

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра энергетики

# **БИОЭНЕРГЕТИКА**

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением высших  
учебных заведений Республики Беларусь по образованию в области сельского  
хозяйства в качестве пособия для студентов высших учебных  
заведений групп специальностей 74 06 Агроинженерия*

Минск  
БГАТУ  
2011

УДК 620.9  
ББК 31.19  
О 75

Составители:

кандидат технических наук, доцент *В. А. Коротинский*,  
кандидат технических наук, доцент *К. Э. Гаркуша*

Рецензенты:

кафедра «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии» БНТУ;  
доктор технических наук, доцент кафедры «Металлургические технологии» БНТУ  
*И. А. Трусова*

**Биоэнергетика** : пособие / сост.: В.А. Коротинский, К.Э. Гаркуша.  
О75 – Минск : БГАТУ, 2011. – 148 с.  
ISBN 978-985-519-434-8.

Содержатся основные сведения по использованию и переработке биомассы в энергетических целях, включая перспективы применения в Республике Беларусь в условиях рыночной экономики с учетом мирового опыта, а также представлены необходимые справочные данные.

Предназначено для студентов очной формы обучения и магистрантов агроинженерных специальностей.

**УДК 620.9**  
**ББК 31.19**



# СОДЕРЖАНИЕ

---

ВВЕДЕНИЕ .....	5
Раздел 1. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОМАССЫ В ЭНЕРГЕТИКЕ .....	9
1.1. ТЕРМОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ БИОМАССЫ ...	11
1.2. ГАЗИФИКАЦИЯ И ПИРОЛИЗ.....	23
1.3. ПРОИЗВОДСТВО БИОВОДОРОДА .....	28
1.4. ПРОИЗВОДСТВО БИОТОПЛИВА.....	28
Раздел 2. ПЕРЕРАБОТКА БИОМАССЫ И ОТХОДОВ.....	40
2.1. ПОЛУЧЕНИЕ БИОГАЗА .....	40
2.2. ПРОИЗВОДСТВО БИОГАЗА В СТРАНАХ ЕС .....	44
2.3. КОГЕНЕРАТОРНЫЕ УСТАНОВКИ С ГАЗОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ.....	50
2.4. ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗА В БЕЛАРУСИ .....	63
Раздел 3. ПОЛУЧЕНИЕ ГАЗА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ОТХОДОВ.....	72
3.1. ПЕРЕРАБОТКА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ .....	74
3.2. ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	76
3.3. ГИДРОМЕХАНИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ.....	79
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	82
ЛИТЕРАТУРА .....	84
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	87

**Возобновляемые источники энергии – это не альтернатива существующей энергетике, а ее будущее, и вопрос лишь в том, когда это будущее наступит, и что мы можем сделать, чтобы его приблизить.**

*П.П. Безруких, начальник Управления научно-технического прогресса Минтопэнерго Российской Федерации*

## **ДЛЯ СПРАВКИ**

**Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии (НВИЭ)** – источники электрической и тепловой энергии, использующие энергетические ресурсы рек, водохранилищ и промышленных водостоков, энергию ветра, солнца, редуцируемого природного газа, биомассы (включая древесные отходы), сточных вод и твердых бытовых отходов (*СТБ 1346-2002 Энергосбережение. Общие положения*).

**БАРРЕЛЬ** (*англ. barrel, осн. значение – бочка*) – мера вместимости и объема, применяемая в США, Англии и ряде стран, использующих английскую систему мер. В США различают баррель сухой, равный  $115,628 \text{ дм}^3$ , и баррель нефтяной, равный  $158,988 \text{ дм}^3$ . Английский баррель (*мера вместимости для сыпучих веществ*) равен  $163,65 \text{ дм}^3$ .

**ГАЛЛОН** (*англ. gallon*) – единица объема (емкости, вместимости) в системе английских мер, применяется в Англии, США и других странах главным образом для измерения объема жидких и сыпучих тел. Английский галлон =  $4,54609 \text{ дм}^3$ . Американский галлон для жидкости =  $3,78543 \text{ дм}^3$  и для сыпучих тел =  $4,405 \text{ дм}^3$ .

**АКР** (*acre*) – земельная мера, применяемая в ряде стран, использующих английскую систему мер (Великобритания, США, Канада, Австралия и др.).  $1 \text{ акр} = 0,405 \text{ га} = 4046,86 \text{ м}^2$ .

**ВЕНЧУРНЫЙ КАПИТАЛ** (*англ. Venture Capital*) – капитал инвесторов, предназначенный для финансирования новых, растущих или борющихся за место на рынке предприятий и фирм (стартапов), и поэтому сопряженный с высокой или относительно высокой степенью риска; долгосрочные инвестиции, вложенные в рискованные ценные бумаги или предприятия, в ожидании высокой прибыли. Венчурный капитал, как правило, ассоциируется с инновационными компаниями.

## ВВЕДЕНИЕ

Биоэнергетика — технологии использования возобновляемых органических ресурсов, так называемой «биомассы», для производства энергии, включая электроэнергию, энергию жидких, твердых и газообразных видов топлива, теплоты, химических веществ и других материалов.

Биоэнергетика после солнца является самым мощным возобновляемым источником энергии.

