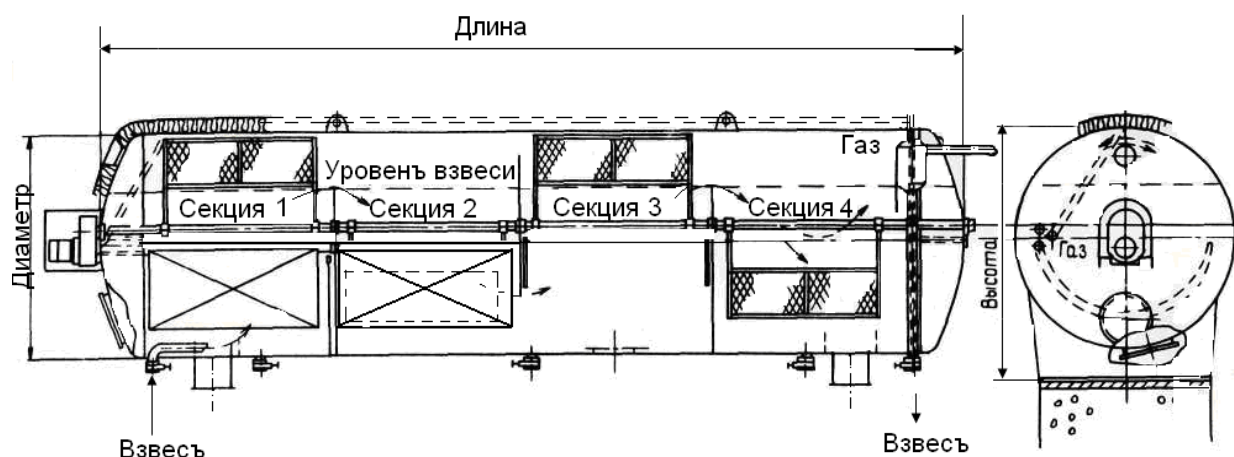


Рис. 2.19. Установка фирмы "Энбом" (Финляндия)

Между тем применение горизонтальных метантенков ограничено по диаметру транспортными габаритами, а также большой длиной механических мешалок, расположенных вдоль оси [15].

Установка, разработанная фирмой "Клаухан" (Дания) представляет собой гибрид традиционного метантенка и анаэробного фильтра (рис.2.20).

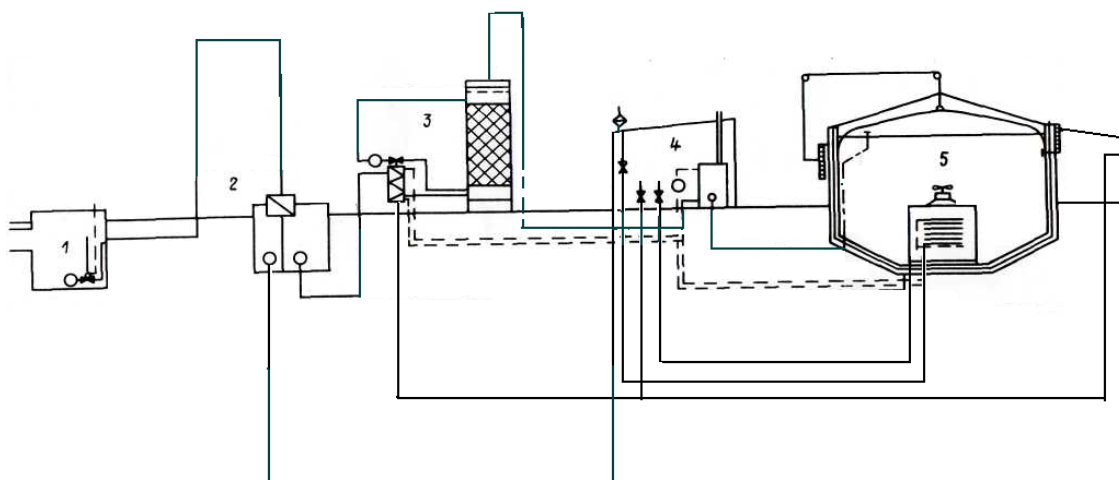


Рис.2.20. Установка фирмы "Клаухан" (Дания): 1 – навозосборник; 2 – блок разделения на жидкую и твердую фракции; 3 – анаэробный фильтр; 4 – энергетический блок; 5 – метантенк

Оцесь жидкая фракция сбраживается в анаэробном фильтре при значительном сокращении времени технологической выдержки до 1.5 суток. Однако данная установка сложна по конструкции, а интенсивность газовыделения сравнительно невысока – $1.5 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \text{ свежего навоза})$ в сутки.

БГУ, разработанная РосНИИКОМжем совместно с Запорожским КТИСМ и имеющая рабочий объем 10 м^3 , установлена в хозяйстве "Рассвет" Запорожской области (рис.2.21). В ней предусмотрено измельчение исходной биомассы и помещение ее в выдерживатель - подогреватель при температуре 40°C . Перемешивание в метантенке – возвратно-поступательное, при разряжении от 500 до 800 мм в.ст. На этой установке впервые достигнуто минимальное время технологической выдержки сбраживания, составившее трое суток, и получен выход биогаза около $4.5 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \text{ метантенка})$ в сутки.

Данная установка также не имеет рекуператора - утилизатора сбросной теплоты, вследствие чего потенциальные возможности интенсификации процесса используются не полностью.

Метантенки второго типа в свою очередь можно разделить на метантенки без фиксации биомассы и с приклепленной (фиксированной) биомассой.

Взвешенные частицы необработанных отходов, вступая в контакт с активной анаэробной биомассой, подвергаются биодеструкции, конечным продуктом которой является биогаз. Удержание биомассы в метантенках с фиксированной биомассой достигается при помощи седиментационного резервуара, в котором выходящая из реактора жидкость отстаивается, а осевшая биомасса вновь подается в метантенки (рис.2.22).

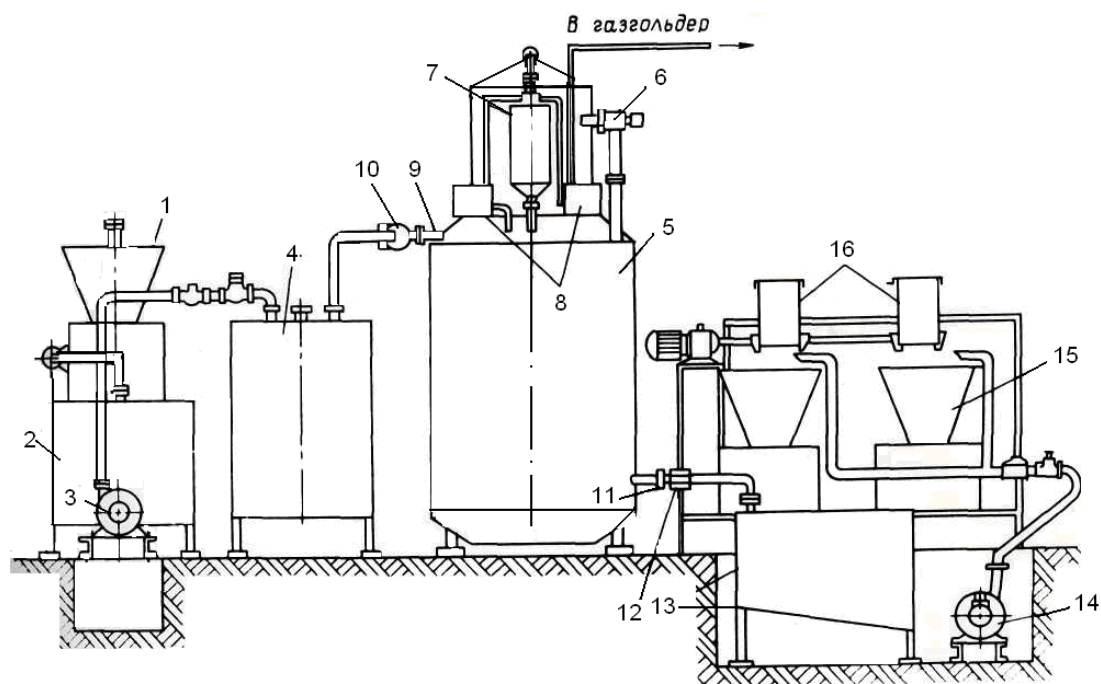


Рис.21. Принципиальная схема БГУ в совхозе, "Рассвет" Запорожской области: 1,12 – фекальный насос; 2 – промежуточная емкость; 3 – измельчитель-нагреватель; 4 – выдерживатель; 5,14 – управляемый клапан; 6 – питающий патрубок; 7 – пеносборник; 8 – газовый клапан; 9 – метантенк; 10 – дозатор; 11 – двухроторный смеситель; 13 – промежуточная емкость для сброженного навоза; 15 – отборный патрубок; 16 – вакуумный насос

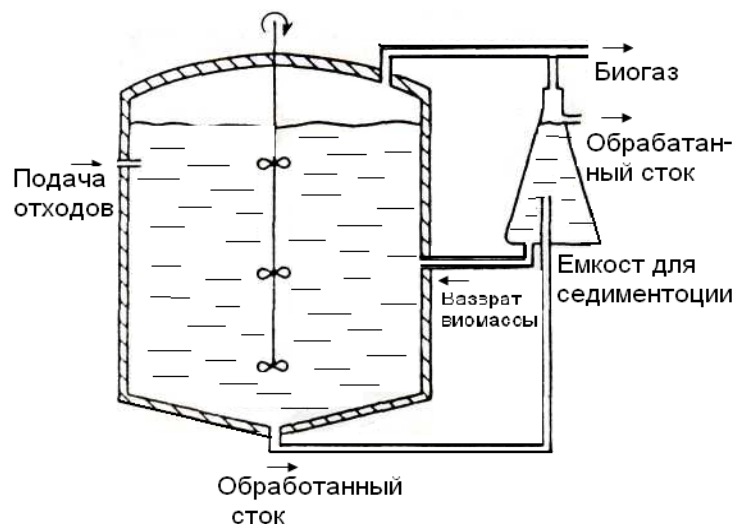


Рис.2.22. Анаэробный контактный метантенк

Опосредованный перенос теплоты с помощью теплового насоса связан с относительно высокими амортизационными затратами. Однако эта система утилизации теплоты представляет собой очень хороший способ использования энергии. Во избежание тепловпотерь в этом случае необходимо промежуточное хранение теплоты отработавшей в реакторе жидкости в отдельном, хорошо изолированном резервуаре. Его объем определяется испарительной способностью и массовым расходом удаляемой из реактора жидкой перерабатываемой биомассы.

В Германии для снижения расхода энергии на подогрев свежей перерабатываемой биомассы и увеличения КПД установки запатентована БГУ с тепловым насосом и утилизацией остаточной теплоты сброженного навоза при помощи теплообменника, расположенного в шлюзе для удаления отходов [9]. Недостатком этой установки является невозможность очистки внутренней поверхности теплообменника со стороны теплоносителя, являющегося промежуточным накопителем теплоты. При этом удаляемый из метантенка теплоноситель имеет невысокую скорость. Поэтому данный способ теплоотбора сброженной массы мало выгоден. Стоимость тепловых насосов должна соответствовать техническим требованиям, предъявляемым к установкам, работающим на неньютоновских жидкостях.

Как показывают проведенные исследования по физико-механическим свойствам навоза [56], его специфическая особенность является неньютоновским характером течения в сочетании с большими значениями вязкости. Наличие твердых, коллоидных и газообразных составляющих в структуре сбрасываемой массы служит основной причиной ее неньютоновских свойств. Эта особенность ограничивает тип теплообменников, которые можно использовать для подогрева загружаемого в БГУ сырья.

На рис. 2.23 представлена биоэнергетическая установка нового поколения фирмы "Швартинг" (Германия), состоящая из двух бродильных емкостей с возвратно-поступательным перемешиванием массы. Для поддер-

жания заданной температуры процесса (55°C) она снабжена теплообменником, состоящим из двух ступеней. В первой камере сбраживания поддерживается температура 35°C , во второй – 55°C . Через теплообменник, встроенный в первую камеру, можно обогреть ее теплотой перерабатываемой биомассы второй камеры. Подобные по принципу, но различные по исполнению теплообменника системы использованы на установках фирмы "НИС.А.С." (Швейцария) [19] в БГУ Геликса [20], где применены пластинчатые теплообменники.

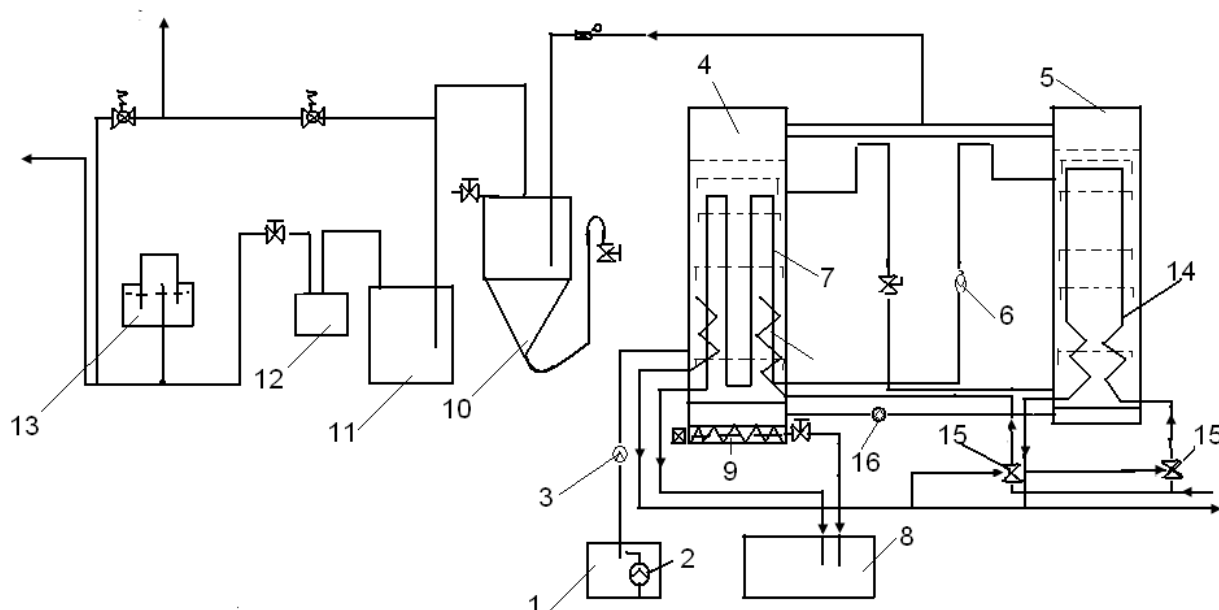


Рис.2.23. Биоэнергетическая установка нового поколения фирмы "Швартинг" (Германия):

Недостатком этого способа является то, что из второй стадии отработанная горячая перерабатываемая биомасса выгружается без рекуперации теплоты, дополнительной энергии и не используется теплота сбросной перерабатываемой биомассы.

Соблюдение технологических параметров биогазовой установки – один из основных факторов ее эффективной работы. Здесь важным все операции, связанные с началом и поддержанием процесса анаэробного сбраживания. Так, для создания стабильных биологических процессов в биореакторе необходима его целенаправленность. Для мезофильного и термофильного

температурных режимов работы биогазовой установки, как отмечалось, подходящим материалом служит навоз крупного рогатого скота. Один свиной навоз, как показывает опыт (в многочисленных установках мира), не обеспечивает соответствующих и мощных биологических процессов.

Когда после запуска достигается проектная мощность биореактора, дальнейшее поступление исходной перерабатываемой биомассы в биореактор должно быть максимально равномерным. При этом колебания состава перерабатываемой биомассы и отклонения от дозы загрузки должны быть минимальными. В идеальном случае перерабатываемая биомасса должна поступать в биореактор постоянно и равномерно в соответствии со скоростью её расщепления в установке (в настоящее время за рубежом наиболее распространенным биобиореакторы проточного типа, в Германии около 70% установок этого типа). Однако на практике этого добиться невозможно. Поэтому компромиссным решением в данном случае может быть периодическая загрузка с максимально возможным дроблением дозы суточной загрузки на отдельные порции. При этом следует избегать любых пиковых загрузок биореактора перерабатываемой биомассы.

Стабильность процесса анаэробного сбраживания в значительной степени зависит от поддержания в установке планируемого температурного режима. Рабочая температура большинства установок за рубежом находится в мезофильном, реже – в термофильном режиме. Обогрев, как правило, осуществляется отходящим теплом от блочной ТЭЦ. При этом желательна более равномерная передача тепла от нагревательных элементов к перерабатываемой биомассе. Для этого используют нагревательные элементы разнообразной конструкции.

Особенность теплообменника для биогазовых установок (Heat transfer unit), разработанного фирмой «Innex Warmetauscher GmbH» (Германия), заключается в том, что он является многофункциональной системой для подогрева перерабатываемой биомассы, её обеззараживания и охлаждения обработанной массы. Он имеет модульную конструкцию, основными

элементами которой являются предварительный нагреватель, вторичный нагреватель (after-heater) и циркуляционный охладитель. Все элементы системы изготавливаются с учетом индивидуальных особенностей каждой, конкретной, биогазовой установки, собираются на заводе - изготовителе и в готовом виде отправляются заказчику. Технологическая схема теплообменника построена таким образом, что рекуперированное тепло из охлаждаемой в циркуляционном охладителе сброженной перерабатываемой биомассы используется для предварительного нагрева поступающей в установку свежей перерабатываемой биомассы. Окончательный нагрев перерабатываемой биомассы до температуры, обеспечивающей её обеззараживание, выполняет вторичный теплообменник.

Для равномерного распределения тепла по всему объему сброженной перерабатываемой биомассы её необходимо перемешивать. Помимо выравнивания температуры перерабатываемой биомассы, перемешивание обеспечивает однородность её состава после очередной загрузки и активизирует процесс метанообразования, исключая образование плавучих слоев и осадка. При перемешивании сырья бактерии, участвующие в процессе анаэробного брожения, активнее освобождаются от продуктов обмена и биогаза и быстрее вступают в непосредственный контакт со свежей перерабатываемой биомассой.

Как отмечалось, для перемешивания сброженной массы как правило, применяют, механические технические средства в виде мешалок пропеллерного типа с двумя или тремя лопастями самой разнообразной конструкции. Так, фирма «Reck Agrartechnik GmbH» (Германия) выпускает мешалки для биогазовых установок с приводом от ВОМ трактора и электроприводом в двух исполнениях: оцинкованные и из высококачественной стали V 2A. Привод мешалок выполнен с возможностью изменения направления вращения (это повышает качество перемешивания) и размещен вне биореактора, что облегчает его обслуживание и повышает надежность работы. Мощность мешалок – 5.5–18 кВт при длине вала 4–7 м.

Фирма «Suma» (Германия) выпускает мешалку, привод которой (от ВОМ трактора или электродвигателя) также размещен снаружи биогазовой установки. Конструктивное исполнение крепления вала мешалки к фартуку обеспечивает его боковые отклонения до 60° , что позволяет получать высокое качество перемешивания практически по всему объему биореактора.

Для перемешивания перерабатываемой биомассы в биогазовых установках часто используются и погружные мешалки (рис.2.24). Погружной электродвигатель имеет высокую степень защиты от проникновения в его внутреннее пространство навозной массы благодаря герметичному исполнению и наличию контактного уплотнительного кольца. Контроль за работой двигателя осуществляется специальным датчиком (по температуре), установленным в его обмотке.

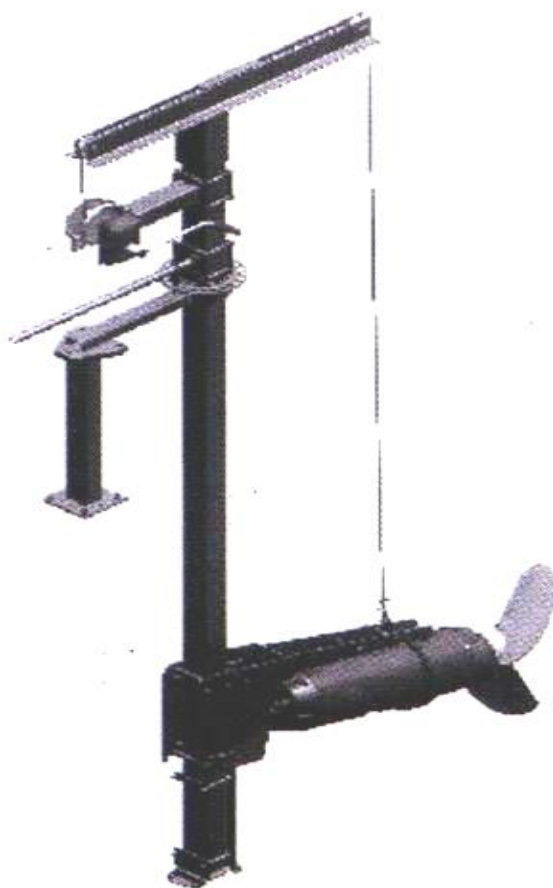


Рис.2.24. Мешалки серии MSX

Фирма «Rotaria Energie und Umwelttechnik U. Kotzbauer» (Германия) выпускает погружную низкооборотную мешалку пропеллерного типа (рис.

2.25), отличающуюся большим сроком службы, низкими энергозатратами, высокой производительностью. Она обеспечивает эффективное и бережное перемешивание.

Лопастей мешалки выполнены из армированной стекловолокном эпоксидной смолы с металлической вставкой для крепления ступицы (диаметр пропеллера 1.2–2.5 м, установленная мощность двигателя 1.4–6.5 кВт).

Герметичность конструкции мешалки обеспечивается за счет специальных контактных колец. Она оснащена датчиками для контроля за герметичностью двигателя и его температурой. Устанавливается на стойке внутри биореактора с возможностью регулирования глубины погружения.

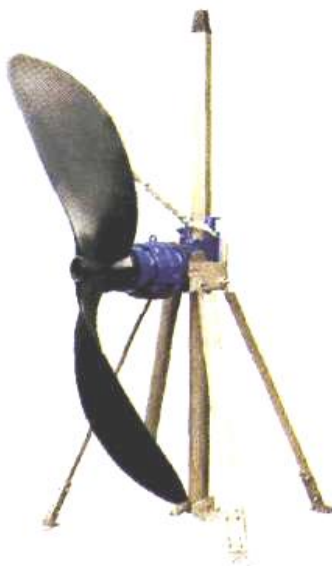


Рис. 2.25. Погружная мешалка фирмы «Rotaria Energieund Umwelttechnik U. Kotzbauer»

В последнее время за рубежом все большее внимание уделяется твердофазной метаногенерации, которая за счет высокого содержания сухого органического вещества в перерабатываемой биомассе позволяет значительно увеличить количество получаемого биогаза с единицы объема биореактора. Так, немецкая фирма разработала и поставляет на рынок серию биогазовых установок Еисо® Titan (рис.2.26), в комплект которой входят приемник исходных компонентов перерабатываемой биомассы Calix, система загрузки

твёрдой перерабатываемой биомассы Pasco, пробочно-проточный биореактор Eusco® TS, резервуар для дображивания перерабатываемой биомассы Coccus®, хранилище сброженной перерабатываемой биомассы Sula, блочная ТЭЦ в контейнере типа «All in One», система распределения тепла, насосная станция, система управления Biowatch® (возможна поставка системы управления с собственным компьютером Biowatch® XL) и газоанализатор SSM 6000.



Рис. 2.26. Немецкая биогазовая установка Eusco® Titan

Для обеспечения высокой эффективности протекания процесса метанообразования биореактор и резервуар для дображивания снабжены перемешивающими устройствами, а подготовка биогаза к сжиганию его блочной ТЭП осуществляется с помощью десульфитатора.

Выпускаются четыре вида установок: Eusco® Titan 185, Eusco® Titan 350, Eusco® Titan 500 и Eusco® Titan 650 с мощностью блочных ТЭЦ соответственно 185, 347, 500 и 625 кВт.

Полнокомплектную биогазовую установку для твердофазной метаногенерации (содержание сухого органического вещества до 30%, мезофильный или термофильный температурный режим) со встроенным газохранилищем выпускает фирма «Bio Energy Biogas GmbH» (Германия).

Для эффективного управления работой биогазовой установки необходимы данные о содержании сухого, органического вещества в перерабатываемой биомассе, её температуре в метантенке, дозе суточной загрузки, количестве и составе производимого биогаза и др. Для получения таких сведений установки оснащают контрольно-измерительной аппаратурой.

Немецкая фирма «Dietmar Hippel», специализирующаяся на решении задач в области управления и взвешивания, предлагает весоизмерительное оборудование и системы управления итальянской фирмы «PTM s.r.l.»: взвешивающие устройства G 420, ВТО 1500/1 и ВТО 2420, взвешивающую систему System-Bio-Doku, программное обеспечение которой, помимо индикации общей и промежуточных значений массы, загружаемой в биореактор перерабатываемой биомассы, обеспечивает регистрацию содержания метана в биогазе, количество производимых биогаза и электроэнергии и др. (может подключаться к компьютеру).

Фирма «Awite Bioenergie GbR» (Германия) выпускает комплекс газоанализаторов FAQs, которые позволяют измерять в производимом биогазе содержание CH_4 (метана), CO_2 (углекислого газа), H_2S (сероводорода), O_2 (кислорода) и H_2 (водорода). Содержание метана и углекислого газа определяется инфракрасным двухлучевым прибором с компенсацией температуры и давления, без взаимной чувствительности к другим газам и влияния со стороны водяного пара и др. Для определения содержания сероводорода, кислорода и водорода используется электрохимический метод.

Газоанализаторы для аналогичных целей выпускает и фирма «Schmak Biogas AG» (Германия): SSM 6000 Classic и SSM 6000 LT (техническая характеристика соответствует SSM 6000 Classic, однако он не имеет охладителя контролируемого газа и ограничителя нагрузки при анализе сероводорода).

Открытая шинная организация позволяет контролировать и регулировать работу биогазовых установок любой конфигурации (с

несколькими биореакторами, смесителями, резервуарами для предварительного смешивания, приемными ямами, системами обеззараживания и охлаждения по замкнутому циклу и др.). Одновременно возможны регистрация, контроль и протоколирование показателей (температура перерабатываемой биомассы, количество и состав производимого биогаза и т.д.) с графическим отображением информации на мониторе компьютера. Для выполнения всех операций предусмотрены простые вспомогательные шаблоны. Обмен данными осуществляется через XML (extensible Markup Language – обеспечивает разделение содержания, описание формата и компоновку), CSV, Excel, КПК Palm и др.

В Республике Узбекистан сконцентрирован многолетний опыт по применению биогазовых установок. В Приаральском регионе, представляющем широкое возможности для вторичного использования возобновляемых источников энергии.

В Шафрианском районе Бухарской области биогазовая установка (рис.2.27) была запущена в 1991 году. Установка, работающая успешно и по сегодняшний день, предназначалась для обеспечения малой семьи с полезным объемом биореактора 1.2 м³.

Установка состоит из биореактора 1, газгольдер 2 с объемом в 1.8 м³. Загрузку установки производят 1 раз в сутки в утреннее время навозом от четырех голов КРС и одного – двух телят, а также кухонными и жидкими отходами. Накопленный газ из газгольдера по гибким шлангам подается в газовую плиту. Установка работает без подогрева и без перемешивания, она функционирует непрерывно уже 19 лет. Обслуживающий персонал не требуется, биомасса загружается вручную, а выгрузка происходит методом вытеснения загружаемой биомассой. Температурный режим брожения на этой установке не контролируется. Переброженная биомасса (шлам) без особой подготовки вносится в огород, где выращиваются бахчевые культуры.

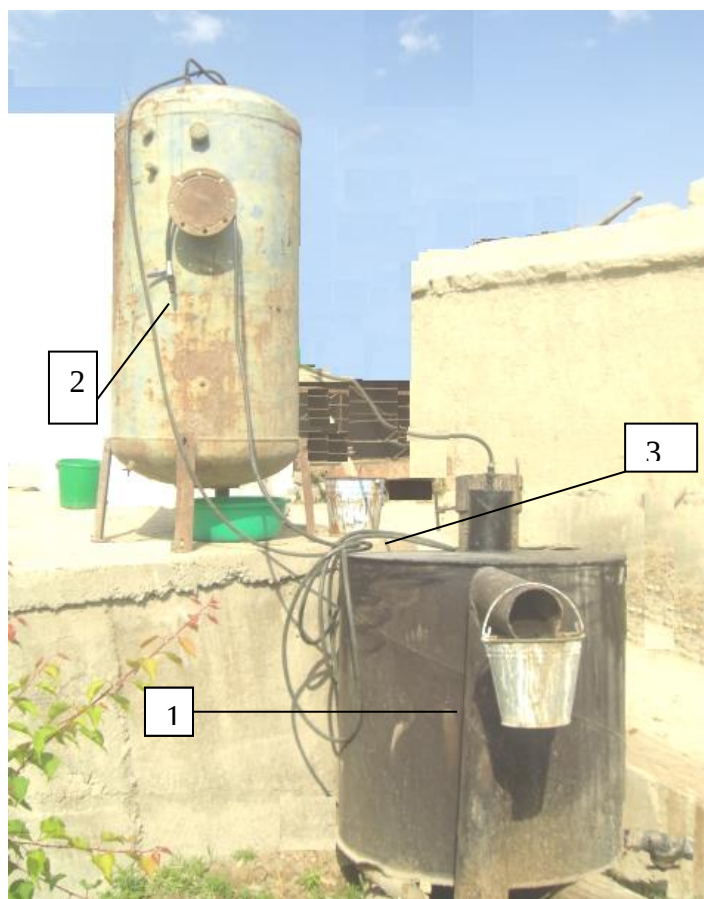


Рис.2.27. Биогазовая установка малой мощности в Шафрианском районе Бухарской области: 1 – биореактор; 2 – газгольдер; 3 – гибкие шланги для газа

Шлам темно-сероватого цвета, жидкооднородный с малыми пузырьками, и специфическим земляным запахом.

Биогазовая установка с полезным объемом в 3 м³ запущена в 2004 г. в Навоийской области (рис.2.28). Она работает на отходах подсобного хозяйства, в котором содержится 150 голов баранов.

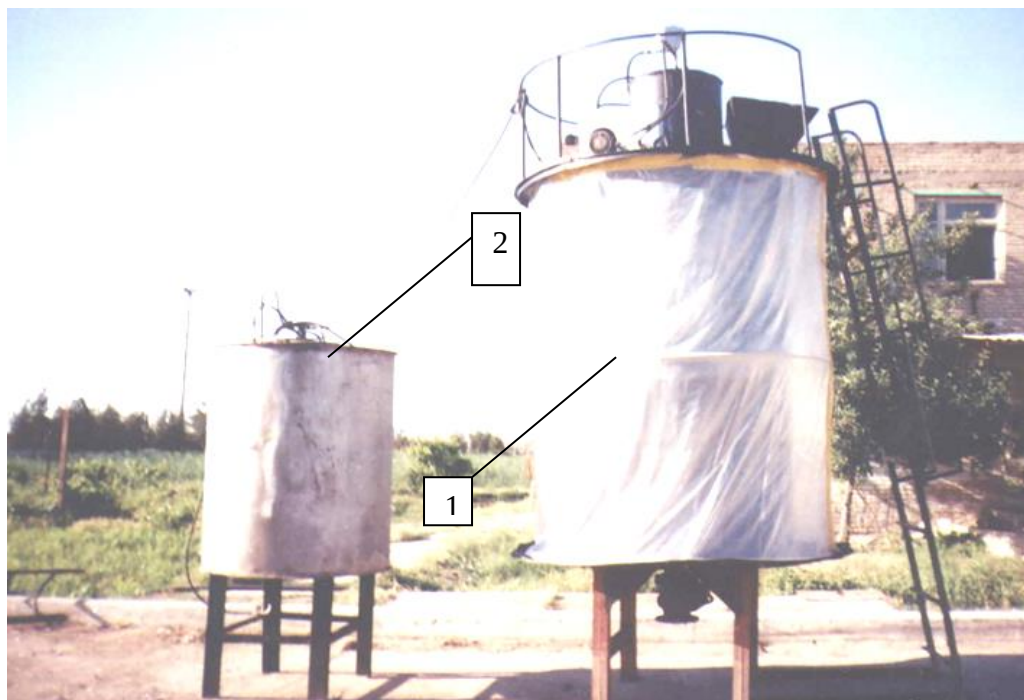


Рис. 2.28. Биогазовая установка, построенная в Навоийской области (объем выделяемого газа с метантенка – 15.6–16.5 м³ в сутки): 1 – бьюиореактор; 2 – газгольдер; 3 – компрессор

Биогазовая установка состоит из биореактора 1 и газгольдера 2, компрессора 3 для перемешивания и перекачивания биомассы в биореакторе. Установка при работе показала до 5.2–5.5 м³ полезного объема биогаза в сутки. Это объясняется тем, что в навозе от баранов, которых откармливали комбикормом, содержится большое количество органического вещества. После получения нужного количества биогаза в сутки и удачного запуска установки заказчик отказал от авторского надзора. После шестимесячной эксплуатации эта биогазовая установка по вине (при загрузке биомассы в биогазовую установку в постоянный процесс брожения попадает кислород) обслуживающего персонала была приостановлена.

Как отмечалось, в перечисленных установках метановое брожение ведется непрерывным способом. К преимуществам непрерывного способа следует отнести возможности ликвидации периодов развития культуры микроорганизмов, предшествующих стационарной фазе (фазе равновесия), и ведения процесса при стабильной и максимальной концентрациях клеток. Загрузка определенного количества свежего сырья (навоз КРС, бараний навоз

или птичий помет) в биореактор и выход из него такого же количества сброженной культуральной жидкости создают стабильные условия, при которых в физиологическом цикле культуры отсутствуют фаза задержки роста клеток и следующая за ней фаза ускорения роста (фаза логарифмического роста). Культура микроорганизмов, прошедших указанные фазы при первоначальном их разведении, после перевода на непрерывный процесс находится в фазе равновесия в течение всего периода производства.

Для изучения окончания физиологического цикла в биореакторе, т.е. фазы отмирания клеток и мн. др., фирма «BIOGAZ EKOLOGIYA VA ORGANIK Q'GIT» построила биогазовую установку (рис. 2.29) в Хивинском районе Хорезмской области в фермерском хозяйстве «Йулдаш Мажид». Анализ полученного навоза после 10 дневной обработки и удачного запуска нормально действующей установки, показывает, что фаза отмирания клеток происходит за пределами биореактора, из которого выходит шлам, содержащий определенное (избыточное) количество микробных клеток.

Данная биогазовая установка с полезным объемом в 10 рассчитана на 1000 (± 100) кг коровьего навоза в сутки. С точки зрения физиологии и биохимии, для многих микроорганизмов одинаково приемлемы периодический и непрерывный способы выращивания.

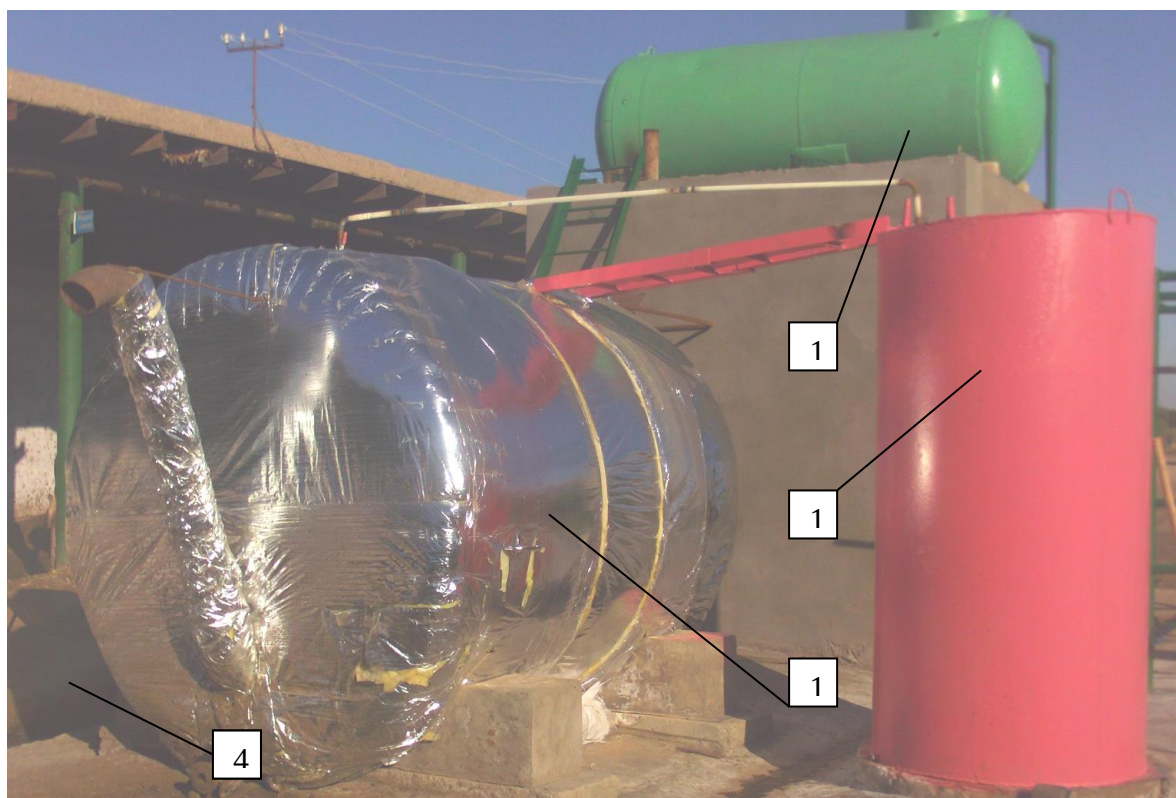


Рис.2.29.Биогазовая установка, установленная в Хивинском районе Хорезмской области: 1 – биореактор; 2 – газгольдер; 3 – горячая вода для приготовления пищи для животным; 4 – яма для предварительного приготовления навоза

Для нормального протекания процесса сбраживания с микробиологической точки зрения установку применяли с механическим перемешиванием. Для снижения теплотерь биореактор 1 был изолирован снаружи теплоизоляционным материалом типа "СЭНДВИЧ" с термическим сопротивлением

$$R_{из}=2.15K \times m^2 / B_T (K=0.465 B_T / (m^2 \times K))$$

толщиной 100 мм. В установке биомассу загружали, предварительно подготавливая железобетонную яму 4 объемом в 3м³.

Яму подготавливали выбирали так, чтобы сбор свежей биомассы происходил в трех разовой объем суточной дозы загрузки. Газгольдер изготовлен из листовой стали толщиной материала 5 мм.

Для ускорения запуска биореактора температурный режим брожения

поддерживали с подогревателем «АРИСТОН».

Для запуска биореактора при его загрузке добавляют при загрузке биореактора нормально действующую «закваску» или дрожжи, хорошо развивающиеся в периодической культуре при любом соотношении посевного материала и среды (если какие-либо факторы не тормозят их развитие, например антибиотики при прививке животных). При этом брожение легко перевести на непрерывное.

Результаты длительных опытных испытаний свидетельствуют о том, что для метанообразующих бактерий непрерывный способ культивирования является единственной возможностью осуществить интенсивное сбраживание. Длительность процесса анаэробного сбраживания при периодическом способе значительно больше, чем у других анаэробных процессов. Аналогичная ситуация отмечается и при полунепрерывном способе сбраживания. Многие процессы можно успешно осуществлять на основе применения различных вариантов полунепрерывного культивирования, в частности, методов долива, отбора (замены) части культуральной жидкости свежей средой и мн. др. Однако для анаэробного сбраживания это мало применимо.

Подытоживая, можно утверждать, что любые технологические приемы, ведущие к неравномерному поступлению органического вещества в биореактор, оказывают более отрицательное влияние на метановое брожение, чем на другие анаэробные процессы.

Для проверки бактериальной среды на разрежение в биореакторе в феврале 2011 г. фирма «BIOGAZ EKOLOGIYA VA ORGANIK Q'GIT» запустила в Гиждуванском районе Бухарской области биореактор (рис.2.30) с полезным объемом 5 м³. Установка состоит из биореактора 1 газгольдера 2, установленного снаружи теплицы 3, загрузочно-выгрузочных трубопроводов, котла-подогревателя 4, изготовленного из листовой стали, вместимостью 5 л воды, которая циркулируется самотеком. Установка работает в термофильном режиме брожения при суточной дозе загрузки 10 % от общего объема. Шлам из биореактора попадает автоматически наружу теплицы.