Топливо из биомассы начинает становиться более популярным из-за растущих цен на ископаемые виды топлива (рис. 1). Кроме того, использование биоэнергетических источников снижает загрязнение, помогает контролировать выбросы двуокси углерода.



а)



б)

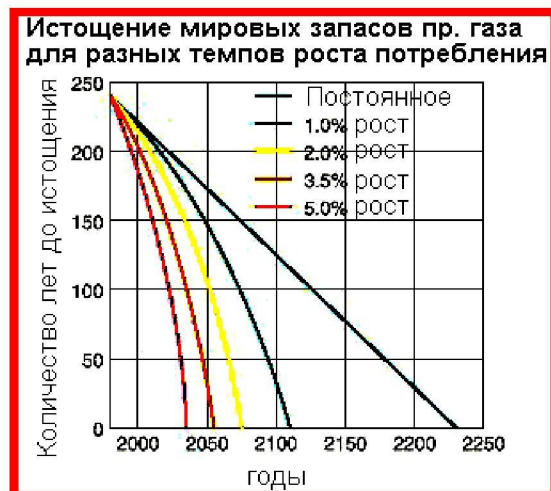


Рис. 1. Динамика цены на нефть (а) и сценарий использования энергетических ресурсов в мире (б)

Биомасса – любые материалы биологического происхождения, продукты жизнедеятельности и различные органические отходы. Биомасса будет

существовать на Земле, пока на ней существует жизнь. По данным Европейской экономической комиссии ООН, ежегодный прирост органического вещества на Земле эквивалентен производству такого количества энергии, которое в 10 раз больше годового потребления энергии всем человечеством на современном этапе.

## МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ «ЧИСТЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

С точки зрения уровня доходности и тенденций развития основными сегментами мирового рынка «чистых технологий» (Cleantech) являются биотопливо (биоэтанол, биодизель), солнечная и ветряная энергетика.

Совокупный объем продаж по этим трем направлениям по итогам 2008 года составил 115,9 млрд долларов (рис. 2), что выше показателя предыдущего года на 53 %. В зависимости от вида возобновляемых источников энергии (ВИЭ) уровень потребления распределился следующим образом:

- **биотопливо** – 34,8 млрд долларов (всего в 2008 г. было произведено 17 млрд галлонов биоэтанола и 2,5 млрд галлонов биодизеля);
- **ветроэнергетика** – 51,4 млрд долларов (в 2008 г. были установлены новые ветроэнергетические установки совокупной мощности 27 000 МВт, что стало рекордным показателем прироста);
- **солнечная энергетика** – 29,6 млрд долларов (в 2008 г. в мире были установлены солнечные коллекторы совокупной мощностью 4 ГВт).

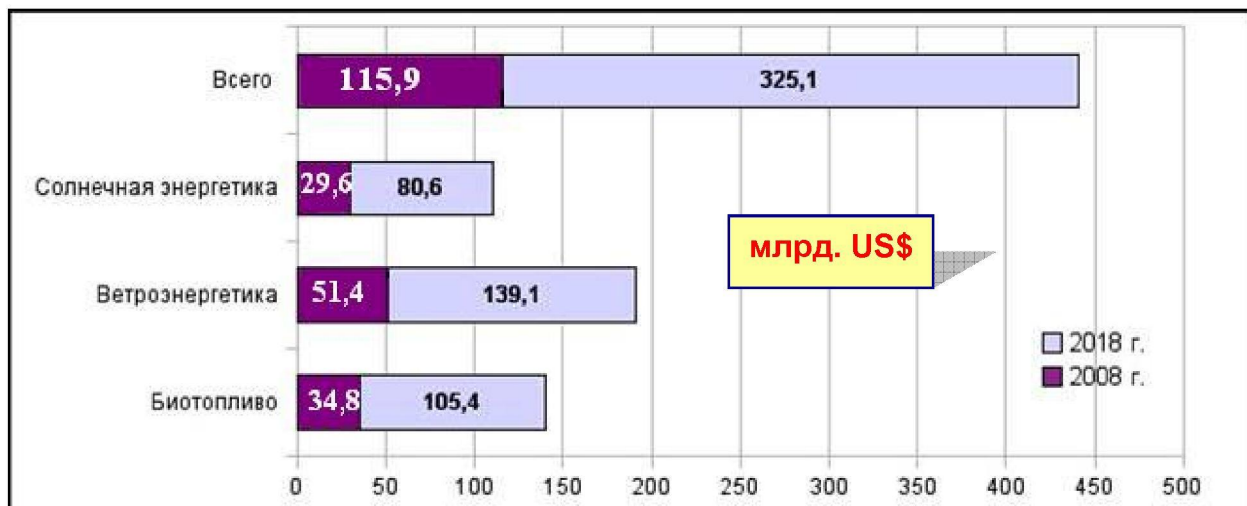


Рис. 2. Прогноз развития мирового рынка Cleantech

В ближайшие 10 лет ожидается значительный рост спроса на все из вышеперечисленных НВИЭ. В настоящее время можно выделить следующие регионы (страны-лидеры), где наблюдается активное применение «чистых технологий» (табл. 1).