Установка работает следующим образом. Навоз от 50 голов КРС утром и вечером собирают из коровника в яму для предварительной подготовки исходного материала. Для этого процесс ее подготовки разбивают на три стадии: на три части. В первой производят домачивание навоза до нужной влажности при анаэробной обработке, во второй перемешивают навоз до однородной массы, с переходом к третьей стадии предварительной подготовки удаляют камни и песок, а также грубый корм который попадает во время уборки в коровнике.

При загрузке жидкой однородной биомассы в биореакторе используется гидравлический насос перекачки навоза. Жидкую навозную массу загружают в установку в определенное время, установленное согласно техническим требованиям загрузки суточной дозы.



Рис.2.30. Биогазовая установка с полезным объемом 5 м³, установленная в Гиждуванском районе Бухарской области

При проведении процесса анаэробного сбраживания с целью очистки сточных вод важнейшей задачей является полное разложение органических загрязнений, что достигается предельным снижением скорости потока, при которой накапливается избыток биомассы микроорганизмов, обеспечивающий полное потребление веществ. Однако это может иметь негативные последствия,

например, повышенный вынос микроорганизмов из аппарата, что нежелательно при очистке сточных вод.

Повышенное количество клеток трудно «удержать» в биореакторе вследствие их флотации выделяющимися газами на поверхность жидкости. Поэтому сбраживание высококонцентрированных сточных вод целесообразно вести последовательно в двух биореакторах: в одном из них производить главное брожение, в другом - дображивание. Процесс дображивания происходит с выделением небольшого количества газообразных продуктов, что дает возможность клеткам микроорганизмов оседать на дно. При этом получается очищенная вода, освобожденная от микробных клеток. Вода выходит через верхнюю часть биореактора. Осевшие клетки могут быть возвращены в нужном количестве в первый биореактор для повышения их концентрации.

Несмотря на то, что в первом биореакторе происходит перемешивание жидкости в процессе брожения, в нижней части его все-таки скапливается основная часть биомассы клеток, поэтому там и происходит сбраживание сточной воды. Фирма «BIOGAZ EKOLOGIYA I ORGANIK Q'GIT», проводя исследования, выходящий в жидкой фазе шлам перемешивала с баранным навозом (сушеными брикетами) для удержания (улавливания) метанообразующих бактерий. Полученный в процессе искусственного «улавливания», метанообразующих бактерий результат превзошел все ожидания, в силу чего в дальнейших работах предлагается бараний навоз использовать как биофильтр.

Как отмечалось, сбраживание биомассы в анаэробных условиях является сложным процессом, для осуществления которого необходим строгий контроль и поддержка извне.

Для производства альтернативного топлива и высококачественного, органического удобрения из сельскохозяйственных и животноводческих отходов Республика Узбекистан располагает большими возможностями. Выработка альтернативного топлива органическими удобрениями тесно

смыкается с охраной окружающей среды.

2.4. Опыты применения биогаза

Сжигание газа (производство тепловой энергии). На протяжении десятилетий производство тепловой энергии из биогаза являлось почти единственной технической возможностью для применения биогаза (Рис.2.31). В последнее время эта возможность применения биогаза успешно решена комбинированным использованием энергии.

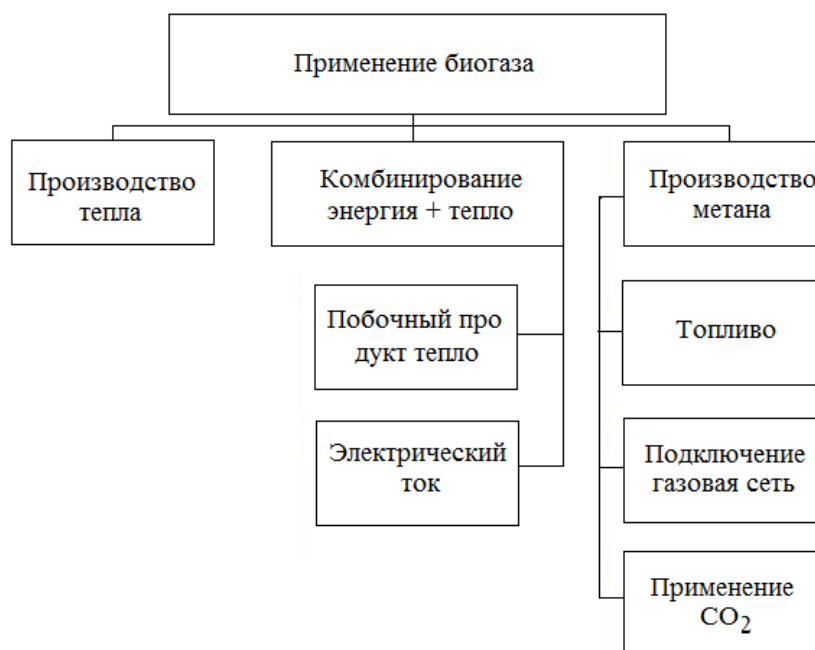


Рис.2.31. Применение биогаза

Использование биогаза только для производства тепловой энергии в результате сжигания газа – экономически интересный вариант, так как все другие виды применения биогаза и в отношении подготовки технического оснащения, и по текущим производственным затратам достаточно дорогостоящи. Нецелесообразно накапливать биогаз на длительные сроки. Однако биогаз прекрасно подходит для покрытия потребностей в наиболее напряженные периоды суток, т.е. позволяет покрывать также и определенную основную нагрузку. Другая возможность использования биогаза – подача газопровода для биогаза к отдельным потребителям. Но из-

за технических проблем малых газовых горелок (к примеру, вследствие непостоянного состава биогаза) эта возможность в настоящее время почти не используется.

Если биогаз подводится для теплового использования, то для этого нужны специальные газовые горелки (без поддува, с поддувом.) Сфера применения в первую очередь зависит от требуемых величин мощности. В основном, применяются редкие типы поддува, главным образом в комбинации с природным газом. Между тем могут эксплуатироваться также типы устройств на биогазе. В настоящее время газовые горелки применяются в биогазовых установках, прежде всего, как подстраховочный агрегат для компенсации возможного простоя ВНКВ – (Блочной нагревательной установки БНУ) и таким образом могут гарантировать обеспечение тепловой энергией.

Комбинирование тепловой и электрической энергии (рис.2.32). Производство электрической энергии с тепловой в качестве побочного продукта часто связано с термином БНУ. На такой электростанции биогаз превращается – в двигатель внутреннего сгорания в полезные формы энергии. Для рентабельной эксплуатации современной газовой установки большое значение имеет оптимально функционирующее использование тепловой энергии, в идеале – круглый год. Для прохождения биогаза с выделением подлежащей использованию тепловой энергии применяются в зависимости от размеров установки различные виды двигателей и разные способы сгорания (бензин, дизель, двигатель смешанного топлива), которые существенно отличаются по своей эффективности, срокам функционирования и инвестиционным затратам.

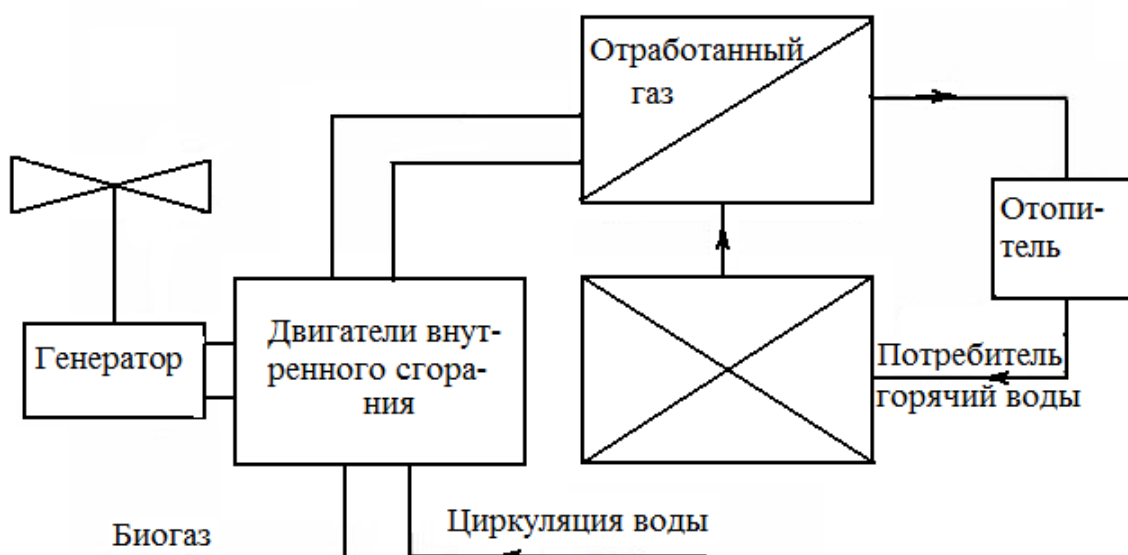


Рис.2.32. Схема комбинирования энергии + тепло

Как видно из схемы 2.32, для использования тепловой энергии от двигателя служит, как правило, холодная вода или горячий отработанный газ. Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) приводит в движение подсоединенный к нему генератор, который служит для производства электрической энергии. Для производства электрической энергии применяются, в основном, асинхронные генераторы, которые отличаются прочной конструкцией.

При комбинировании энергии в настоящее время может быть достигнута наивысшая эффективность преобразования энергии биогаса. Общий КПД ($\eta_{\text{общ.}}$) находится в пределах 85–90% использованной энергии.

Самый распространенный в настоящий момент вид установки – установка со специальным газовым двигателем. Применение различных технологий (бензиновые двигатели Отто, специальные газовые двигатели или двигатели на смешанном топливе) зависит от ряда факторов. Для диапазона малых мощностей (< 50 кВт) в первую очередь используют неоснащенные бензиновые двигатели Отто. Для диапазона больших мощностей применяются часть двигателей на смешанном топливе и специальные газовые двигатели. Для диапазона > 250 кВт в первую очередь применяются специальные газовые двигатели.

В последнее время потребителям предлагают два типа двигателей внутреннего сгорания, работающих на биогазе (табл. 2.8):

- с внешним смесеобразованием (переоборудованные бензиновые);
- дизельные (газожидкостные).

Таблица 2.8

Техническая характеристика и особенности работы ДВС для работы на биогазе

Показатели	Тип двигателя	
	с внешним смесеобразованием (Gas-Otto-Motor)	газожидкостный–дизельный (Zundstrahlmotor)
1	2	3
Мощность(электрическая)	До 1 МВт, реже менее 100 кВт	До 250 кВт
КПД (электрический),%	34–40	30–40
Срок службы, ч	60000	35000
Минимальное содержание метана в биогазе, %	45	
Затраты на техническое обслуживание	Незначительные	Значительные
Стоимость	Выше, чем газожидкостного	Ниже, чем с внешним смесеобразованием
Преимущества	Сконструирован специально для сжигания биогаза; соблюдаются требования по предельным значениям вредных выбросов	В нижнем диапазоне мощности повышенный электрический КПД по сравнению с двигателем с внешним смесеобразованием
Недостатки	В нижнем диапазоне мощности меньший электрический КПД	Выброс вредных веществ зачастую превышает предельные значения, использование дополнительного топлива (около 10% пускового топлива от энергии биогаза)
Виды топлива, которые могут использоваться при прекращении подачи биогаза	Сжиженный природный газ	Мазут, дизельное топливо, биотопливо

Особенности	Возможно регулирование мощности в зависимости от качества биогаза; на случай перегрева двигателя должен быть предусмотрен аварийный охладитель	
-------------	--	--

Топливный элемент. Топливные элементы производят из водорода и кислорода электрическую и тепловую энергию. В качестве продукта электрохимической реакции выделяется только водяной пар. Во всяком случае, водород для реакции должен подготавливаться. В настоящее время в этих целях применяются природные горючие вещества (природный газ и метанол) или альтернативный анаэробнопроизведенный биогаз. Есть много типов топливных элементов, которые различаются по рабочей температуре и виду мембран. Электрическая мощность колеблется в постоянном диапазоне от 1 до 250 кВт.

В настоящее время эксплуатируются топливные элементы на ископаемом природном газе, однако, кроме этого, ведутся исследования по применению очищенного биогаза.

Топливные элементы используются в областях, в которых желательно иметь высокое электрическое и механическое КПД (производство электроэнергии, автомобильный привод).

Газовая микротурбина. Здесь идет речь о малых, быстро вращающихся газовых турбинах, с низкими показателями давления в камерах сгорания, и низкими показателями температуры. Они были разработаны на базе турбинной технологии вспомогательных приводов в самолетостроении, и применяются прежде всего, в виде комбинированных теплоэнергоустановок в децентрализованном энергообеспечении в диапазоне мощности менее 200 кВт. Газовые микротурбины отличаются очень малой эмиссией, незначительными шумами и очень низкой стоимостью затрат на обслуживание. В качестве топлива возможно

применение природного газа, биогаза, сжиженного газа, факельного газа и мазута.

Для применения биогаза фирма PRO -2 Anlagentechnik GmbH предлагает газовую турбину (рис.2.33) мощностью 95 кВт, а фирма Gas Energietechnologie GmbH – газовую турбину мощностью 28 кВт (по данным Технического университета г. Граца).

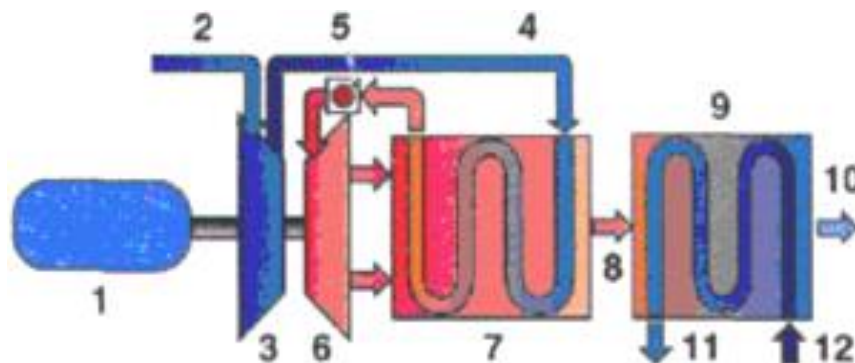


Рис.2.33. Газовая турбина: 1 – генератор; 2 – ввод воздуха; 4 – воздух для сжигания к рекуператору; 3 – камера сжигания; 5 – теплообменник отработанного газа; 6 – отвод отработанного газа; 7 – ввод воды; 8 – отвод горячей воды; 9 – отработанный газ; 10 – рекуператор; 11 – турбина; 12 – уплотнитель

Прочие возможности использования. Наряду с производством тепловой и электрической энергии выделенный биогаз может использоваться альтернативно и в других целях.

Подвод сети природного газа. При подключении биогаза в государственную сеть природного газа со стороны потребителей природного газа возникают сомнения в отношении качества и содержания биогаза – непостоянное качество биогаза представляет собой определенную техническую проблему. Очистка газа является сегодня самым большим техническим барьером для подключения биогаза в газовую сеть. Некоторые исследовательские проекты в этой области (например, в Техническом университете Вены) пересматриваются и в дальнейшем, работа над этими проектами будет осуществляться в рамках Европы.

Имеется достаточно широкий спектр энергетического оборудования для биогазовых установок. Фирма «S&R Energy Systems mbH» предлагает блочные ТЭЦ различной мощности, монтируемые на виброустойчивой опоре и оснащенные пластинчатыми теплообменниками, настольными системами охлаждения и др. Энергетические установки выполнены на базе двигателей MAN-Gas-Otto, специально сконструированных для работы на биогазе.

Рабочий процесс блочной ТЭЦ выполняется под управлением компьютера с визуальным отображением на мониторе всех параметров технологического процесса.

Фирма «MDE» (Германия) выпускает блочные комбинированные ТЭЦ (для производства электрической и тепловой энергии) модульной конструкции, работа которых осуществляется под управлением компьютера. Все оборудование блочной ТЭЦ размещено в контейнере, что значительно сокращает затраты труда и времени при сооружении и монтаже биогазовой установки. В специальных контейнерах All in One размещает блочные ТЭЦ для своих стандартных биогазовых установок Eusco® Titan и Бипма «Schmack Biosas AG».

Биогаз может быть использован для непосредственного сжигания (водогрейный котел, нагреватель, в быту и т.д.), а также для выработки электроэнергии в электрогазогенераторе.

Получаемые в жидком виде органические удобрения можно с успехом круглогодично использовать для всех сельскохозяйственных культур путем поверхностного полива почвы или опрыскивания поверхности растений.

ГЛАВА 3

БИОЭТАНОЛ. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ, СЫРЬЕВАЯ БАЗА, УСТАНОВКА И ПРОИЗВОДСТВО

3.1. Энергетический потенциал биоэтанола

Биоэтанол - жидкое спиртовое топливо, пары которого тяжелее воздуха. Вырабатывается из сельскохозяйственной продукции и из отходов консервных заводов (остатки сахаросодержащих выжимов ягод) путем ферментации сахара, который получают из культур, содержащих крахмал или сахар. В отличие от спирта, из которого производятся алкогольные напитки, топливный этанол не содержит воды и производится методом укороченной дистилляции (две ректификационные колонны вместо пяти), поэтому содержит метанол и сивушные масла, а также бензин, что делает его не пригодным для применения в пищевых целях.

История использования этанола в качестве моторного топлива началась в 1880 г. благодаря Генри Форду, который создал первый автомобиль, работавший на этаноле. В 1902 г. на выставке в Париже публика увидела работу 70 разных карбюраторных двигателей, работавших на спирту или смесях этанола с бензином. 30 лет спустя этанол начали применять в качестве авиационного топлива для самолетов с поршневыми двигателями.

Историю использования биоэтанола в качестве автомобильного топлива в масштабах целой страны принято начинать с опыта Бразилии. Резко возросшие в 1970 г. цены на нефть стали угрозой для национальной безопасности и экономики, поэтому правительство Бразилии в срочном порядке занялось поиском приемлемого способа сократить объемы импортируемой нефти. Лучшим решением проблемы стало производство этилового спирта из сахарного тростника. Процесс оказался настолько дешевым и рентабельным, что уже через 6 лет Бразилия нуждалась всего в 45% импортной нефти.

По данным Американского института глобального мониторинга, с 1975 по 1996 г. правительство Бразилии вложило в биоэтанольную отрасль 9 млрд

долл. США. За это время на нефти удалось сэкономить 10,5 млрд долл. Всего за время реализации проектов по производству биоэтанола Бразилия выгадала внушительную сумму - 121,3 млрд долл. США.

Объем производства этанола в мире в 2006 г. оценивался в 50989,17 млн л, или на 11% больше, чем в 2005 г. Мировой рынок топливного биоэтанола растет на 20–25% в год. По прогнозам специалистов, производство и потребление этанола к 2020 г. достигнет в мире 120 млрд л в год.

В мировой практике 85% этанола используется в технических целях, в том числе около 80% в качестве биотоплива.

Биоэтанол, как правило, смешивают с бензином (табл. 3.1). В Бразилии содержание этанола в бензинах к 2000 г. было доведено до 20% благодаря технологии «Тотал - флекс», которая позволяет выбирать между бензином и спиртом непосредственно при заправке автомобиля.

Таблица 3.1

Параметры биоэтанола в сравнении с бензином

Топливо	Бензин	Биоэтанол
Плотность, кг/л	0.76	0.79
Теплотворная способность (20 ⁰ C), МДж/кг	42.7	26.8
Теплотворная способность, МДж/л	34.25	21.17
Вязкость (20 ⁰ C), мм ² /с	0.6	1.5
Октановое число	92	> 100
Температура вспышки, ⁰ C	<21	<21
Эквивалентность топлива	1	0,65

При этом нефтяной бензин, биоэтанол или их смесь заливаются в бак в любом соотношении. Двигатель адаптируется к топливу автоматически.

В Германии продается устройство «Flex-Тек» для переделки любого автомобиля на использование любой смеси этанола и бензина (рис. 31).



Рис. 3.1. Устройство «Flex-Tek»

Автомобили «Фольксваген», оборудованные такой системой, поставляются уже и в Российскую Федерацию.

Специалисты утверждают, что большинство автомобилей может работать на топливе, 10% которого составляет этанол, и при этом какой - либо модификации двигателя не требуется.

Добавка в состав бензинов этанола позволяет повысить их детонационную стойкость (октановое число) и снизить содержание токсичных ароматических углеводородов (табл. 3.2).

Использование этанола в составе бензинов вызывает и ряд трудностей, которые необходимо учитывать при организации производства, хранения, транспортировки и применения бензиноэтанольных топлив. К этим показателям относятся:

- фазовая нестабильность бензина с добавкой этанола (т.е. возможность расслаивания при хранении);
- коррозионная агрессивность по отношению к металлическим материалам и отрицательное воздействие на резинотехнические изделия в топливных системах и на автозаправочных станциях.

Таблица 3.2.

Влияние биоэтанола на физико- химические свойства автомобильного бензина

Исходные показатели	Исходный бензин	Бензин + 10% биоэтанола
Детонационная стойкость (октановое число) :		
по моторному методу	83.3	85.6
по исследовательскому методу		
фракционный состав: (ОС)	92.6	95.4
Н. К.	56	51
10%	70	63
50%	108	107
90%	157	156
К.К.	199	195
Давление насыщенных паров, кПа	37.3	45.1
Потери от испарения, %	0.45	0.5
Коррозионная активность (изменение массы свинцовой пластины), г/м ²	0.55	0.7

Кроме того, увеличивается склонность к образованию отложений на впускных клапанах (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Влияние этанола на склонность к образованию отложений в двигателе

Бензин	Объемная доля этанола,	Отложения на один клапан, мг	Нагар в камере сгорания на один цилиндр, мг
АИ-92	0	76	404
АИ-92	5	90	366
АИ-92	10	97	406
АИ-92+ 0,04% моющей присадки	10	5	460

С целью устранения указанных недостатков в бензинах с топливным этанолом применяются ингибиторы коррозии, стабилизаторы, моющие и другие присадки.

Сейчас в России разработана следующая нормативно-техническая документация на автомобильные бензины с добавками этанола:

ТУ 38.401-58-244-99 «Бензины автомобильные неэтилированные, содержащие этанол». Разрешение на производство таких бензинов имеет ОАО «Лукойл - Волгограднефтепереработка», ОАО «Новокуйбышевский НПЗ» и ряд нефтебаз;

ГОСТ Р 51866-2002 (аналог европейской нормали EN-228), предусматривающий возможность применения до 5% этанола. Совместно с ЗАО НПО «Химсинтез» разработан ГОСТ Р 52201-2004 «Этанольное моторное топливо для автомобильных двигателей с принудительным зажиганием»;

«Бензанола. Общие технические требования». Это топливо является российским аналогом топлива «Газохол», которое составляет около 1/3 общего объема применяемого в США автомобильного бензина.

Бензанол представляет собой смесь углеводородов с денатурированным этиловым спиртом (от 5 до 10% об.) и другими добавками, обеспечивающими требуемые антидетонационные, антикоррозионные, антиокислительные и другие необходимые характеристики моторного топлива. Введение 5-10% этанола в состав автомобильных бензинов приводит к снижению содержания CO, CH и CO₂ в отработавших газах автомобиля.

Разработан стандарт СТО 11605031-007-2006 на денатурированный топливный биоэтанол. С целью возможного экспорта требования к качеству биоэтанола полностью соответствуют зарубежным (ASTM Д 4806).

Биоэтанол можно использовать в качестве биологической добавки в дизельное топливо.

Основные физико-химические свойства этанола как биодобавки в летнее дизельное топливо (ЛДЗТ) приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Сравнительные свойства этанола и нефтяного дизельного топлива

Показатели	Этанол	ЛДЗТ
------------	--------	------

Плотность при 20°C, кг/м ³	789	Не более 860
Вязкость при 20°C, мм ² /с	1.76	3-6
Смешиваемость: с водой с углеводородными топливами	Хорошая Плохая	Плохая Хорошая
Температура, °C: вспышки воспламенения	21 420	Не ниже 50 200-220
Самовоспламенения	423	78.37
кипения кристаллизации	-114.6	-5 (помутнения)
фракционной разгонки	-	180-360
Предел воспламенения (по объему), %	3,3-19	1.58-8.2
Теплота сгорания, кДж/кг	26779	42530
Цетановое число	8	45-55
Теплота парообразования, кДж/кг	904	251
Теплоемкость при 20°C, кДж/кг-°C	2.43	
Давление насыщенных паров при 20°C, мм рт. ст.	42	
Теоретически необходимое коли- чество воздуха для полного сгора- ния 1 кг топлива, кг	9	14.91
Энергоемкость топлива по отно- шению к дизельному	1.69	1
Элементный состав, кг/кг: углерод	0.52	0.87
Водород	0.13	0.13
Кислород	0.36	
Молекулярная масса, кг/моль	46	180-200

На протекание рабочего процесса в дизельном двигателе существенное влияние оказывают различия в физико-химических свойствах спиртовых и дизельных топлив. В частности, большее содержание кислорода в спиртовом топливе и его более стабильные температурные характеристики приводят к уменьшению дымности выхлопных газов. Пониженные значения вязкости и поверхностно-10 натяжения спиртовых топлив оказывают значительное влияние на качество распыливания, а отличия в теплофизических свойствах – на процессы испарения, смесеобразования и сгорания. Низкая склонность спиртовых топлив к воспламенению обуславливает невозможность работы

двигателя только на спиртовом топливе без значительных изменений его конструкции.

Использование этанола (C_2H_5OH) в смесевых дизельных топливах имеет ряд негативных моментов. Так, с повышением концентрации этанола в топливе с 5 до 15% цетановое число снижается с 43 до 37 ед., температура вспышки в закрытом тигле составляет 13–14°C (по требованию стандартов - не ниже 40°C), температура помутнения повышается. Исследования показали, что при одинаковой мощности двигателя использование смеси дизельного топлива со спиртом приводит к снижению дымности отработавших газов по сравнению с нефтяным топливом. Наилучший эффект наблюдается при использовании водно-, спиртово-топливной эмульсии, улучшаются окислительные процессы в камере сгорания дизельного двигателя, ускоряется процесс горения в начальной стадии, уменьшается нагарообразование в цилиндропоршневой группе и на форсунках, наблюдается существенное снижение эмиссии NO_X , твердых частиц (сажи) и бензина пирена (на 75%), топливная экономичность двигателя увеличивается на 8–12%. Однако с учетом отмеченных недостатков и высокой стоимости спирты не получили широкого применения в качестве добавок к дизельному топливу.

3.2. Сырьевая база

Для производства биоэтанола, предназначенного для добавления в бензин или потребления в чистом виде, традиционно применяют следующие виды сырья: Бразилия – сахарный тростник, США, кукурузу. В Европе для производства биоэтанола используются, в первую очередь, злаковые, картофель и сахарная свекла, в Германии – рожь, пшеница, тритикале и кукуруза.

Культуры, используемые для производства биоэтанола в мире, представлены на рис. 3.2.



Рис.3.2. Основные культуры, используемые для производства биоэтанола в мире

Теоретический выход этанола из 1 т сырья (сухая масса) характеризуется следующими данными (л):

Отходы очистки хлопка	215
Кукуруза:	
зерно	470
стебли	427
Рисовая солома	415
Лиственные опилки	381
Багасса	421
Макулатура	439

Наиболее перспективным сырьем для производства этанола является целлюлозосодержащая продукция (отходы переработки зерна, стебли

хлопчатника, древесины, соломы и др.). Так как сырьем для получения целлюлозного этанола служат стебли кукурузы, травы, опилки, кора деревьев, то этот процесс никак не может угрожать пищевому производству. Целлюлоза - это углевод, из которого, в основном, состоят клеточные стенки растений. Ученые выяснили, как высвободить энергию этой биомассы, создав ферменты для расщепления целлюлозы на простейшие сахара. Целлюлоза всегда в избытке, а полученный этанол чист и вполне может применяться в двигателях также эффективно, как и бензин.

Между тем, промышленное производство этанола из целлюлозы - сложная инженерная проблема.

решением, например, в США занимаются такие организации, как «Гененкор», биотехнологическая компания из Силиконовой долины в Пало-Альто. По словам представителей компании «Гененкор», ее ферменты снизили стоимость производства галлона (3.8 л) этанола из целлюлозы с 5 долл. (пять лет назад) до 20 центов. Сейчас перед био заводами стоит задача старта масштабного производства этанола.

Канадская компания «Иоген» (Iogen) в настоящий момент дальше всех продвинулась в коммерциализации технологии получения этанола из биомассы. Другой надеждой являются «BC International» (компания из Массачусетса), которая осуществляет строительство завода по производству этанола из целлюлозы в штате Луизиана. Кроме того, в США недавно утвержден закон о государственной поддержке этого направления, например, государство обязано закупить 250 млн галлонов (1 млрд л) целлюлозного этанола к концу 2013 г.

Исходным материалом для расширенного производства биотоплива в Европе может стать растение *miscanthus* (слоновья трава), достигающее высоты 4 м и при этом активно поглощающее из атмосферы углекислый газ. Эта трава, выращенная на 10% пахотных полей в Европе, может дать 9% всей необходимой электроэнергии. Сверхурожайный гибрид *miscanthus* обеспечивает получение 60 т/га биомассы, что эквивалентно 180 баррелям

(28.6 т) нефти. Британское министерство окружающей среды и сельского хозяйства уже выделило средства на программу по выращиванию miscanthus и переводу электростанций на биотопливо.

Источником производства биотоплива могут служить водные растения. Ежегодно на побережья выбрасывается значительная масса водорослей, которые с трудом удастся утилизировать. В Японии планируют наладить промышленное производство биоэтанола из океанских водорослей уже в ближайшие годы. Проект поручено курировать Управлению водных ресурсов страны, непосредственной разработкой и внедрением технологий займется НИИ корпорации Митцубиси» (Mitsubishi) и два крупных центра по изучению проблем моря в Токио и Киото. Программа исследований рассчитана на пять лет, за этот период предполагается создать необходимые технологии, чтобы перейти к промышленному производству. На исследования уже выделено 60 млн. иен.

Японские специалисты утверждают, что получение биоэтанола из морских водорослей, запасы которых у побережья Японии весьма внушительны, более выгодно по сравнению с кукурузой и другими злаковыми культурами. Предполагается, что популярные в японской кулинарии виды морской капусты «комбу» и «вакамэ» не будут использоваться для производственного процесса. Для постоянного пополнения сырьевой базы производства этанола будет создана широкая сеть крупных плантаций вдоль всего побережья Японского моря, на которых станут выращивать «непищевые» быстрорастущие водоросли. Японские специалисты считают новый проект весьма перспективным, при его утверждении в кабинете министров учитывалось, что англо-голландский нефтяной концерн «Ройял Датч Шелл» (Royal Dutch Shell) уже объявил о планах строительства подобного экспериментального производства на Гавайских островах.

Ученые одного из университетов Великобритании разрабатывают технологию, позволяющую превратить сусло, которое применяется для

изготовления виски, в экологически чистое автомобильное топливо - биоэтанол.

Американская компания «Xethanol Corporation» в содружестве с компанией «Renewable Spirits» строит во Флориде экспериментальный завод, который будет вырабатывать автомобильное топливо (этанол) из кожуры цитрусовых. Перерабатывая кожуру апельсинов, новый завод произведет 190 тыс. л этанола за сезон сбора цитрусовых, а в дальнейшем мощность производства может быть увеличена в 10 раз. «Xethanol» развивает ряд технологий производства этанола из не вполне обычного сырья. В противовес широко распространенному изготовлению биотоплива из зерна компания сосредоточилась на переработке отходов животноводства и деревообрабатывающей промышленности, а также твердых бытовых отходов.

Команда исследователей из США обнаружила, что этанол из проса прутьевидного вырабатывает на 540% больше энергии, чем требовалось для производства топлива. Один акр (0.4 га) сенокосного угодья в среднем может обеспечить 320 баррелей (50875 л) биоэтанола.

Статья с материалами исследования опубликована в Известиях Национальной академии наук США. Пятилетнее изучение 10 ферм размерами от 3 до 9 га названо авторами работы как самое крупное исследование в своем роде.

Министерство энергетики финансирует постройку шести биологических очистительных заводов в США. Эти заводы завершены и с 2010 г. работают в испытательном режиме.

Хотя процесс выработки этанола из проса прутьевидного является более сложным, чем при использовании таких продовольственных культур, как пшеница и кукуруза, так называемое «второе поколение» биотоплива может обеспечивать более высокий энергетический выход из 1 т сырья из-за использования всего растения, а не только его семян.

Исследователи подсчитали, что производство и потребление этанола из проса прутьевидного сокращает выбросы CO₂ на 94% по сравнению с

эквивалентом в бензине. Конечно, в процессе сжигания биотоплива происходит выброс углекислого газа, но выращивание растений позволяет поглощать сравнимую часть газов из атмосферы.

По оценкам экспертов, с сырьем для производства биоэтанола в России проблем значительно меньше, чем для биодизеля. В качестве биомассы для производства биоэтанола можно использовать часть урожая таких культур, как кукуруза, сахарное сорго, пшеница и сахарная свекла.

По ориентировочным оценкам ВНИИ НП, потребность в этаноле, который может использоваться в качестве добавки к бензину, согласно действующим стандартам, составляет около 320 тыс. т, или около 1% от объема производства бензина, в том числе 200 тыс. т гидролизного и 120 тыс. т синтетического этанола в России.

В последние годы привлекает к себе интерес и сорго, причем не только как кормовая, но и как ценная техническая культура для производства биоэтанола. С 1 га посевов можно произвести 3–5 т спирта. Этанол можно производить из любой биомассы, но выход его будет значительно колебаться (рис. 3.3).

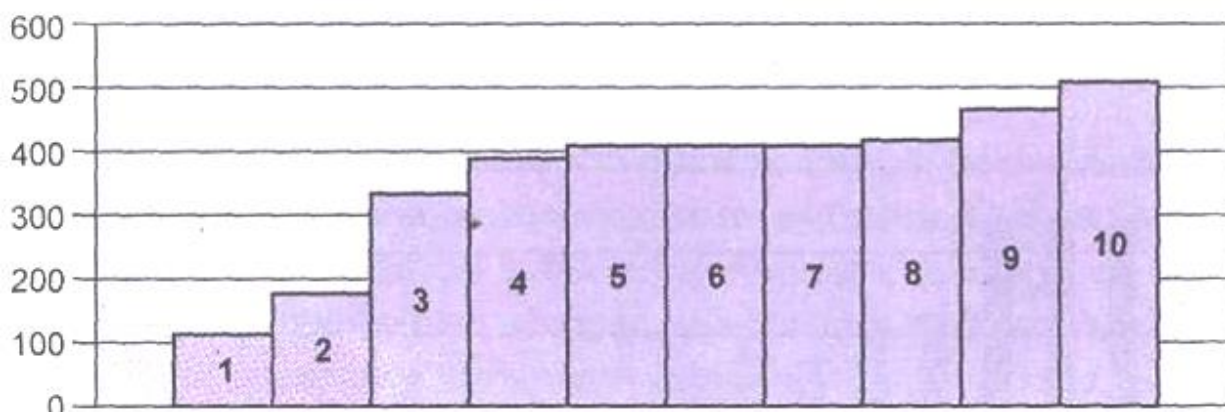


Рис.3.3. Выход биоэтанола из 1 т сырья различных видов биомассы:
1 – картофель; 2 – кассава; 3 – овес; 4 – ячмень; 5 – пшеница; 6 – майло
(тип сорго); 7 – рожь; 8 – кукуруза; 9 – рис; 10 – сорго

В зоне сухих степей сахарное сорго можно высевать на площади не менее 300 - 400 тыс. га, что позволит производить 1-1.5 млн. биоэтанола в год в России.

Как отмечалось, этанол можно производить из любого сахарокрахмалосодержащего сырья: выжимок консервных, спиртпроизводимых и пивных заводов, сахарного тростника и свеклы, картофеля, топинамбура, кукурузы, пшеницы, ячменя, ржи и т.д. Поэтому главный критерий выбора сырья для завода - его доступность и наличие для переработки 365 дней в году. Так как стоимость сырья составляет 70–80% себестоимости этанола, доступность сырья определяет выбор площадки для завода.

Учитывая высокую урожайность клубневых (картофель, топинамбур), стоимость сырья на 1 л этанола сравнима для клубневых и зерновых культур. Но клубневые имеют несколько таких принципиальных недостатков, как:

- трудоемкая уборка: отсутствие или проблемы механизации уборки;
- сложное хранение: не хранятся весь период, необходимый для работы заводов;
- малоценные дополнительные продукты: из-за низкого содержания протеина завод лишается важного дополнительного источника дохода;
- низкая «ликвидность»: фермер, не продав зерно на завод этанола, знает, что он продаст зерно в любое место – с клубневыми это не так.

Поэтому считается, что клубневые могут быть использованы только там, где они хорошо растут, и только как дополнительное сырье для заводов по производству биоэтанола.

Замечания по зерновым культурам:

кукуруза:

- самый распространенный источник крахмала;
- идеальное сырье там, где ее легко выращивать, большое предложение на рынке;

пшеница:

- содержание крахмала может значительно колебаться по сортам;
- высокая вязкость из-за входящих в состав пентозанов;
- требует применения дополнительных ферментов;
- может потребоваться использование пеногасителя;

тритикале (гибрид ржи и пшеницы):

- обладает повышенной морозостойкостью (больше, чем у пшеницы зимой), устойчивостью против грибных и вирусных болезней, пониженной требовательностью к плодородию почвы, содержит много белка в зерне.

- содержание крахмала сильно различается;
- высока вязкость из-за входящих в состав пентозанов;
- требует дополнительных ферментов;
- может требовать использования пеногасителя.

ячмень:

- очень абразивен, отруби изнашивают оборудование;
- урожайность ниже, чем у других зерновых;
- требует применения специальных ферментов (бета - глюканазы) и

пеногасителя;

рожь:

- недорогая, но меньше урожайность;
- очень высокая вязкость из-за входящих в состав пентозанов;
- требует применения дополнительных ферментов (ксилаказы)

пеногасителя.

В зависимости от способа производства («мокрый» или «сухой») получают следующие дополнительные продукты: «мокрый»:

- глютин (пшеничная клейковина, если сырье - пшеница);
- корма для животных;
- «сухой»;
- сухая дробина с растворимыми веществами (ДДГС (DDGS) по западной терминологии);
- CO₂.

Как правило, без продажи ДДГС завод будет неприбыльным:

	Этанол, л	ДДГС, кг	CO ₂ , кг
Рожь	357	390	350
Пшеница	375	330	370
Кукуруза	410	300	400

3.3. Технологии производства биоэтанола и оборудование

Топливный биоэтанол производится почти так же, как и обычный пищевой спирт для получения алкогольных напитков, но есть несколько существенных отличий:

- все чаще для производства топливного этанола применяется «мокрый» способ производства, для производства пищевого спирта – «сухой»;
- средний био завод производит 150 млн л этанола в год. Некоторые заводы имеют мощность 1 млрд л этанола в год;
- био завод по производству этанола имеет две ректификационные колонны, завод пищевого спирта – пять.
- топливный биоэтанол почти не содержит воды (концентрация 99,8%), поэтому в технологии используется дополнительное обезвоживание при помощи молекулярных сит;
- био завод топливного этанола очень энергоэффективен. Везде, где можно, энергия восстанавливается и используется в дальнейших процессах. Современные параметры использования энергии (сухой помол, кукуруза):
 - электричество – 0.3 кВт·ч на 1 л этанола;
 - энергия – 10 МДж на 1 л;
 - вода – 3 л на 1 л этанола.

Одна из самых последних разработок по оптимизации энергопотребления - использование газовых турбин в трехступенчатом процессе:

- турбина, потребляя газ, производит электроэнергию как для завода, так и для внешних потребителей;
- очень горячие выхлопные газы идут на производство технологического пара;
- еще теплый выхлоп идет на сушку барды.

В результате на выходе обеспечивается почти 100%-ное использование энергии газа.

Цена завода биоэтанола – от 0.5 до 1 долл. за 1 л мощности по биоэтанолу [15]. В США средним считается завод мощностью 300-400 млн л биоэтанола в год, в Европе – 150 - 200 млн л. Строить завод мощностью менее 75 млн л нецелесообразно. Например, завод мощностью 151 млн л этанола – 128 тыс. т сухой барды (DDGS). Технология - «сухой» помол, кукуруза (рис.3.4). Размер участка для такого завода – 10–16 га (примерно 200 х 500 м).