Государственные инициативы являются одним из основных стимулов развития рынка «чистых технологий» в мире. Примечательно, что, вопреки всеобщим ожиданиям, мировой финансово-экономический кризис не сказался на сокращении государственной поддержки отрасли. По данным отчета

Deutsche Bank Group, за период с июля 2008 г. по февраль 2009 г. во всем мире было принято около 250 законодательных актов и предписаний, посвященных глобальной проблеме изменения климата. Объем государственного финансирования за аналогичный период составил 200 млрд долларов. Наиболее показательной в данном отношении является политика США.

Согласно последнему Акту, подписанному Президентом Обамой в феврале 2009 г., в отрасль cleantech инвестировано 70 млрд долларов в виде прямых капиталовложений и налоговых льгот. Согласно разделу 48С Программы по стимулированию экономики (American Recovery and Reinvestment Act) налоговые льготы в объеме 30 % к совокупному объему инвестиций предусмотрены в отношении 183 проектов производств в 43 штатах.

Таблица 1

Страны-лидеры в развитии рынка «чистых технологий»

Регион	Источник энергии	Назначение	Доля рынка
Бразилия	Биоэтанол	Жидкое моторное топливо	Около 50 % спроса на моторное топливо (без учета дизельного топлива)
Дания	Ветер	Получение электрической энергии	15 % получаемой электроэнергии
США, штат Айова	Ветер	Получение электрической энергии	5,5 % получаемой электроэнергии в штате в 2007 г. В 2008 г. Число используемых ветрогенераторов выросло более, чем в 2 раза
США	Биоэтанол	Жидкое моторное топливо	Около 8 % спроса на моторное топливо (без учета дизельного топлива)
Китай	Солнце	Получение тепловой энергии	Около 20 % используемой энергии для горячего водоснабжения

По расчетам правительства, частный капитал, привлеченный в сферу альтернативной энергетики, благодаря налоговым послаблениям составит 5 млрд долларов (рис. 3). По оценке New Energy Finance, прирост объема мировых инвестиций в «чистые технологии» составил в 2008 г. 4,7 %: с 148,4 млрд долларов в 2007 г. до 155,4 млрд долларов в 2008 г. В абсолютном значении: государственные НИОКР – 7,5 млрд долларов; корпоративные НИОКР – 9,5 млрд долларов; небольшие по мощности проекты – 19,5 млрд долларов; венчурные инвестиции – 13,5 млрд долларов; торги на открытом рынке – 11,4 млрд долларов; операции с текущими активами – 94,0 млрд долларов.

Венчурные инвестиции — это, как правило, рискованные инвестиции, обладающие доходностью выше среднего уровня. Также они являются инстру-



ментом для получения доли во владении компанией. Венчурный фонд — это механизм инвестирования с образованием общего фонда (обычно партнерства) для инвестирования финансового капитала, в основном, сторонних инвесторов в предприятия, которые для обычных рынков капитала и банковских займов представляют слишком большой риск.

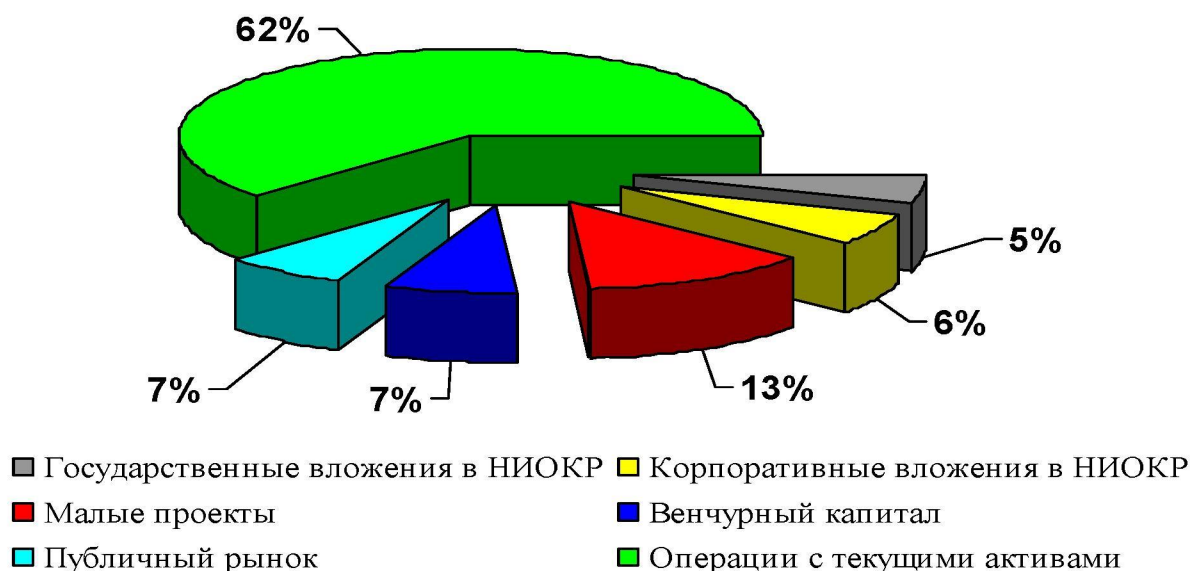


Рис. 3. Объем и структура мировых инвестиций

По оценке Всемирного фонда дикой природы, объем мирового рынка «чистых технологий» к 2020 г. составит 1,6 трлн евро (2,4 трлн долларов). В результате cleantech-отрасль станет третьим по уровню развития промышленным сектором экономики после автомобилестроения и электроники. Лидерами рынка «чистых технологий» по объемам продаж инновационных продуктов и технологий являются Германия, США и Япония. По показателю «доля clean-tech-продаж в объеме ВВП» можно выделить следующих ведущих региональных игроков: Дания (преимущественное развитие ветряной энергетики и производство теплоизоляции), Бразилия (производство биоэтанола), Германия (развитие ветряной и солнечной энергетики).