Рис. 3.4. Завод по производству этанола

Технологические процессы производства этанола постоянно совершенствуются (рис.3.5). До недавнего времени заводы по производству спирта обрабатывали зерно и другое крахмалосодержащее сырье в присутствии термостабильных ферментов для превращения крахмала в сбраживаемый сахар. Этот традиционный подход, как считают Л.С.Орсик соавторами в [15],

будет заменен технологией, использующей новую платформу ферментов, разработанных компанией «Genencor International». Genencors STARGENTM – линия ферментов для гидролиза гранул крахмала, превращающих необработанный крахмал в сбраживаемый сахар непрерывно в процессе оновременного осахаривания и ферментации,

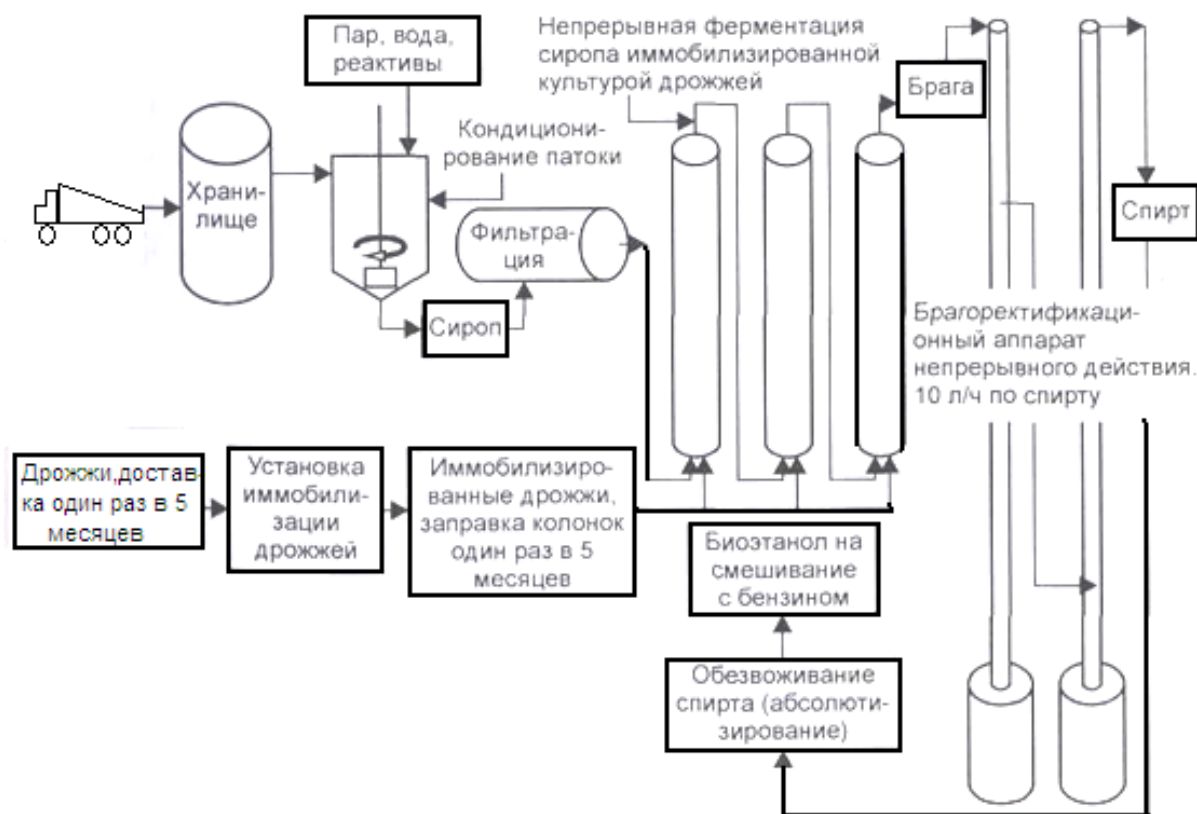


Рис. 3.5. Технология производства биоэтанола из патоки

В США в процессе производства спирта «сухим» или «мокрым» способом обычно используется молотое кукурузное зерно или кукурузный крахмал. При «сухом» процессе цельное зерно сначала перемалывается, а затем перерабатывается без отделения каких-либо компонентов самого зерна. Размолотое зерно превращается в жидкую массу с помощью воды, добавляется фермент альфа - амеглаза, затем эта масса обрабатывается (разваривается) при высокой температуре (105–150°C) до клейстеризации крахмала в процессе, называемом разжижением. После разжижения масса остужается и в нее добавляется второй фермент (глюкоамилаза) для превращения жидкого крахмала в сбраживаемый сахар (глюкозу, также известную как декстрозу) в

процессе осахаривания. Дрожжи добавляются в массу, чтобы сахар превратился в спирт и углекислый газ. Этот процесс называется ферментацией.

Фирма «Merloni Progetti» (Италия) разработала несколько технологических процессов по производству биоэтанола из сахарного тростника, свеклы; картофеля и маниоки; злаков, а также соответствующее оборудование (рис. 3.6).



Рис.3.6. Технологический процесс «Merloni Progetti»

Исходное сырье моется и перемалывается, затем выполняется два гидролиза, чтобы преобразовать крахмал в глюкозу. Механическая сепарация позволяет отделить отруби от раствора глюкозы, затем отруби промываются, чтобы отделить глюкозу. На следующем этапе глюкозу и раствор подают в секции ферментации и дистилляции для получения этанола.

В Финляндии компания «Lassila & Tikanoja» (L&T) совместно с «UPM» разработали новую концепцию производства этанола и энергии, которая впервые позволяет утилизировать использованные упаковочные материалы и промышленные отходы. UPM и L&T провели исследования в лабораторных

условиях совместно с Центром технических исследований Финляндии (VTT) и начинают испытания на предприятии VTT в Раямяки с целью принятия до конца года решения о строительстве полномасштабного завода.

В разработанной UPM и L&T производственной концепции этанол и энергия производятся из использованных упаковочных материалов и промышленных отходов (бумаги, картона, древесины и пластика). Осадочная масса от процесса удаления типографской краски на фабриках, использующих в производстве вторичное волокно, также является подходящим материалом для переработки.

Технология NPK Ethanol позволяет повысить скорость образования спирта, а следовательно, производительность бродильного отделения. Ускорение сбраживания сусла происходит благодаря постоянному отводу спирта из бродильной камеры по мере его образования. Брожение протекает при концентрации спирта, не превышающей 2.5–3.5%. При такой низкой концентрации он практически не препятствует процессу роста дрожжей. Применение этой технологии позволяет в 2.5 раза снизить водопотребление путем повышения концентрации сухих веществ в сбраживаемом сусле и в барде. При этом используется замес с гидромодулем 1:1 (в классической технологии – с гидромодулем 2.5:3.5).

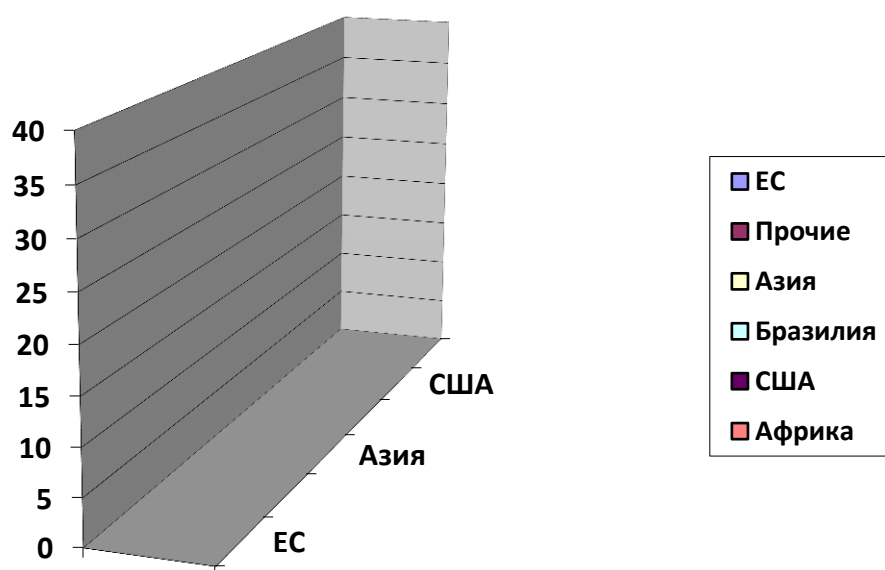
Энергопотребление при производстве спирта складывается из потребления электроэнергии и пара. В технологии NPK Ethanol часть технологического оборудования исключена, но добавлено оборудование системы вакуумирования и бродильного отделения.

В результате суммарное потребление электроэнергии возрастает на 25–30%, а потребление тепловой энергии уменьшается в 2–2.5 раза. С учетом общего баланса стоимости электроэнергии и пара стоимость потребляемых энергоресурсов сокращается до 40%.

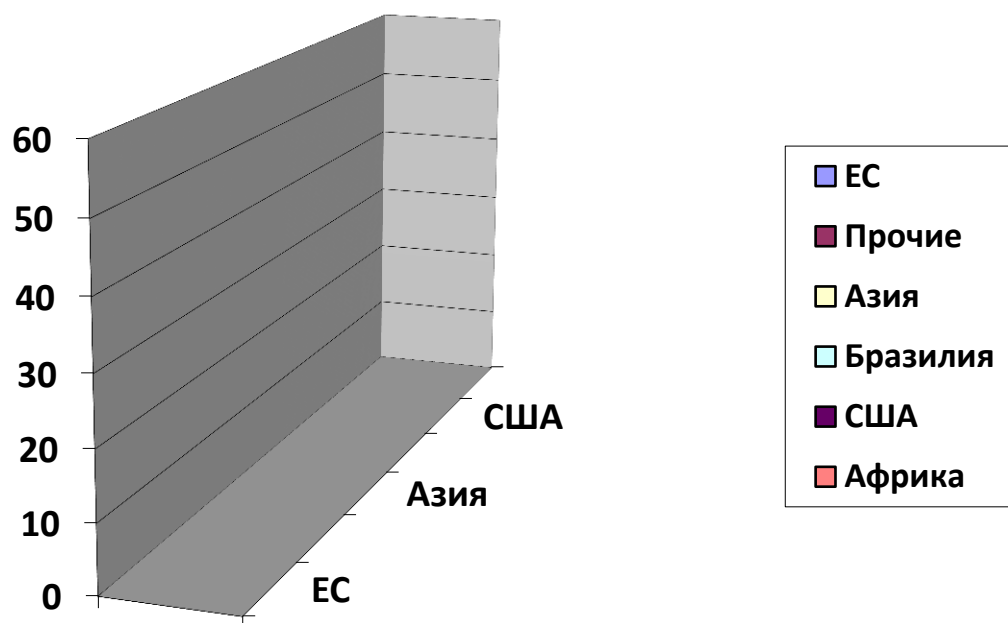
3.4. Опыт применения биоэтанола в мире

Объем производства этанола в мире в 2006 г. оценивался в 50989.17 млн. л, что на 11 % больше, чем в 2005 г. Мировой рынок топливного биоэтанола растет на 20–25% в год. По прогнозам специалистов, производство и потребление спирта к 2020 г. достигнет в мире 120 млрд. л в год.

В мировой практике 25% этанола используется в технических целях, в том числе в качестве биотоплива около 80%. Мировое производство этанола в 2005 и 2010 г. приведено на рис.3.7. Производство в Европе в 2005 г. составило 2.8 мил. м³. В будущем ожидается дальнейший рост производства биологического топлива в ряде стран, в том числе в Бразилии, США и Канаде, а также в странах ЕС.



а



б

Рис.3.7. Мировое производство этанола в 2005 г. (а) и 2010 гг. (б), млн м³: а – 44.9; б – 90

По прогнозу, производство и потребление спирта к 2020 г. достигнет в США и Канаде 40 млн т.

Основными производителями биоэтанола являются США и Бразилия. В 2006 г. в США было произведено 16.1 млн т биоэтанола, на что было использовано 18% урожая кукурузы, в Бразилии его производство составило 16 млн.т (из сахарного тростника). В этих странах достигнута значительная конкурентоспособность данного вида возобновляемого топлива по сравнению с топливом из нефти.

Необходимо отметить, что «чистый» этанол крепостью 95% и более используется в качестве моторного топлива в сравнительно небольших объемах. Наиболее широко применяются различные смеси бензина с этанолом, содержащие от 5–10 до 85–95% этанола, при этом, в основном, используется этанол, полученный из возобновляемых источников растительного сырья.

Наиболее широко в качестве моторного топлива этанол используется в Бразилии, что обусловлено значительными возможностями по его

производству. Более 90% автомобилей в стране работают на моторном топливе, содержащем этанол. В 1991 г. была принята программа, предусматривающая обязательное применение 5% этанола в составе бензина. В 2000 г. содержание этанола было доведено до 20%. В ближайшие годы этанол будет составлять в среднем около 24% в топливном балансе страны. Бразилия является крупнейшим производителем этанола в мире – до 16 млн т в год, что составляет 36% мирового производства. Практически весь этанол в Бразилии получают ферментацией сахарного тростника или черной патоки. Около 240 тыс. т топливного этанола Бразилия импортирует из других стран. Все это стало возможным благодаря национальной программе (действует с 1970 г.) по широкомасштабному использованию этанола в качестве автомобильного топлива и субсидиям правительства, которые получили соответствующую финансовую поддержку Мирового банка. В последнее время Бразилия использует в качестве топлива смеси, в которых содержание этанола составляет 26% в бензине и 3% – в дизельном топливе.

Бразилия обладает технологиями и оборудованием, способными поддерживать ежегодное производство этанола на уровне 4 млрд галлонов (16 млрд л), а также экспортирует технологии, оборудование и обслуживание. Помимо этого, этанол дает возможность умело балансировать на рынке переработки сахарного тростника. При снижении мирового спроса на сахар-сырец тростник является источником для производства спирта, что позволяет сохранять объемы его выращивания независимо от мировой конъюнктуры рынка сахара.

В ближайшие шесть лет Бразилия намерена более чем в 2 раза увеличить экспорт этанола, воспользовавшись ростом мирового спроса на альтернативные виды топлива. Производство этанола за этот период должно быть доведено до 36 млрд л в год, тогда его годовой экспорт может увеличиться до 7 млрд л.

Значительное место занимает этанол и в производстве моторных топлив в США, как октаноповышающая 10%-ная добавка к бензину (так называемый

бензин ЕЮ, или «Газохол»). Ведущие производители автомобилей – фирмы «Chrysler», «Ford», «General Motors» оценили эффективность использования этанола в качестве топлива. При этом не только снижаются выбросы вредных веществ в атмосферу, но и увеличивается срок службы двигателей. В настоящее время более 12% автомобилей США работают на смеси этанола и бензина.

С 2005 г. США ежегодно производит более 16 млн т биоэтанола. Благодаря его производству страна ежегодно экономит 1.5 млрд долл. на импорте нефти. Законопроект, внесенный в Сенат США, предусматривает установление стандарта на топливо из возобновляемых источников сырья (renewable fuel standard, RFS), в соответствии с которым в 2012–2014 гг. в товарном бензиновом фонде страны должно применяться до 15.5 млн т этанола в год.

В соответствии с «Законом о возобновляемых топливах для обеспечения энергетической безопасности США» содержание этанола в бензине должно быть увеличено с 1.3 до 5%, что при производстве бензина в количестве 380–400 млн. т потребует производства биоэтанола на уровне 15–20 млн т. В США планируется утроить производство этанола. Из валового сбора кукурузы (более 200 млн т) на производство этанола может быть направлено 25% урожая.

Производство этанола открыло производителям пшеницы и кукурузы новый рынок сбыта и дало им возможность получать более высокую прибыль, чем ранее. Это, в свою очередь, привело к подъему сельского хозяйства, позволившему сократить издержки на программы по поддержке фермеров, финансируемые из налоговых средств.

По данным Ассоциации возобновляемого топлива, 900 тыс. американских фермеров являются членами кооперативов по производству этанола. Положительное воздействие на экономику страны оказывает не только этанол. Из 1 т кукурузы (точнее, из крахмала) можно произвести не менее 410 л этанола.

В то же время резкое увеличение мощностей по производству топливного биоэтанола, вызвало повышенный спрос на рынке зерновых, а соответственно и повышение цен на них. В 2007 г. цены на кукурузу превысили все показатели за 1997–2007 гг. Посевы кукурузы достигли 93 млн акров, что на 20% больше, чем в 2006 г. По расчетам экспертов, из-за хорошего урожая цены должны были упасть, что выгодно для производителей этанола и животноводов, которые используют кукурузу в качестве корма для скота. Однако вместо этого цены держались на значительно более высоком уровне, чем в 2006 г., отчасти из-за того, что спрос продолжал расти, а количество продовольствия к концу урожая было близко к абсолютному минимуму. После того, как фермеры стали производить больше кукурузы в ущерб соевым, пшенице и другим зерновым, цены на эти культуры также выросли. Например, посевные площади, засеянные соевыми бобами, уменьшились на 16% после того, как фермеры переключились на кукурузу.

В настоящее время в США рассматривается внедрение стандарта возобновляемого топлива, в соответствии с которым определенную долю общего объема топлива, потребляемого в стране, должно будет составлять возобновляемое топливо американского производства, например, биоэтанол и биодизель. По данным исследования, проведенного компанией «AUS Consultants», благодаря введению нового стандарта импорт сырой нефти к 2012 г. сократился более чем на 250 млн т.

В Германии этанол для бензиновых двигателей был представлен на рынке, когда были запущены в эксплуатацию первые большие этаноловые заводы. Пять действующих предприятий по выпуску биоэтанола, уже сейчас испытывают трудности со сбытом своего годового производства, составляющего суммарно 600 млн л, так как пока мало автомобилей работает на таком горючем.

Для получения пищевого этанола в России используется преимущественно зерно пшеницы, картофель, т.е. те же продукты, из которых может вырабатываться биоэтанол.

3.5. Биобутанол - биотопливо второго поколения

Бутиловый спирт (бутанол) C_4H_9OH – бесцветная жидкость с характерным запахом сивушного масла, ядовита. В промышленности бутанол получают оксосинтезом из пропилена с использованием никель-кобальтовых катализаторов при температуре 130–150°C и давлении 20–35 МПа. Бутанол стали производить в начале XX в. с использованием бактерии *Clostridia acetobutylicum*. В 1950-х годах из-за падения цен на нефть бутанол производили из нефтепродуктов. В США ежегодно получают около 1.39 млрд л бутанола.

Две крупнейшие транснациональные корпорации мира - «Dupont» и «British Petroleum» (BP) – объявили об успехе своего трехлетнего сотрудничества над проектом создания нового вида биотоплива – биобутанола. Осуществление проекта началось в 2003 г.

Производство в Британии будет налажено совместно с «British Sugar». Для этого планируется перепрофилировать фабрику по ферментации биопродуктов в этанол для производства биобутанола.

Биобутанол по своей сути то же самое, что и биоэтанол, но только более калорийный и менее затратный при производстве. К тому же само производство биобутанола с технической точки зрения значительно проще, чем классической этанол. Биобутанол можно производить из кукурузы, пшеницы, сахарной свеклы, сахарного тростника, сорго и ячменя. В будущем для производства биобутанола можно будет использовать и целлюлозосодержащие компоненты сельскохозяйственных культур, такие как сухие стебли кукурузы или солома.

Биобутанол может добавляться к обычному бензину или бензину, содержащему этанол, он может использоваться в современных автомобильных двигателях. Потенциально его поставки можно наладить с использованием существующей инфраструктуры обеспечения топливом.

Преимущества биобутанола:

благодаря низкому давлению паров легко смешивается с обычным бензином;

энергетическая ценность его по уровню ближе к бензину, чем к этанолу, т.е. он более экономичен;

- подходит для двигателей современных транспортных средств.

Биобутанол при использовании в стандартных автомобильных двигателях может добавляться в более высоких концентрациях, чем биоэтанол (в концентрации до 10% v/v в Европе и до 11.5% v/v в США без переделки двигателя). В будущем имеется потенциал для увеличения максимально допустимого использования биобутанола в бензине до 16%.

В присутствии воды смесь, содержащая биобутанол, в меньшей степени склонна к расслоению, чем смесь этанола и бензина, т.е. не требуется модификаций установок для смешивания, хранилищ или заправок.