Единая энергосеть по выработке альтернативной энергии в Европе: девять европейских стран намерены инициировать масштабный проект по созданию единой энергетической сети, объединяющей установки по получению энергии из источников возобновляемой энергии в Северном море. Совместный проект должен объединить ветропарки, солнечные и волновые электростанции Германии, Великобритании, Франции, Бельгии, Дании, Нидерландов, Ирландии, Люксембурга и Норвегии.

## Раздел 1. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОМАССЫ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Для получения полезных продуктов или веществ биомасса требует переработки, которая носит комплексный характер (рис. 4) и позволяет решить ряд чрезвычайно важных проблем:

- ✓ **санитарно-экологическую** (обеззараживание отходов);
- ✓ **агрохимическую** (получение эффективных органических удобрений);
- ✓ **энергетическую** (получение качественного топлива, а затем тепловой и электрической энергии);
- ✓ **социальную** (улучшение условий труда и быта населения, увеличение урожайности сельскохозяйственных культур, повышение продуктивности животных, сокращение применения ядохимикатов и т. д.).

Основные направления использования биомассы в энергетике:

- ✓ дрова (хвойные, лиственные породы и быстрорастущие деревья);
- ✓ производство пеллет (древесные или торфяные гранулы);
- ✓ производство горючих брикетов (древесные, травяные, торфяные);
- ✓ производство древесной щепы (для прямого сжигания);
- ✓ соломенные или травяные тюки (в специальных топках);
- ✓ газификация;
- ✓ пиролиз;
- ✓ производство этанола;
- ✓ производство биодизельного топлива;
- ✓ производство биоводорода;
- ✓ производство биогаза.

Некоторые виды биомассы, используемой в виде топлива, показаны на рис. 5.