В отличие от существующих биотоплив биобутанол потенциально может транспортироваться по трубопроводам. Он имеет множество энергичных (сходных) свойств с биоэтанолом:

- получают из того же самого сельскохозяйственного сырья, что и этанол (т.е. из кукурузы, пшеницы, сахарной свеклы, сорго, кассавы и сахарного тростника), в будущем появятся способы получения биотоплива из лигноцеллюлозного сырья, быстрорастущих, энергоемких, зерновых культур (например, трав) или сельскохозяйственных отходов (например, стержни кукурузы);

- существующие мощности по производству этанола могут быть рентабельно модернизированы под производство биобутанола (необходимы незначительные изменения в процессах ферментации и дистилляции);

- существует синергия давления паров биобутанола и бензина, содержащего этанол, что облегчает добавление последнего.

ГЛАВА 4

БИОДИЗЕЛЬ

4.1. Энергетический потенциал биодизеля

Биодизельное топливо (биодизель, biodiesel) – относительно новый вид экологически чистого топлива. Как правило, биодизель производится из растительного масла и поэтому является возобновляемым источником энергии. Биодизель может использоваться в обычных двигателях внутреннего сгорания без изменения их конструкции. Возможно применение биодизеля как самостоятельного вида топлива, так и в смеси с обычным (минеральным) дизельным топливом.

Сырьём для производства биодизеля служат жирные, реже – эфирные масла различных растений или водорослей. Применяется также отработанное растительное масло, животные жиры, рыбий жир и т.д. При этом биодизель, полученный из различных масел, имеет некоторые отличия.

Применительно к сельскохозяйственному производству несомненный приоритет принадлежит биотопливу на основе растительных масел для дизельных двигателей.

Применение различных видов альтернативных топлив требует определенной организации рабочего процесса в цилиндре двигателя внутреннего сгорания, при котором обеспечиваются высокие эффективные показатели его работы. Для осуществления этого нужно знать не только физико-химические свойства, но и достоинства и недостатки биотоплива по сравнению с традиционным дизельным топливом, основные параметры биотоплива, требующие существенной корректировки для превращения его в товарное топливо, оптимальные методы управления этими процессами. Так, например, установлены следующие отличия свойств рапсового масла от дизельного топлива: повышенная вязкость, повышенная и сильно зависящая от температуры плотность, более низкая удельная теплота сгорания, содержание кислорода около 11 % и практически отсутствие сернистых и

ароматических углеводородных соединений. При впрыскивании в цилиндр двигателя вязкого рапсового масла угол рассеивания топливной струи и ее боковая поверхность уменьшаются, что приводит к уменьшению количества испарившегося топлива за период задержки воспламенения и более «мягкой» работе двигателя. Уменьшение угла рассеивания топливной струи позволит увеличить число сопловых отверстий и интенсифицировать «закрутку» воздушного заряда, что положительно отразится на топливной экономичности двигателя.

Иногда биодизель называют новым видом топлива, что не соответствует действительности. Этот вид моторного топлива был разработан англичанами Даффи и Патриком в 1853 г. Только спустя 40 лет немец Рудольф Дизель изобрел свой двигатель, который работал на арахисовом масле, но солярка в то время стоила дешевле, поэтому и стала на много лет основным видом топлива для дизельных двигателей. К идее использования биотоплива вернулись вновь только в начале 1990-х годов.

В настоящее время в Узбекистане и за рубежом, помимо применения чистого биодизельного топлива, рассматриваются практические аспекты использования в дизельных двигателях биотоплива из растительного сырья следующих видов:

- натуральное рапсовое масло (в чистом виде) – исследования показали, что оно обладает плохими пусковыми свойствами при пониженной температуре, а из-за наличия свободных кислот более агрессивно к конструкционным и уплотнительным материалам, имеет склонность к окислению при хранении;
- биотопливо из смеси рапсового масла с дизельным топливом – в пропорции 75% рапсового масла и 25% дизельного топлива, данная смесь обладает наилучшим соотношением баланса энергии (39.8 ГДж);
- биотопливо из смеси дизельного топлива и метилового эфира рапсового масла (МЭРМ).

В ГНУВИ проведены комплексные исследования по смесевому топливу с различным содержанием рапсового масла на двигателе Д - 240 Минского моторного завода. При работе двигателя на биотопливе с содержанием масла от 0 до 100% было установлено, что оптимальным составом смесевого топлива по параметрам рабочего процесса является содержание в нем 75% рапсового масла.

Анализ экологических показателей двигателей свидетельствует об уменьшении токсичных выбросов при работе на биотопливе. Содержание окиси углерода CO (угарный газ) на всех режимах по нагрузке и выбросы углеводородов CH сокращаются в 2 раза, количество твердых частиц (дымность) на режиме максимальной нагрузки – в 2 раза, а на режиме малой нагрузки практически отсутствуют. Исключение составляют окислы азота NO_x, выбросы которых при работе на биотопливе возрастают на 8% на режиме максимальной нагрузки. Возможно, это вызвано с наличием в биотопливе связанного кислорода. Полученные данные о значительном уменьшении выбросов токсичных веществ подтверждаются результатами исследований зарубежных специалистов. Основным стимулирующим фактором применения биотоплив за рубежом является улучшение экологических показателей.

В МГАУ им. В. П. Горячкина также были проведены исследования по замене дизельного топлива биодизельной смесью (с соотношением компонентов 1:1). По их данным, существенно улучшились экологические качества двигателя. Выбросы оксидов азота на номинальном режиме работы двигателя сократились на 15–20%, сажи - на 30–35, оксидов углерода и углеводородов – на 10–15%.

Биодизельное топливо можно заливать в бак как в чистом виде, так и в качестве добавки к дизельному топливу (биодизельная смесь) в количестве 5–35% от объема. Мощность двигателя при работе на биодизельном топливе несколько снижается и как следствие, на 5–8% увеличивается расход топлива. Ресурс двигателя при использования биодизельного топлива не меняется. Это

топливо имеет хорошие смазывающие свойства, чем выгодно отличается от дизельного. К недостаткам биодизельного топлива можно отнести агрессивность резиновым деталям двигателя. При низких температурах на жиклерах, форсунках и других калиброванных отверстиях могут образоваться отложения в виде кристаллов воска, что ведет к их закупорке.

Отмечаются случаи выхода из строя насосов высокого давления и топливных фильтров, поэтому производители дизельных двигателей вносят в них конструктивные изменения, чтобы адаптировать к использованию биотоплива.

Российскими учеными на экспериментальной установке, включающей серийный дизельный двигатель 4411,0/12,5 (Д-243), проведены исследования рабочего процесса двигателя на смесевом топливе (биодизеле). При этом в качестве топливных композиций использовались:

- дизельное топливо (композиция 1);
- 25% метилового эфира растительных масел + 75% дизельного топлива (композиция 2);
- 50% метилового эфира растительных масел + 50% дизельного топлива (композиция 3);
- 75% метилового эфира растительных масел + 25% дизельного топлива (композиция 4).

Анализ результатов исследований показывает, что в зависимости от вида биодизеля эффективная мощность дизеля при номинальном режиме снижается всего на 0.8–3.1%. Это обусловлено снижением теплоты сгорания биодизеля. Расход топлива возрастает соответственно на 1.8–4.2%. Содержание оксида углерода снижается в 1.2 раза, а дымность отработавших газов – на 1.3–8.4% по отношению к работе двигателя на товарном дизельном топливе. Наилучшие результаты по часовому и удельному расходу топлива получены при работе дизеля на композициях, состоящих из 25% биотоплива и 75% дизельного топлива, а по эффективной мощности и дымности отработавших газов – по 50% биодизельного топлива. Так, часовой расход

топлива увеличивается на 1.8%, удельный эффективный расход топлива – на 2.5, эффективная мощность снижается на 0.8, дымность отработавших газов – на 8.4% по отношению к работе двигателя на дизельном топливе.

Установлено, что энергетическая эффективность рабочей смеси рапсового масла и дизельного топлива в принятом соотношении достаточна при применении ее в качестве топлива для дизельных двигателей.

Мощностные и экономические параметры двигателей при работе на смеси R33 незначительно отличаются по сравнению с параметрами при работе двигателя на дизельном топливе. Закономерности изменения параметров двигателей при работе на топливе из рапсового масла подтверждают испытания рапсового топлива в других странах. Финские исследователи провели анализ состояния цилиндро - поршневой и кривошипной групп, деталей клапанного механизма, распылителей форсунок дизеля трактора V605 после 1056 ч работы на смеси R33. При испытаниях не было отмечено отказов двигателей и значительного износа деталей. На головках поршней слой нагара не более 1 мм, кольца подвижны, хорошо очищаются. Нагар (не более 1 мм) накопился лишь в верхних частях гильз, распылителей форсунок. На клапанах отсутствуют износ и дефекты. Тонкий слой нагара имеется на выпускных клапанах, а сажи – на впускных клапанах и гнездах клапанов. Коленчатый вал, вкладыши коренные и шатунные были в хорошем состоянии.

Экспертиза деталей двигателя трактора V702 после 700 ч работы показала отсутствие значительных износов, все детали кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов находились в исправном состоянии, слой нагара тонкий, вязкий, темного цвета, не более 1–2 мм. Слой сажи формируется на впускном клапане и во всасывающем отверстии гнезда клапана. Износ вкладышей за период испытаний находился в пределах нормы.

Двигатели тракторов V605 и V702 отработали без специальной доработки на сельскохозяйственных и лесных работах на смеси рапсового масла и дизельного топлива соответственно 1000 и 700 ч. Техническое состояние их без

видимых повреждений, значительных износов, толщина слоя нагара и сажи не превышает 1–2 мм. Действие смеси R33 примерно такое, как и дизельного топлива. При использовании смеси R33 нет необходимости вносить какие-либо изменения в двигатель.

В Швейцарии для исследований качества топлива принят рапсовый метилэфир – RME, произведенный в австрийском институте сельскохозяйственной техники (г.Весельбург). Топливо RME испытывалось на тракторах и автобусах.

Стендовыми испытаниями определены параметры мощности, удельного расхода топлива, эмиссии выхлопных газов при работе дизелей на растительном топливе RME и дизельном топливе.

Мощностные характеристики показывают, что на частичных скоростных режимах на тракторах «Same 65E», «Steyr 8055» отмечается некоторое повышение мощности при работе на RME по сравнению с дизельным топливом, а на номинальном скоростном режиме мощности выравниваются. На тракторе «John Deere 2250» отмечено снижение мощности при работе на RME на частичных режимах и выравнивание ее на номинальном режиме, на автобусе «Mercedes» - на всех режимах. Отклонение значений мощности при работе на RME по сравнению с дизельным топливом на испытуемых дизелях незначительное, поэтому заключение ученых «мощность остается такой же» следует считать справедливым.

Удельный расход топлива на всех испытуемых двигателях при использовании топлива RME повышается на 9.5–17.3%. Среднестатистическое значение его увеличения по испытуемым машинам равно 12.8%, что пропорционально меньшей теплотворной способности топлива RME по сравнению с дизельным.

Дымность и составляющие токсичности выхлопных газов при работе двигателя на дизельном топливе принимались за 100%. Установлено, что дымность проверяемых дизельных двигателей при полной нагрузке во время работы на RME ниже, чем при работе на дизельном топливе. Показатели

дымности при работе на RME проверяемых двигателей не одинаковы и составляют по сравнению с дизельным топливом у тракторов «Same 65E» – 62.9%, «Steyr 8055» – 74.8, «John Deere 2250» – 57.2%; автобуса «Mercedes» – 36.7%.

При работе двигателей на RME дымность снижается, среднестатистическое уменьшение ее составляет 42% по сравнению с работой дизелей на дизельном топливе.

Содержание СО в выхлопных газах большинства двигателей при работе на RME снизилось с 6 до 30%. Содержание HC в выхлопных газах при работе двигателя на RME сократилось с 12 до 44%, 96, у автобуса «Mercedes» увеличилось на 9.8%. Содержание NO в выхлопных газах всех дизельных двигателей при работе на RME повысилось с 3.9 до 29.4%.

К проблемам, имевшим место при работе машин на RME, следует отнести:

- ухудшение запуска двигателей при температуре ниже 8°C;
- размягчение и расслоение резиновых изделий;
- разрушение лакокрасочных покрытий;
- запах, раздражающий пассажиров и водителей.

Попадание в масляный картер несгораемого в цилиндрах топлива RME приводит к снижению вязкости смазочного масла. При испытаниях отмечено снижение его вязкости на 2–3 мм²/с. На автобусах при пробеге 30 тыс. км смазочное масло состояло до 6% из RME.

Испытания дизельных двигателей различной конструкции и назначения показали, что метилэфирное топливо из рапсового масла RME является альтернативой дизельному топливу. При работе двигателей на метилэфирном топливе RME обеспечиваются необходимые мощностные показатели, сложных технических проблем при переводе их на работу на RME не отмечается.

Нефтяное топливо хорошо сгорает в двигателях с непосредственным впрыском (двигатели большой мощности), а также в предкамерных и

вихрекамерных дизельных двигателях. Удельный расход топлива в двигателях с непосредственным впрыском ниже, чем в предкамерных и вихрекамерных дизельных двигателях. Сгорание топлива в двух последних случаях более полное: в отработавших газах содержится меньше вредных веществ.

Активная работа по изучению характеристик двигателей при использовании биодизельного топлива проводится во Франции, Германии, Италии, Финляндии, Чехии, Швеции, Австрии и Англии и др. В этой работе участвуют многие ведущие компании мира: «Форд», «Фиат», «Мерседес Бенц» и др. Однако незначительный объем и противоречивость результатов исследований работоспособности дизельных двигателей на растительных маслах или смесевых топливах не позволяют пока однозначно судить об оптимальности использования конкретного вида масла или продуктов его переработки в качестве биодобавок.

Биодобавки можно применять без больших проблем на любом дизельном двигателе. Тем не менее определенные ограничения при их использовании существуют. Топливо с такими добавками легко растворяет старые отложения нефтяного дизельного топлива в топливных баках, топливопроводах, что может привести к засорению топливных фильтров. Изготовители тракторов рекомендуют заменить фильтры после двух-трех заправок баков растительным топливом. Возможно также «разбухание» топливных шлангов и уплотнителей, изготовленных из пластмассы. Во избежание этого рекомендуется изготавливать топливные шланги и другие детали, контактирующие с топливом, из фторкаучука или эластичных пластмасс на основе полиамида или полиэстеруретана. Некоторые производители автомобилей и тракторов применяют эти материалы серийно. При попадании несгоревшего растительного топлива в масляный картер, что возможно при длительной работе двигателя при большой нагрузке, снижается вязкость масла. Изготовители двигателей рекомендуют уменьшать периодичность смены масла в 2 раза. Топливо с биодобавками легко растворяет лаковые

покрытия, поэтому рекомендуется смывать его сразу при попадании топлива на соответствующие места.

Использование в двигателях неочищенных растительных масел осложняется их высокой вязкостью и образованием отложений в нагара на соплах топливных форсунок и в цилиндрах. Поскольку температура поршня при малой нагрузке (включая холостой ход) снижается, то растительные масла (имеющие высокую температуру кипения), находящиеся на стенках охлажденного поршня, не способны к испарению и воспламенению при смешивании с воздухом: они полностью не сгорают. При перемещении поршневыми кольцами несгоревшего топлива вниз (в такте расширения) растительное масло, проникая в картер, смешивается с моторным маслом, ухудшая его качество, что в конечном итоге приводит к выходу двигателя из строя. Этим вызвана необходимость преждевременной замены моторного масла при работе двигателей на растительных маслах, т.е. уменьшение межсервисного периода.

В настоящее время также разработаны фотобиореакторы с наращиваемой производительностью, которые применяются для производства биодизельного топлива и других биопродуктов из масла, производимого водорослями, на основе запатентованных технологий. Технология не требует высоких капиталовложений и адаптирована к расширению производственных мощностей, и, кроме того, может давать огромные выходы биодизельного топлива из масла, производимого водорослями.

4. 2. Масло в качестве биотоплива

Биологические добавки на основе растительных масел в товарно - дизельное топливо могут производиться более чем из 50 масленичных культур.

Для получения биодобавок можно применять подсолнечное, рапсовое, соевое, хлопковое, льняное, пальмовое, сафлоровое, арахисовое и др.

Имеются сведения о получении биологических добавок в топливо из земляных орехов, горчицы, фундука, оливы, бука, а также водорослей. Последние могут находиться внутри разработанной системы фотобиореакторов непрерывного действия всего 3.5 ч. после чего могут быть собраны и пущены в переработку. Микроводоросли растут в течение всего года и имеют короткий жизненный цикл. Это самые быстрорастущие растения на Земле: они растут в 100 раз быстрее, чем деревья. Обычно масса микроводорослей за сутки удваивается.

Для микроводорослей требуется легкодоступное сырье: солнечный свет, вода, диоксид углерод и питательные вещества (Р и N- микродозы фосфорных и азотных удобрений).

Из микроводорослей можно получать множество природных продуктов: пигментов, белков, энзим, сахаров, жиров, аминокислот, витаминов. Существует более 30 000 видов микроводорослей. Их можно выращивать и в неблагоприятных условиях, например, в пустынях и соленой воде.

Испанская компания «Bio Fuel Systems» представила технологию производства биодизеля (биодобавок), где сырьем являются водоросли, искусственно выращиваемые в любых водоемах. Водоросли дают в 40 раз больше топлива, чем пальмовое масло, а их урожайность выше урожайности любой зерновой культуры в 100 раз.

Рапсовое масло. Обладает относительно высокой стойкостью к окислению. Содержание йода (IV) в нем ниже, чем 120 ед., оно удобно для использования в зимних условиях. Рапс дает большие урожаи, поэтому значительные площади заняты именно этой культурой под сырье для биодизеля.

Подсолнечное масло. В настоящее время урожаи подсолнечника ниже, чем урожаи рапса, однако он хорошо произрастает в странах с теплым и сухим климатом. Содержание йода (IV) в нем выше, чем 120 (согласно Европейскому Стандарту EN 14214 его не должно быть более 120), поэтому

его приходится смешивать с другими маслами, содержащими меньшее количество йода.

Животные жиры и отходы пищевых жиров. Применение этого вида сырья в Европе определяется Стандартом EN 14241. Животные и пищевые жиры содержат повышенное количество полимеров, но они получили распространение в тех странах, где довольно дешевы и обеспечивают достаточную доходность.

Соевое масло. Широко распространено в США и Аргентине. Масло сои имеет повышенное содержание йода (более 120), однако на него не распространяется действие Европейского Стандарта EN 14214, а Американский Стандарт D-6751-02 не содержит подобных ограничений.

Пальмовое масло. С 1987 г. широко используется в Малайзии для производства биодизеля. Из-за характерной для пальмового масла температуры снижения текучести при +11°C его применение ограничено странами с теплым климатом (или может использоваться в них только в смесях с другим сырьем).

Другие источники. Потенциальные возможности использования других семян масличных культур в качестве сырья для получения биодизеля полностью еще не исследованы. Применение ореховых масел начато в Никарагуа, опыты по использованию хлопкового масла успешно проведены в Греции.

Семена новых масличных культур. Для получения биодизеля с оптимизированными свойствами могут рассматриваться культуры:

- с минимальным содержанием полиненасыщенных жирных кислот типа линоленовой кислоты (18:3);
- с максимальным содержанием мононенасыщенных жирных кислот, типа олеиновой кислоты (18:1), чтобы обеспечить хорошую стабильность в сочетании с удобством зимнего использования;
- с минимальным уровнем насыщенных жирных кислот (16:0) и стеариновой кислоты (18:0) для удобства зимнего использования.

Некоторые важные свойства продуктов переэтерификации наиболее распространенных растительных масел метанолом приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Сырье для производства биодизеля

№ п/п	Наименование сырья	Сырье с гектара земли	Литр масла с гектара земли выращивания
1	2	3	4
1	Люпин	195	232
2	Кенаф	230	273
3	Календула	256	305
4	Хлопок	273	325
5	Конопля	305	363
6	Соя	375	446
7	Кофе	386	459
8	Семена льна	402	478
9	Фундук	405	482
10	Молочай	440	524
11	Семена тыквы	449	534
12	Кориандр	450	536
13	Семена горчицы	481	572
14	Рыжик	490	583
15	Кунжут	585	696
16	Рис	696	828
17	Подсолнечник	800	952
18	Какао	863	1026
19	Арахис	890	1059
20	Рапс	1000	1190
21	Олива	1019	1212
22	Пекан	1505	1791
23	Жожоба	1528	1818
24	Бразильский орех	2010	2392
25	Кокос	2260	2689
26	Пальмовое масло	5000	590

27	Китайское сальное дерево	5500	6545
28	Водоросли	6894	7660
29	Водоросли (теоретические)	39616	47500

Как установлено, наиболее перспективным источником сырья для производства биодизеля являются водоросли. Масличные культуры – в настоящее время наиболее распространенное сырье для производства биодизеля.