Рис. 5. Некоторые виды биомассы, используемой в виде топлива

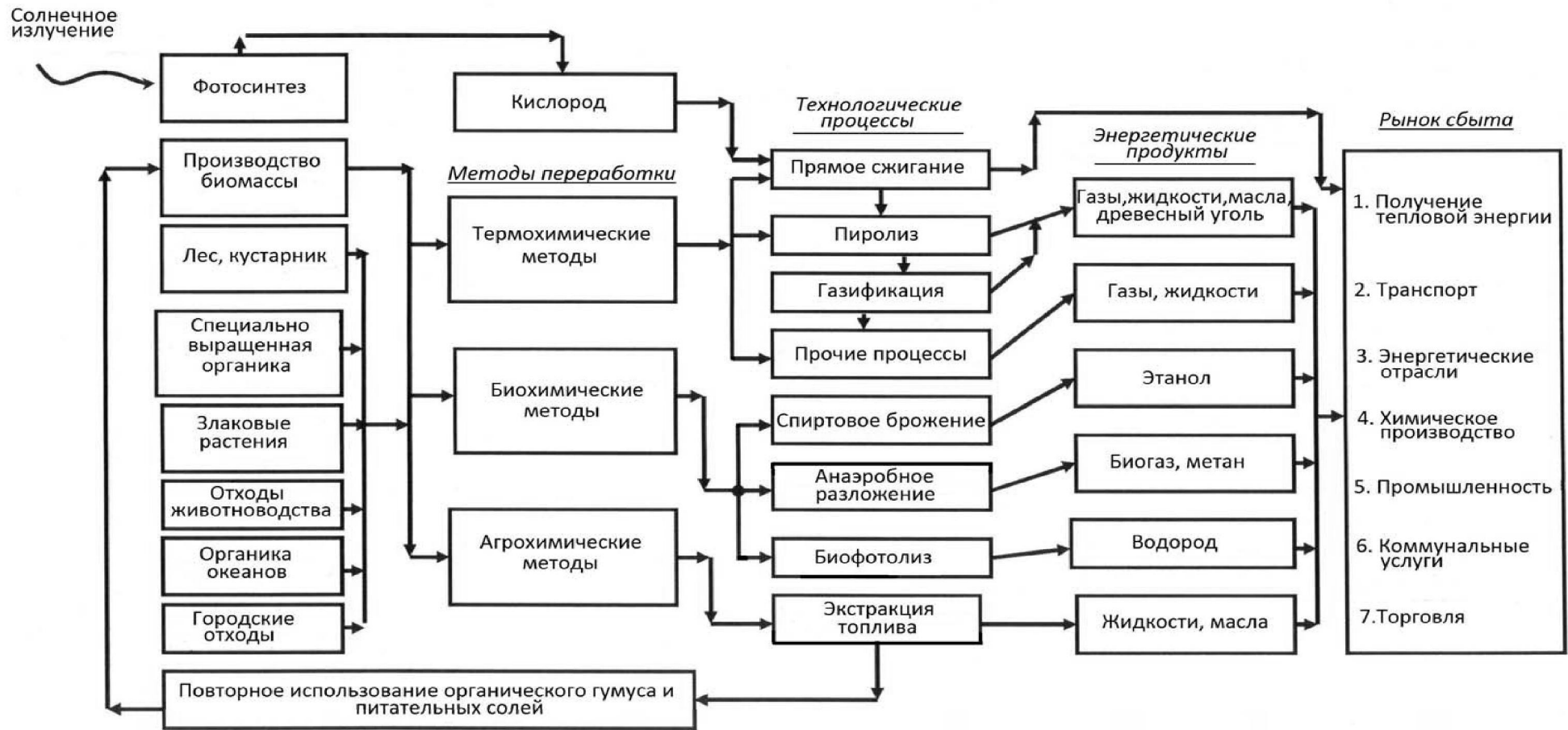


Рис.4. Процесс производства биотоплива



## 1.1. ТЕРМОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ БИОМАССЫ

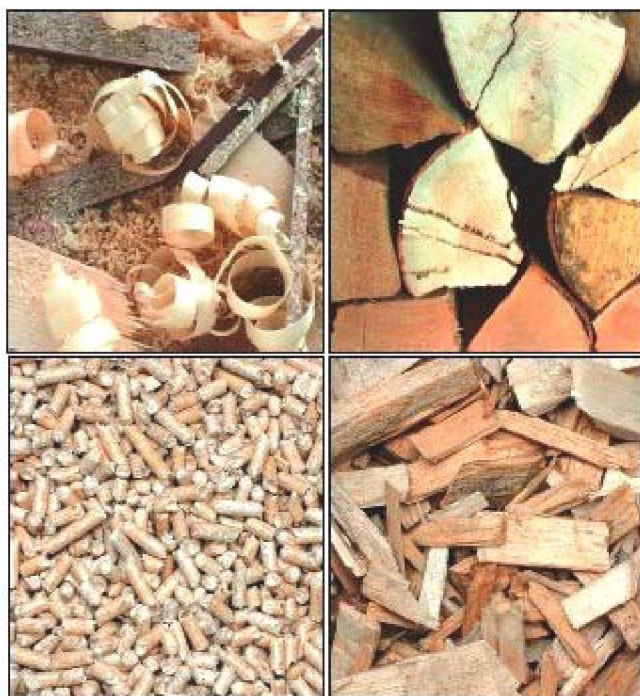


Рис.6. Древесное топливо

Термохимические методы переработки биомассы – это методы традиционного прямого сжигания древесного топлива (рис. 6) в энергетических (котельных) установках (рис. 7).

Централизованная заготовка дров и отходов деревообработки осуществляется предприятиями Министерства лесного хозяйства и концерна «Беллесбумпром». В целом по республике годовой объем использования дров и отходов лесопиления составляет около 1,0–1,1 млн т у. т. Часть дров поступает населению за счет самозаготовок, объем которых оценивается на уровне 0,3–0,4 млн т у. т.

Предельные возможности республики по использованию дров в качестве топлива можно определить, исходя из естественного годового прироста древесины, который приблизительно оценивается в 25 млн м<sup>3</sup> или 6,6 млн т у. т. в год

Общая площадь лесного фонда Беларуси на 1 января 2005 г. составила 9248 тыс. га, запас древесины – 1340 млн м<sup>3</sup>. Ежегодный текущий прирост составляет 32,37 млн м<sup>3</sup>.

Прогнозируется систематический и устойчивый рост ресурсов лесного сырья (до 1,8 раза к 2020 г.) при одновременном улучшении возрастного и природного состава лесов (табл. 2). Расход древесного топлива для производства электрической и тепловой энергии стационарными энергогенерирующими установками не превышает в настоящее время 600 тыс. т у. т. в год.

Таблица 2

Экономический потенциал использования дров и древесных отходов для производства тепловой и электрической энергии в Беларуси

Год	Дрова		Отходы деревообработки, млн т у. т.	Итого, млн т у. т.
	млн м <sup>3</sup>	млн т у. т.		
2010	9,40	2,50	0,37	2,87
2011	9,88	2,63	0,39	3,02
2012	10,15	2,70	0,40	3,10



Рис. 7. Термохимические (традиционные) методы переработки биомассы

У биотоплива много разновидностей, но наиболее популярны в мире гранулы или пеллеты (прессованные цилиндры) (рис. 8). Обычно их изготавливают из отходов лесопереработки: древесных пилок, стружки или коры. В двух килограммах пеллет энергии как в литре жидкого топлива.

Пеллеты производят Австрия, Бельгия, Франция, Нидерланды. В традиционных лидерах – Дания и Швеция. Сегодня в мире выпускают 8–10 млн т топливных гранул. Однако, по прогнозам руководителя Национального Биоэнергетического Союза Ольги Ракитовой, «к 2012–2013 гг. общий объем производства достигнет 20 млн т. В 2020 г. только Европа будет потреблять 80 млн т гранул. Это необходимо, чтобы уменьшить выбросы парниковых газов и уйти от зависимости от ископаемых видов топлива».

Россия, в которой сосредоточена четвертая часть мировых запасов леса (82 млрд м<sup>3</sup> древесины), может стать крупным экспортером древесной щепы и пеллет для Европы и других стран. Лес в России занимает 2/3 территории – 1,2 млрд га. В Национальном биоэнергетическом союзе считают, что Россия может заменить нефтяной и газовый экспорт экспортом биотоплива. Необходимые предпосылки для этого есть: Россия является лидером по запасам древесной биомассы, которая практически не используется. В дело идет лишь четверть того, что годится для переработки.

Надо отметить, что в 2010 году в России началась реализация проекта по строительству самого крупного в мире производства гранул мощностью 1 млн т гранул в год. Предприятие построят вблизи границы со странами Евросоюза в Ленинградской области.



Еще 3 года назад доля внутреннего рынка производимых в России гранул составляла около 5 % от общего объема, сегодня – не менее 30 %.

Кроме пеллет, также широко используются отходы деревообработки в виде брикетов (см. приложение и рис. 9).



*а*



*б*

Рис. 8. Разновидности пеллет: *а* – из отходов деревообработки; *б* – из отходов картона и бумаги



Рис. 9. Брикеты

Как таковые, пеллеты Беларусь открыла для себя не сегодня: по данным Минлесхоза, в 2009 г. производством древесных гранул и брикета в стране занимались 29 организаций, суммарная мощность которых составляла 133 тыс. т в год.

Согласно Постановлению Совмина от 10.02.2010 № 169 «Об инвестиционной деятельности в Республике Беларусь в 2010 году» в нынешнем году планируется открыть 8 линий по выпуску топливных гранул (суммарная стоимость проектов — около 10 млн долларов): на РУП «Витебскоблгаз», ОАО «Чечерскагротехсервис», ООО «ГранБиоТоп» (СЭЗ «Гродноивест»), в Бегомльском и Толочинском лесхозах.

Установки для брикетирования в Республике Беларусь выпускают заводы и частные предприниматели, например, Сморгонский завод оптического станкостроения, ЧУП «Новик и К» и другие. Основные виды брикетов представлены на рис. 9, 10.



1



2



3



4

*Рис. 10.* Разновидности брикетов из деревоотходов (опилок):  
1 – круглый короткий; 2 – круглый длинный с отверстием; 3 – круглый длинный без отверстия; 4 – призматический

Примеры производства агропеллет пока единичны, причем это направление в Беларуси «стартовало» практически одновременно с выпуском «традиционных» топливных гранул, однако оно имеет ряд особенностей: во-первых, сырье (солома, отходы кукурузы, крупяного производства, лузга подсолнечника и т. д.) требовательнее к соблюдению правил хранения – при превышении нормы содержания влаги оно теряет кондицию; во-вторых, рынок сбыта еще недостаточно стабилен, его отставание объясняется чуть худшими характеристиками агропеллет: большей зольностью при меньшей удельной теплоте сгорания, что сказывается на ценах. Например, в Польше после 30-процентного падения курса злотого к евро цена на агропеллеты упала с 90 евро/т до 65–70 евро/т. Учитывая, что себестоимость гранул составляет около 55 евро/т, с этим направлением экспорта белорусам пришлось временно распрощаться.

Древесные и торфяные гранулы являются гораздо более благодатным объектом приложения сил. При средней цене более 100 евро/т (в странах Скандинавии до 130–140 евро/т) рентабельность их производства уже сегодня составляет свыше 100 %. Следует учесть, что некоторые эксперты прогнозируют ежегодное удорожание этой продукции до 10 %.

Предположительно на 20 % в год будет расти и потребление пеллет (сейчас на страны Западной Европы приходится почти 10 млн т/г). В этой связи объяснима заинтересованность европейцев в создании на территории Беларуси СП по производству гранул: для обеспечения роста потребления экологически чистых видов топлива необходимо заручиться стабильными и надежными поставками сырья.

Особую активность в нашей стране сегодня демонстрируют страны Прибалтики и Скандинавии, которые участвуют в большинстве перечисленных выше инвестпроектов. В скором времени обещает оживиться и рынок агропеллет – в той же Польше к 2012 г. должны вступить в строй 6 котельных



установок, предназначенных для сжигания 1 млн т/г (каждая) указанного топлива. Аналогичные программы по «озеленению» теплоэлектростанций действуют в большинстве других стран Евросоюза. И белорусам есть что предложить – ежегодно в буквальном смысле закапывается в землю около 1 млн т только рапсовой соломы, за которую после переработки можно получить десятки миллионов долларов.

Постановлением Совета Министров Республики Беларусь (от 23 января 2008 года, № 94) принята Государственная программа «Торф» на 2008 – 2010 годы и на период до 2020 года. В ГП «Торф» отмечено, что торф является одним из важнейших топливно-энергетических ресурсов для выполнения Целевой программы обеспечения в республике не менее 25 процентов объема производства электрической и тепловой энергии за счет использования местных видов топлива и альтернативных источников энергии на период до 2012 года (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 30 декабря 2004 г. №1680). Эта программа включает в себя, в том числе, использование биомассы.