Водоросли. Департамент Энергетики США с 1978 по 1996 г. исследовал водоросли с высоким содержанием масла по программе «Aquatic Species Program». Исследователи пришли к выводу, что Калифорния, Гавайи и Нью-Мексико пригодны для промышленного производства водорослей в открытых прудах. В течение 6 лет водоросли выращивались в прудах площадью 1000 м². Пруд в Нью-Мексико показал высокую эффективность в захвате CO₂. Урожайность составила более 50 г водорослей с 1 м² в день. 200 тыс. га прудов могут производить топливо, достаточное для годового потребления 5 % автомобилей США. 200 тыс. гектаров – это менее 0.1% земель США, пригодных для выращивания водорослей.

У технологии еще остаётся множество проблем. Например, водоросли любят высокую температуру, для их производства хорошо подходит жаркий климат, но требуется некая температурная регуляция при ночных перепадах температуры.

Кроме выращивания водорослей в открытых прудах, существуют технологии выращивания водорослей в малых биореакторах, расположенных вблизи электростанций. Сбросное тепло ТЭЦ способно покрыть до 77% потребностей в тепле, необходимом для выращивания водорослей. Эта технология не требует жаркого пустынного климата.

Процесс производства основан на фотосинтезе. Однако в основном биологические добавки в дизельное топливо производятся из рапса или

подсолнечного масла. Масла, содержащиеся в семенах и плодах этих культур (представляющие собой в основном триглицериды), близки по теплоте сгорания к дизельному топливу (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Сравнительные свойства некоторых растительных масел

Показатели	Масло						
	рапсовое	подсолнечное	хлопковое	соевое	пальмовое	арахисовое	льняное
Цетановое число	36	33.4	41	27	-		36.6
Затраты энергии, Вт/кг	47	118.3		178.4		174	
Плотность При 20 ⁰ С, кг/м ³	915	924	916	923	913	917	932
Вязкость при 20 ⁰ С, мм ² /с	77	63	84	25	-	81.5	29
Температура, ⁰ С: вспышки кристаллизации	305	320	318	220	295	-	
	-18	-16	-4	-11	-8		
Теплота сгорания (низшая/высшая) . кДж/кг	37200	36981/	34000	39000	38000	37023/	37000

Существуют отличия между маслами не только различных растений, но и одного и того же растения в зависимости от его происхождения. Растительные масла нестабильны и имеют повышенную вязкость и коксуемость. Эти недостатки частично устраняются при использовании их в смеси с дизельным топливом или переводе в метиловые эфиры.

Как установлено (см. табл. 4.2) физико-химические характеристики растительных масел существенно отличаются от дизельного топлива такими свойствами как:

- повышенная плотность;
- вязкость;
- температура вспышки.

По элементному составу растительные масла близки друг другу, а от нефтяного топлива отличаются присутствием кислорода (9.6–11.5%). Недостатками растительных масел как топлива по сравнению с нефтепродуктами являются их меньшая теплота сгорания (на 7–10%), более высокая вязкость (в 6 раз и выше), повышенная склонность к нагарообразованию, низкая испаряемость и др. Поэтому большинство современных дизельных двигателей может работать на чистых растительных маслах непродолжительное время.

Одним из способов устранения указанных недостатков растительных масел является их химическая переработка, позволяющая получать продукты со свойствами, полностью отличными от исходного сырья, - переэтерификация (производство биодизельного топлива).

Процесс производства биодизельного топлива из масла несложен. В очищенное от механических примесей масло добавляют метиловый спирт и щелочь, которая служит катализатором реакции переэтерификации. Смесь нагревают до 50°C. После отстаивания и охлаждения жидкость расслаивается на легкую и тяжелую фракции: легкая представляет собой метиловый эфир, или биодизель, тяжелая - глицерин.

По молекулярному составу биодизель близок к дизельному топливу. Исходя из стоимости, доступности и физико-химических характеристик, наиболее подходящим для производства топлива является рапсовое масло, которое может быть использовано в качестве основы или компонента топлива.

Наиболее простой и доступный способ использования рапсового масла в виде добавок – разбавление его дизельным топливом. Смесь получила название биодизельной. Такие топливные композиции называют еще «биодит» (смесевое топливо). Установлено, что с увеличением содержания рапсового масла в биодизельной смеси продолжительность ее сгорания увеличивается,

а при содержании масла более 60 % процесс сгорания не успевает закончиться к моменту открытия выпускного клапана двигателя. Для уменьшения общей продолжительности сгорания в биодизельную смесь вводят активаторы сгорания, например, органическое соединение железа - ферроцен.

Смесевое топливо по сравнению с метиловым эфиром рапсового масла имеет следующие преимущества:

- несложную технологию получения;
- высокую стабильность в хранении и растворении на молекулярном уровне.

Сравнительные физико-химические характеристики рапсового масла, смесевое и дизельного топлив приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Сравнительные свойства некоторых растительных масел

Показатели	Рапсовое масло	Смесь рапсового масла и дизельного топлива (75:25)	Дизельное топливо (ГОСТ 305- 82 Л/3)
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	37.2	38.3	41.8
Плотность при 20°C, кг/ м ³	915	890	860/840
Вязкость при 20°C, мм ² /с	78	38.2	3.6/1.8-51
Температура, °C помутнения	-9	-9	-5/-25
застывания	-18	-16	-10/-35
воспламенения	593	583	543
Цетановое число	41	42	45
Йодное число на 100 г, г	9.7-10.3	9	6
Кислотность, мг КОН/100 см ³	6.1	6	5

Содержание по массе, %:			
углерода	78.3	80.3	86.4
водорода	12.8	12.95	12.1
кислорода	8.895	6.52	0
Коксуемость 10% остатка, %	0.43	0.4	0.3
Массовая доля серы, %	0.05	0.16	0.5
Содержание фактических смол на 100 см ³ , мг	-	-	40/30

По сравнению с дизельным топливом плотность частого рапсового масла выше на 9 %, вязкость в 25 раз, содержание серы меньше 10 раз, температура застывания выше на 17°С по сравнению с зимним топливом и на 10°С ниже, чем у летнего дизельного. Смесевое топливо по физико-химическим показателям занимает промежуточное положение.

Для приготовления смесевое биодизельного топлива (75% рапсового масла и 25% дизельного топлива) требуется 250 кг дизельного топлива энергоемкостью 10.5 ГДж. В итоге получается 1 тонна смесевое топлива энергоемкостью 39.8 ГДж.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что для обеспечения технико-экономических показателей при применении МЭРМ необходима интенсификация процессов впрыскивания, смесеобразования и сгорания. Положительное влияние на эти процессы может оказать подогрев впрыскиваемого топлива (примерно до 70°С), что приведет к улучшению его физико-химических показателей, а увеличение давления впрыскивания (примерно до 80 МПа) – к уменьшению диаметра капель распыливаемого топлива. Интенсификация турбулизации воздушного заряда позволит улучшить процессы испарения и смесеобразования. Кроме того, при использовании только одного МЭРМ по сравнению с дизельным топливом нагаро- и смолоотложения остаются увеличенными, отмечаются низкая стабильность МЭРМ при хранении и отрицательное влияние на моторное масло и прокладочный материал.

В Финляндии в качестве топлива используют смесь рапсового масла и дизельного топлива, обозначенную как R-33 и состоящую из 1/3 рапсового масла и 2/3 дизельного топлива.

В Австралии в качестве биодобавок используют арахисовое и кокосовое масла. В Бразилии фирмой «Caterpillar» рекомендуется смесь растительных масел (из соевых бобов, подсолнечника или земляных орехов) с дизельным топливом в соотношении 1: 9. Биологические добавки в дизельное топливо применяют и в виде метилового эфира рапсового масла (МЭРМ), получаемого при метанолизе рапсового масла. Метилвый эфир рапсового масла по своей физико-химической характеристике (вязкость – зольность) ближе к дизельному топливу. При применении МЭРМ необходима интенсификация процессов впрыскивания, смесеобразования и сгорания.

Качество метиловых эфиров рапсового масла нормируется Европейским Стандартом EN 14.214.2003 (Е). Так, во Франции дизельное топливо разбавляют МЭРМ до 5%-ной концентрации, в Чехии это соотношение доводят до 30%. Вместо рапса используют и другие культуры. В Европе для промышленного использования разработано дизельное топливо Diester на основе метиловых эфиров растительных масел. Его используют как в чистом виде, так и в смеси с товарным дизельным топливом в соотношении 1:1.

Таким образом, в дизельных двигателях с непосредственным впрыском растительные масла не могут быть использованы длительное время, поскольку сгорают не полностью, ухудшают качество моторных масел за счет смешивания, способствуют образованию продуктов коксования, которые вызывают отложения на форсунках, поршнях и поршневых кольцах.

В предкамерных и вихрекамерных двигателях длительное использование растительных масел на первый взгляд кажется возможным, поскольку масло дополнительно подогревается перед воспламенением, что обеспечивает хорошее смешивание с воздухом и более полное сгорание. Вместе с тем в двигателе с непосредственным впрыском возможно некоторое

изменение конструкции поршней, головок цилиндров и форсунок с целью более длительного использования растительных масел в качестве топлива.

Таким образом, топливо из растительного рапсового масла в дизельных двигателях можно применять при следующих условиях:

физические свойства, химический состав, чистота рапсового масла должны обеспечивать применение рабочей смеси в двигателях при запуске;

топливные фильтры, топливный насос и распылители форсунок не должны быть засорены;

качество распыла топливной смеси должно обеспечивать ее полное сгорание, скорость воспламенения должна быть минимальной; поршневые кольца должны быть без нагара и обеспечивать заданное рабочее давление при сжатии горючей смеси;

рабочая смесь не должна оставаться на стенках цилиндров, исключаются перетекание смеси в масляный картер и ухудшение качества смазочного масла и работы всей смазочной системы.

Отмеченные условия определяют требования к используемому в качестве топлива маслу, которым должно соответствовать дизельное топливо. Двигатели должны быть доработаны, чтобы обеспечить полноту сгорания рабочей смеси, уменьшить нагар и отложения сажи.

4.3. Сырьевая база

Для производства биодизельного топлива, как отмечалось, в мире, в основном, используются следующие виды сырья:

- рапс (канола) Европа;
- соя (США);
- рапс (канола) (Канада);
- пальмовое масло (Индонезия);
- пальмовое, кокосовое масла (Филиппины);
- ятрофа (Индия);

- соя, ятрофа (Африка);
- соя, касторовое масло (Бразилия);
- рапс (Россия).

Лидерами по производству биодизельного топлива в мире являются Германия (2.91 млн т), Франция (1.49 млн т), Италия (1.39 млн т) и США (1.29 млн т).

В Германии биодизельное топливо получают из рапса. В 2007 г. посевные площади под масличными культурами составили 1387 тыс. га, в том числе под рапсом для производства биодизеля прогнозируется на 1120 тыс. га. Если в 1997 г. для возделывания возобновляемого сырья посевные площади занимали 400 тыс. га, то за десять лет они возросли в 5 раз и составили более 2 млн га. Основной прирост произошел за счет рапса.

В США в настоящее время 90% биодизельного топлива получают из соевого масла, а остальное – из других видов масел, включая животный жир. По данным национального управления по биодизельному топливу (NBB), в 2005 г. потребление и производство биодизельного топлива из соевого масла увеличились по сравнению с 2004 г. втрое – до 75 млн галлонов (285 млн л), а в 2006 г. – до 150–200 млн галлонов (570–760 млн л).

Для сравнения в странах Европы в 2005 г. было произведено 800 млн галлонов (3 млрд л), большей частью в Германии.

Проблема биодизельного топлива в Италии заключается в отсутствии достаточной сырьевой базы (т.е. растительных масел) для его производства. В настоящее время за счет местных растительных масел - подсолнечного и соевого - производится лишь 20% всего биодизельного топлива, тогда как 70% потребности промышленности обеспечивается за счет импорта рапсового и соевого масел.

В Канаде производство рапсового семени (канолы) в 2006 г. находилось на уровне 8.3 млн т, а с учетом технологического прогресса к 2015 г. может увеличиться до 14 млн т, из которых 2.5 млн предполагается использовать для получения биодизельного топлива.

В Великобритании топливо смешивают с подсолнечным маслом - оно на 20% дешевле дизельного. Одновременно решается проблема утилизации растительного масла, бывшего в употреблении в ресторанах, кафе и других местах, а это почти 70 млн л.

По оценкам английских специалистов, стоимость процесса производства дизельного биотоплива для дорожного транспорта в настоящее время в 2-3 раза превышает стоимость обычных видов топлива. Поэтому правительством поставлена задача разработать более эффективные и менее дорогостоящие технологии переработки биологического сырья для получения очищенного от окиси углерода топлива.

В последние десятилетия особый интерес вызывают высокоэнергетические культуры, т.е. культуры с высоким удельным содержанием углеводов. Это масличные культуры (рапс, сурепица, соя, подсолнечник и др.), используемые для производства дизельного биотоплива, зерновые (кукуруза, пшеница, сорго и др.) и технические (сахарная свекла, сахарный тростник и др.).

В отличие от зерновых колосовых культур рапс является более требовательным к агротехнике и агрономической службе растением. Очень мелкий размер семян увеличивает риск значительных потерь при выполнении технологических операций посева, сбора урожая, транспортировки и хранения. Однако благодаря современным техническим приспособлениям к зерноуборочным комбайнам (боковые вертикальные ножи жатки, специальная приставка-удлинитель для мелкосемянных культур) потери урожая при уборке можно снизить до минимума.

К специфическим техническим проблемам, которые требуют первоочередного решения в связи с расширением посевов рапса, относятся обеспечение хозяйств посевной техникой для точного высева семян, опрыскивателями, пестицидами, сушильными установками, также машинами для послеуборочной обработки семян.

Поступающий после прямого комбайнирования ворох не соответствует базисным требованиям к товарным семенам рапса (засоренность – 3%, влажность – 8%). Кроме того, его высокая влажность (до 20–25%) и засоренность (до 40–70%) предъявляют высокие требования к техническому уровню очистительно-сушильной линии, технологии обработки семян рапса и режимам работы машин. Высокая влажность вороха свидетельствует о том, что (видимо из-за недостатка опыта) было выбрано не совсем оптимальное время уборки.

4.4. Установка, технологии и производство биодизеля

Основной способ выделения масла из его источника – прессование: выход масла – 28–29 %, экстрагирование – 40–42 %. Применяется и комбинированный способ получения масла: сначала происходит предварительный съем масла на прессах, после чего производят экстрагирование твердого остатка (жмыха). Общими подготовительными стадиями для данных способов получения масла являются очистка, сушка, обрушивание (разрушение) кожуры источник масла и отделение ее от ядер. После этого ядра источник масла измельчают, получая мятку. Перед отжимом мятку прогревают в жаровнях при 100–110 °С, одновременно перемешивая и увлажняя. Прожаренную мятку - мезгу отжимают в шнековых прессах, причем высокомасличное сырье прессуют дважды: сначала на форпрессах, а после вторичного прожаривания – на прессах окончательного отжима.

Различают масло холодного и горячего прессования. При горячем прессовании измельченные семена подогревают в специальных аппаратах, чтобы в семенах раскрылись капилляры и было легче извлечь масло. Масла, полученные холодным прессованием, отличаются высокими вкусовыми свойствами и максимальной биологической ценностью, обусловленной наиболее полным сохранением в них биологически активных компонентов.

Однако они неустойчивы при хранении. Масла, полученные горячим прессованием, имеют более интенсивную окраску, выраженный аромат и устойчивее в хранении.

Экстрагирование растительных масел проводят в специальных аппаратах при 50–55°C растворителем (бензин, гексан или этанол) до возможно полного извлечения масла. Схема получения масла методом экстрагирования представлена на рис. 4.1.

Из полученного раствора (мисцелла) отгоняют растворитель, который используют многократно, а масло охлаждают и фильтруют.

Технология получения масла и шрота методом экстрагирования предварительным прессованием предусматривает предварительную очистку источника масла до содержания основной культуры 95–99 %. После этого производится предварительный подогрев источника масла. Данная операция обязательна в зимний период, когда холодные семена плохо расслаиваются при дроблении. Семена размалываются, при дроблении многие маслосеменные клетки остаются неповрежденными. Оболочки этих клеток делаются проницаемыми для масла при варке, которая способствует также коагуляции масла в крупные капли. Раздробленные сваренные семена поступают на прессы или в отгонный аппарат.

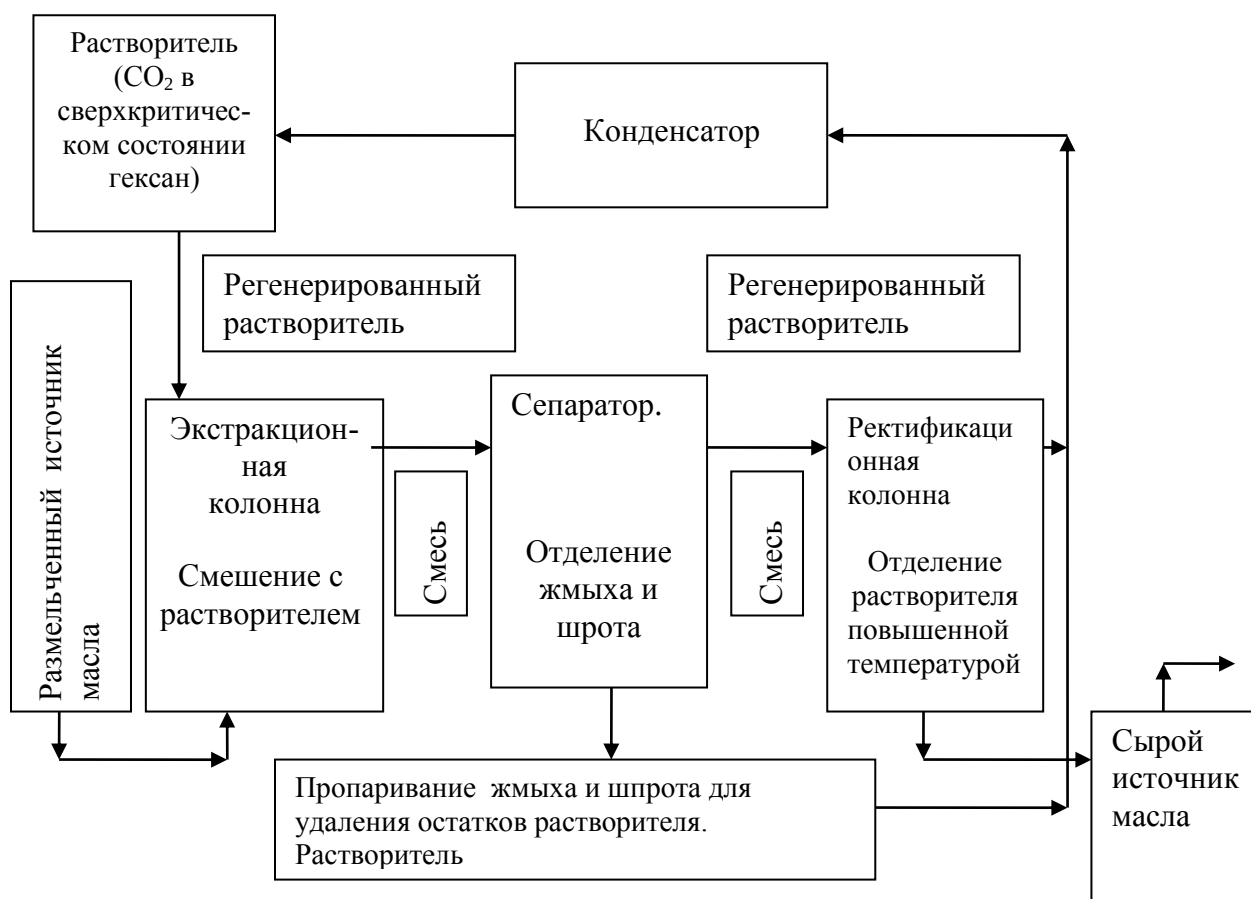


Рис. 4.1. Схема получения масла методом экстрагирования

Жмых, содержащий 15 – 18 % остаточного масла, из отгонных аппаратов направляется в дробилку, после чего смешивается с промышленным гексаном. Растворитель отделяется из смеси в аппаратах, удаляющих растворитель, из которых шрот выходит свободным от растворителя, содержит примерно 1.5 % остаточного масла и имеет влажность 10%. После охлаждения шрот готов для использования. Для полного удаления растворителя шрот подвергается обработке паром.