Мировой опыт использования торфа, широкая распространенность ресурсов торфа в Беларуси доказывают необходимость повышения эффективности и объемов использования этого природного сырья в энергетике и сельском хозяйстве. Оценка современного состояния и практика использования торфяных месторождений свидетельствуют о том, что разрабатываемый торфяной фонд может составить 1,1–1,2 млрд т с извлекаемыми запасами торфа 600 – 800 млн т.

Использование торфа осуществляется по четырем направлениям: топливно-энергетическое, сельскохозяйственное, химико-технологическое, природоохранное.

Общая площадь торфяного фонда республики оценивается в 2,4 млн га с геологическими запасами торфа 4 млрд т. Организации Минэнерго разрабатывают 42 торфяных месторождения, общая площадь которых составляет около 34 тыс. га, а запасы торфа оцениваются в 84,6 млн т.

За 2008 год добыто 2,7 млн т торфа, из них 2,3 млн т топливной группы и 0,4 млн т для производства продукции для сельского хозяйства и приготовления компостов. Произведено 1 млн. 182 тыс. т брикетов.

Учитывая важность и остроту проблемы обеспечения республики местными видами топлива и продукцией на основе торфа в условиях сохранения стабильности природной среды, требуется:

- обосновать критерии выделения целевых фондов и разработать схему рационального использования и охраны торфяных ресурсов республики на период до 2020 года;
- определить новые источники потребления торфяного топлива как среди объектов энергетики, так и коммунального хозяйства республики;
- разработать и внедрить энерго- и ресурсосберегающие технологии и оборудование по добыче, переработке и сжиганию торфа;
- выполнить комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по развитию альтернативных направлений использования торфяных ресурсов республики с освоением их производства.

Основной торфяной продукцией, производимой организациями Минэнерго, являются брикеты топливные на основе торфа (далее – брикеты). За 2008 год реализовано 1185,6 тыс. т брикетов, из которых топливоснабжающим организациям областей реализовано 649,3 тыс. т, или 77,6 % от общего объема реализации данного топлива в республике. Непосредственно организациями Минэнерго реализовано прочим потребителям республики 187,5 тыс. т брикетов, что составило 22,4 % от общего объема реализации брикетов за 2008 г.

При полном обеспечении потребности внутреннего рынка республики организации Минэнерго осуществляют поставку брикетов на экспорт (Литва, Латвия, Эстония, Польша, Словакия, Швеция, Финляндия и другие). За 2008 г. объем экспортных поставок составил 348,8 тыс. т на общую сумму 16,4 млн долларов США, что составило 29,4 % от годового объема поставки брикетов.

В 2008 г. в республике использовано 603,2 тыс. т у. т. торфяного топлива, в том числе 504,5 тыс. т у. т. брикетов, что составило 83,6 % от общего использования за год, 94,5 тыс. т у. т. торфа фрезерного топливного (далее – торф топливный), или 15,7 %, 4,2 тыс. т у. т. торфа кускового (0,7 %). Населением закуплено 333,8 тыс. т у. т. торфяного топлива – 55,3 % от общего потребления в республике за год, в том числе 332,5 тыс. т у. т. брикетов (65,9 %), 0,9 тыс. т у. т. торфа кускового (21,4 %).

В 2008 г. на технологические нужды торфобрикетного производства и отопление организациями Минэнерго израсходовано 85,8 тыс. т у. т. торфяного топлива, что составило 31,8 % от общего годового объема использования в республике. Прочими потребителями израсходовано 183,6 тыс. т у. т., или 68,2 % от общего годового объема использования торфяного топлива в республике.



Рис. 11. Добыча торфа и производство топливных брикетов в соответствии с Государственной программой «Торф» за 2003–2009 годы

По состоянию на начало 2010 г. были реализованы проекты по использованию древесного топлива и торфа в:

- ✓ г. Осиповичи (электрическая мощность – 1,2 МВт);
- ✓ г. Вилейка (электрическая мощность – 2,4 МВт);
- ✓ г. Мосты (электрическая мощность – 2,4 МВт);
- ✓ г. Пинск (электрическая мощность – 2,7 МВт);
- ✓ г. Ореховск (электрическая мощность – 1,5 МВт);
- ✓ котельной «Боровляны» (электрическая мощность – 5 МВт).

В республике целесообразно увеличить объем использования торфа топливного. В настоящее время данный вид топлива применяется на Бобруйской ТЭЦ-1 и Осиповичской мини-ТЭЦ республиканского унитарного предприятия «Могилевэнерго» (далее – РУП «Могилевэнерго»), БелГРЭС республиканского унитарного предприятия «Витебскэнерго» (далее – РУП «Витебскэнерго»), малым энергоисточником – котельной жилищно-коммунального хозяйства г. Ошмяны Гродненской области.

В настоящее время реализуются крупные проекты (мини-ТЭЦ) в:

- ✓ г. Пружаны (электрическая мощность – 2,7 МВт);
- ✓ г. Речица (электрическая мощность – 1,5 МВт);
- ✓ г. Петриков (электрическая мощность – 1,2 МВт);
- ✓ на ОАО «Фандок» (электрическая мощность – 1,6 МВт).

На перспективу (до 2015 года) прорабатывается вопрос об использовании торфяного топлива в Лунинецкой районной котельной и Барановичской ТЭЦ РУП «Брестэнерго», Зельвенской конденсационной электростанции республиканского унитарного предприятия «Гродноэнерго» (далее – РУП «Гродноэнерго»).