Для получения биодизеля используют любые виды растительных масел - подсолнечное, рапсовое, льняное и т.д. При этом биодизель, полученный из разных масел, имеет некоторые отличия. Так, например, пальмовый биодизель имеет наибольшую калорийность, но и самую высокую температуру фильтруемости и застывания. Биодизель, полученный из рапса, несколько уступает пальмовому по калорийности, но лучше переносит холод, так как более всего подходит странам, где сравнительно холодный климат.

наряду с этим используются отработанные растительные масла и животные жиры. Кроме масел и жиров, в процессе производства биодизеля используются метанол и щелочные катализаторы. Выбор катализатора – одно из самых важных решений при получении биодизеля. Обычно используются три типа катализаторов:

- КОН - кристаллы, растворенные в метаноле;
- NaOH - кристаллы, растворенные в метаноле;
- метилат натрия.

Например на 1 т произведенного биодизеля необходимо приблизительно 100 кг метанола.

Известны метанол (CH_3OH) метиловый спирт, метилгидрат – бесцветная жидкость с запахом, подобным запаху этилового спирта. С воздухом в объемных концентрациях 6.72–36.5% образует взрывоопасные смеси; температура вспышки 15.6°C . Пределы самовоспламенения – от 6.7 до 34.7 объемных долей, легковоспламеняющаяся ядовитая жидкость, смешивающаяся в любых соотношениях с водой, обладает всеми свойствами предельных одноатомных спиртов.

КОН – дешевый доступный продукт и при растворении в метаноле применяется в качестве катализатора. Но для получения одной и той же степени конверсии необходимо большее количество катализатора по сравнению с NaOH. Главная проблема здесь – ионы калия, которые обнаруживаются в глицерине, где они формируют соли калия с кислотными группами, используемыми для окисления. Эти соли имеют очень низкую растворимость в глицерине, поэтому немедленно образуются солевые кристаллы. Во-первых, это риск для оборудования, особенно в случае случайных прерываний производства. Во-вторых, твердые соли необходимо удалить при обработке глицерина. В связи с этим необходима установка фильтра или суперсепаратора. Это технически сложное оборудование должно работать при очень низком pH (pH около 1), что очень проблематично. Кроме

того, при этой обработке всегда будут потери глицерина в виде солей, что невыгодно экономически.

NaOH - кристаллы добавляют в метанол – такой катализатор готов к употреблению. Однако есть некоторые практические и технологические трудности. Во-первых, растворенные NaOH-кристаллы являются экзотермической реакцией, т.е. емкость для этой операции должна охлаждаться для предотвращения потерь метанола через испарение. Во-вторых, кристаллы NaOH гигроскопические. Они поглощают влагу из воздуха и имеют тенденцию к склеиванию в объемах, где содержатся. Наконец, необходимо, соблюдение всех инструкций безопасности.

Чистый метилат натрия (NaOCH_3) не используется, поскольку он слишком пожароопасен. В основном применяют 30%-ный раствор в метаноле. Это – жидкость, что является важным преимуществом, так как работать с жидкостями легче, чем с порошками. NaOCH_3 хранится в емкостях рядом с хранилищем метанола на специально оборудованной площадке. NaOCH_3 – наиболее эффективный катализатор: использование небольшого количества (приблизительно 10 кг/т биодизеля) дает достаточно хорошую переэтерификацию с низким уровнем моно- и диглицеридов в получающемся эфире. Это положительно отражается на качестве глицерина, так как задействовано в реакции небольшое количество ионов натрия: концентрация солей в глицерине будет низкой.

4.5. Циклическая технология получения биодизеля

Циклическая технология – самая простая технология получения метиловых эфиров жирных кислот. Метанол смешивают с растительным маслом в соотношении от 1:4 до 1:20 (оптимально 1:6) в реакторе с мешалкой. Реактор оснащен в системе конденсации метанола. Реакция

обычно проходит при температуре 65°C . Используют щелочные катализаторы NaOH или KOH в количестве 0.3–1.5% от массы растительного масла.

Сначала в реактор заливают растительное масло, а затем – метанол с катализатором. Для лучшего перемешивания растительного масла, метанола и катализатора используют мешалку. Ближе к концу реакции мешалку отключают для более эффективного отделения глицерина. После остановки перемешивания реактор будет действовать как сепаратор. После слива глицерина через донный клапан может быть запущена вторая реакция. Иногда для лучшей сепарации смесь перекачивают в другую емкость или применяют для разделения центрифуги. Для удаления метанола из эфира и глицерина используют испарители. Далее эфир нейтрализуют, тщательно промывают теплой водой для удаления остаточного метанола и солей, а затем сушат. Готовое биодизельное топливо перекачивают в емкости для хранения. Глицерин нейтрализуют, промывают водой и отправляют в секцию дальнейшей очистки.

Производительность завода может быть увеличена при использовании дополнительных реакторов. Выход метилового эфира после первой реакции составляет 85–94% от общей массы полученного биодизельного топлива. Для достижения более высокого выхода «м» типового эфира (-95%) используют двухшаговый процесс с извлечением глицерина после каждого шага. Обычно реакция длится от 3–6 мин до нескольких часов (рис.4.2.).

Преимущество этой линии относительной простоте и невысокой стоимости технологии. Простая и универсальная технология не требует значительных затрат и может применяться при небольших объемах производства 1450–900 т биодизеля в год).

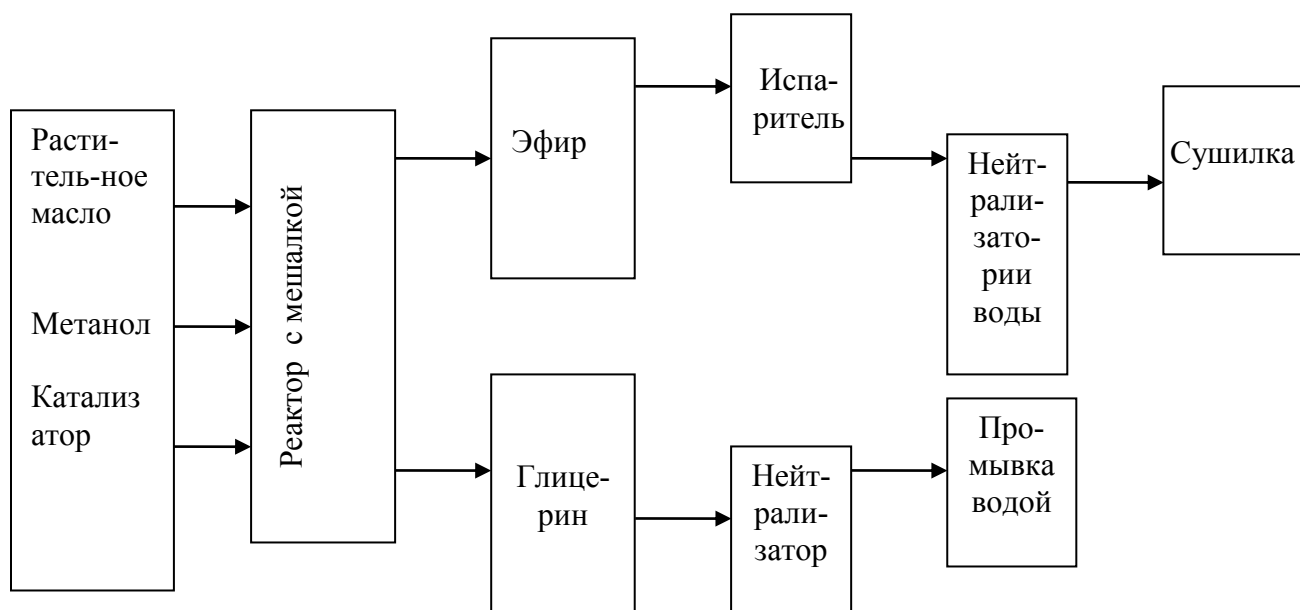


Рис.4.2. Циклическая технология получения биодизеля

Недостатком такой технологии являются: невысокий выход метилового эфира (85–95% от общей массы полученного биодизельного топлива) и длительное время реакции переэтерификации (от 20 мин до нескольких часов).

4.6. Безкатализаторные циклические технологии получения биодизеля

Растворители добавляют для того, чтобы улучшить растворимость метанола в растительном масле. Одна из таких технологий – так называемый Bioх-процесс (рис.4.3), где для растворения метанола добавляют тетрагидрофуран. В результате время реакции сокращается до 5–10 мин и отпадает необходимость в катализаторе. Тетрагидрофуран используют, по причине того, что его температура кипения низка в сравнении с температурой кипения метанола. После реакции остаточный метанол и растворитель легко удаляются из испарителя. Для протекания этой реакции не нужна высокая температура – достаточно 30°C.

Достоинства процесса – достаточно четкая граница эфир - глицерин, а конечный продукт (метиловый эфир) не содержит катализатора и воды. Для реализации данной технологии необходимо специальное оборудование. Технологическая линия получения биодизеля более сложная и дорогая по сравнению с катализаторной технологией. Растворитель может загрязнять атмосферный воздух, поэтому для его извлечения с метанолом и рециркуляции необходимы специальное, герметичное оборудование и постоянный контроль за состоянием воздуха в рабочей зоне. Растворитель должен быть полностью удален из биодизельного топлива и глицерина. Недостатки такой технологии – отсутствие необходимости в катализаторе, быстрое прохождение реакции (5–10 мин), отсутствие в конечных продуктах (метилом эфире и глицерине) катализатора и воды. Для прохождения реакции необходима невысокая температура (30°C) и упрощенное извлечение растворителя и метанола.

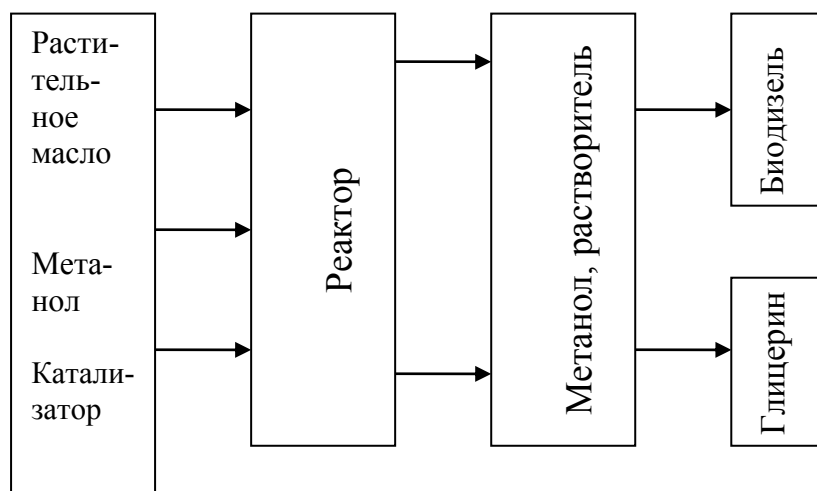


Рис.4.3. Технология получения биодизеля Biox-процессом

Однако необходимость применения дорогостоящих растворителей и потребность в дополнительном оборудовании для использования растворителя, а также высокая агрессивность растворителей по отношению к атмосферному воздуху, затрудняют и несколько снижают эффективность такой технологии.

Специалистами она рассматривается как одна из наиболее перспективных для больших объемов производства (свыше 5 тыс. т биодизеля в год).

4.7. Суперкритические технологии получения биодизеля

При этой технологии используют большое количество метанола в пропорции 42 : 1 к растительному маслу. В суперкритических условиях (температура 350-400°C, давление 80 атм) реакция проходит за 3–5 мин. После реакции необходимо быстрое охлаждение продуктов во избежание их распада. Впервые данная технология была реализована в Японии (рис.4.4).

Преимуществом такой технологии можно считать простоту схемы процесса ее протекания – за очень короткое время происходит реакция (3–5 мин) разделения при отсутствии необходимости в катализаторе.

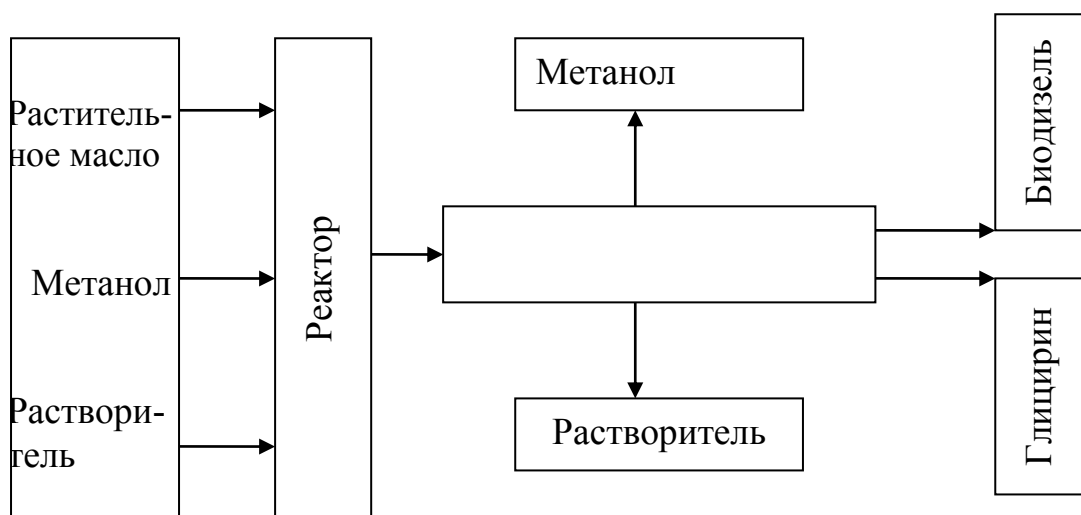


Рис.4.4. Суперкритическая технология получения биодизеля

Однако, несмотря на такое преимущество в технологии, имеются и недостатки, в частности, необходимость в специальном дорогостоящем оборудовании для создания критических условий и сравнительно большие

энергозатраты. В настоящее время, несмотря на быстротечность такой технологии, она не нашла широкого применения, в промышленности

4.8. Многореакторная непрерывная технология

В последнее время широкое применение находит многореакторная непрерывная технология. Использование при этом нескольких реакторов, объединенных в единую цепочку, делает технологический процесс получения биодизельного топлива непрерывным.

В качестве реактора используется горизонтальный барабан с внутренними перегородками. Такая схема позволяет проводить стандартизацию и надлежащий контроль за временем нахождения сырья в реакторе. В барабан постоянно вводятся компоненты. Для лучшего перемешивания сырья применяют мешалки, а продукты реакции выводятся из барабана посредством слива. Время реакции в каждом реакторе напрямую связано с его вместимостью. После удаления глицерина реакция происходит гораздо быстрее, и выход метилового эфира составляет до 98% от общей массы полученного биодизельного топлива.

В другой системе компоненты подаются прямо во всасывающий патрубок центробежного насоса. Последнее – превосходное устройство смешивания, а труба за насосом может быть определена как «трубчатый реактор». Это означает, что труба должна иметь определенный диаметр и длину для создания достаточного объема и времени для завершения реакции. Дополнительная установка статических смесителей (лопастей) в «трубный реактор» увеличит выход продуктов реакции. В «трубном реакторе» время задержки постоянно, и труба ведет прямо в сепаратор.

Достоинство данной технологии в уменьшении времени реакции до 6–10 мин. Обычно для увеличения скорости реакцию проводят при повышенных температуре (80–160° С) и давлении (2–3 атм) (рис.4.5). Кроме

того, выход метилового эфира составляет до 98% от общей массы полученного биодизельного топлива, время реакции – непродолжительное (6–10 мин), так как технологический процесс непрерывный.

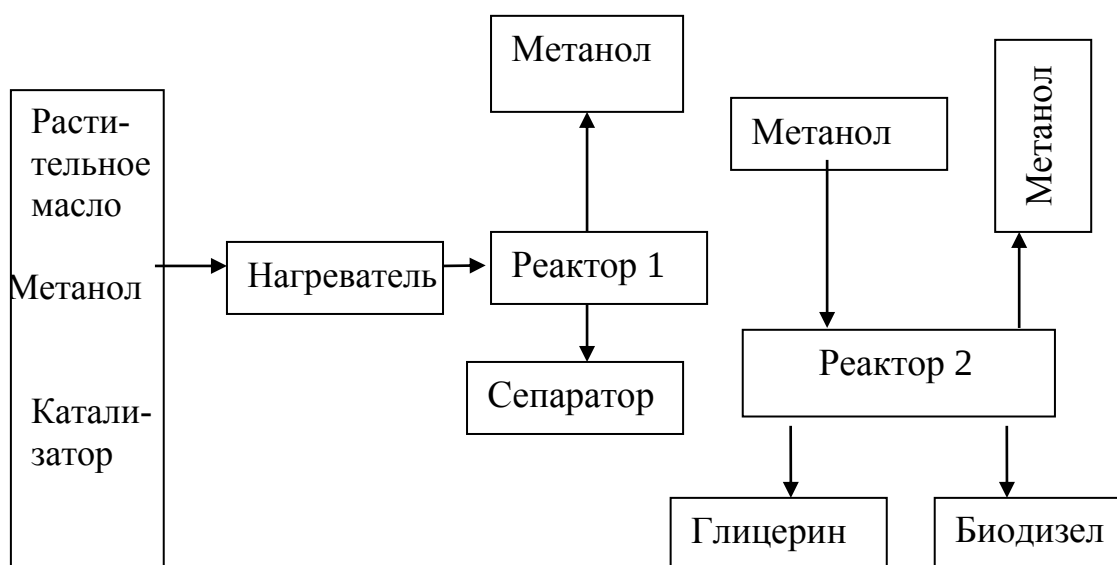


Рис.4.5. Многореакторная непрерывная технология получения биодизеля

Недостатком такой технологии является сложность процесса, более высокая стоимость технологической линии и более высокая чувствительность к качеству исходного сырья. Технологию целесообразно применять при больших объемах производства (свыше 5 тыс. т биодизеля в год).

Выбор технологии производства биодизельного топлива зависит от желаемых объемов производства, вида исходного сырья и его качества, способов очистки от метанола и катализатора. При этом одни технологии предусматривают использование различного исходного сырья, другие – нет.

Для небольших заводов, использующих исходное сырье невысокого качества, более предпочтительна простая циклическая технология. Для больших объемов производства лучше подходит многореакторная непрерывная технология, предъявляющая более строгие требования к качеству исходного сырья.

«Desmet Ballestra» (Италия) разработала технологию непрерывной переэтерификации для производства заменителей дизельного топлива из широкого спектра растительных масел различной степени чистоты (сырое,

нейтральное, рафинированное), включая отработанные и «пережаренные» масла из пищевых производств без предварительной стадии полной очистки. Это позволяет использовать более дешевые сырьевые материалы по сравнению с традиционными технологиями, основанными на рафинированных маслах.

Технология Ballestra основывается на установке для трехстадийной непрерывной переэтерификации, которая обеспечивает работу в мягких рабочих условиях с постоянным контролем качества и минимизацией удельного потребления сырьевых материалов и энергии.

Реакции переэтерификации при непрерывном процессе имеют особые преимущества по сравнению с традиционным периодическим процессом.

В периодическом процессе, где в исходной реакционной смеси метиловый эфир не присутствует, реакция переэтерификации требует некоторого времени инициирования, прежде чем образуется местное количество метилового эфира. В непрерывном процессе, наоборот, оба реагента подаются в реакционную смесь, содержащую постоянное количество метилового эфира, а общая скорость повышается из-за быстрого контакта между двумя реагентами. При превращении масла в метиловый эфир наблюдается почти десятикратное снижение вязкости. Следовательно, вязкость реакционной смеси в непрерывном реакторе существенно ниже вязкости исходной реакционной смеси в периодическом реакторе, что обеспечивает повышенную общую интенсивность перемешивания при сопоставимых расходах энергии. Общие преимущества непрерывного процесса: снижение габаритных размеров оборудования при заданной производительности установки благодаря отсутствию простоев для загрузки - разгрузки, пониженный расход энергии и вспомогательных материалов, простота автоматизации управления процессом, более высокая однородность продукта.

В настоящее время новые биодизельные установки строятся в Западной Европе, Северной и Южной Америке с применением новейших технологий.