За рубежом в качестве топлива используются также такие биомассовые источники, как быстрорастущие деревья, солома, щепа, получаемая при санитарной очистке лесов, парков и другие (табл. 3).

Таблица 3

Себестоимость производства сельскохозяйственных культур, используемых в качестве источника энергии<sup>1</sup>

Сельскохозяйственная культура	Урожайность, т сухой массы	Стоимость выращивания, евро/ГДж	Затраты на землю, евро/ГДж	Стоимость риска разведения новой культуры, евро/ГДж	Сумма, евро/ГДж
Ива	9	4,1	0,1-0,5	0,9	5,0-5,5
Тополь	9	4,4	0,1-0,5	1,1	5,5-6,0
Канарский тростник	7,5	6,0	0,1-0,6	0,4	6,4-7,0
Мискантус	10	7,1	0,1-0,5	0,8	7,9-8,4
Пенька	10	8,2	0,1-0,4	0,4	8,6-9,0
Тритикале	11	6,5	0,1-0,4	0,2	6,7-7,1
Солома	-	3,7	0	0,1	3,8

<sup>1</sup> Данные по фермерским хозяйствам в Швеции (ноябрь 2009 г.).



*Рис. 12.* Тюки соломы для сжигания

Фирма HERLT (Германия) советует рассматривать солому в первую очередь как горючее. Содержание энергии в 1 л дизельного топлива и в 2,4 кг соломы одинаковое. Один рулон соломы диаметром 1,8 м заменяет минимум 140 л дизельного топлива. Солома зерновых культур – это очень энергоемкая биомасса.

Одним из конечных продуктов уборки возделываемых зерновых культур являются рулоны, которые легко транспортируются и могут храниться под открытым небом. Поэтому фирма HERLT строит установки, позволяющие сжигать рулоны целиком (рис. 13).



*Рис. 13.* Газогенераторная отопительная система HERLT HSV 800 включает следующие монтажные группы: 1 – генератор горячего газа, состоящий из камеры заполнения и газогенерации, вихревой камеры сгорания газа; 2 – вихревая камера дожигания газа; 3 – газоотводящий канал; 4 – водно-воздушный теплообменник



Газогенераторная отопительная система HERLT HSV 800 предназначена для получения горячего воздуха, который подается в зерносушилку для сушки пшеницы, подсолнечного семени, кукурузы и других зерновых культур продовольственного назначения. Топливом служат рулоны соломы зерновых культур диаметром до 1,8 м, длиной 1,2 м.

Источником теплоты может быть солома любых зерновых культур. Пшеничная солома отличается особенно равномерным сгоранием, но от нее почти не отстают и рожь, тритикале, ячмень и овес. В основном содержание энергии определяется только массой сухого вещества. Сильно спрессованные, тяжелые, жесткие, хорошо сохраняющие форму рулоны лучше всего пригодны для хранения и сжигания.

#### Основные технические данные и характеристики указанной установки:

1. Номинальная тепловая мощность, кВт	800
2. Диапазон мощностей, кВт	700÷1700
3. Допустимое давление, атм	3
4. Допустимая рабочая температура воды в водяном контуре, °С	около 100
5. Диаметр двери камеры заполнения, м	2,2
6. Диаметр рулонов, м	1,8
7. Длина рулонов, м	1,2
8. Вес рулонов соломы, кг	до 330
9. Объем камеры заполнения, дм <sup>3</sup>	6500
10. Рекомендуемая периодичность чистки золы	после сжигания 20 рулонов
11. Объем золы	в среднем 4,5% массы сгоревшей соломы
12. Температура газов в вихревой камере сгорания, °С	700÷1100 рекомендуемая 1050
13. Температура агента сушки, °С	60÷120
14. Время сгорания одного рулона, ч	около 1
15. Рекомендуемый режим работы	Непрерывный с технологическими перерывами
16. Габаритные размеры, мм	6880x2450x4362
17. Вес установки, т	19

Каждый знает, как быстро вспыхивает сухой соломенный рулон, если его положить на древесный огонь. Жар превращает солому в газ. Но вскоре вокруг рулона образуется слой золы, который все больше и больше затрудняет доступ воздуха, замедляя тем самым процесс горения. Чтобы этого избежать, газогенераторные отопительные установки фирмы HERLT оснащены специальным вентилятором, который расположен в камере заполнения и газогенерации. Он всасыва-

ет горячий воздух и прокачивает его по каналам на обдув рулона. Зола обдувается, кислород вновь поступает к поверхности рулона и вовнутрь через пустоты, пронизывающие весь рулон. Процесс повторяется, рулон оседает и превращается в тлеющую массу, излучающую теплоту.

Камера заполнения и газогенерации имеет теплоизоляционную керамическую облицовку для сохранения необходимой для процесса газообразования температуры. Вихревая камера сгорания газов также облицована керамикой, изолированной снаружи высокопрочным огнеупорным изоляционным материалом. В вихревую камеру сгорания равномерно и в нужных количествах поступает соломенный газ. К нему примешивается предварительно нагретый (вторичный) воздух. Пламя приобретает небесно-голубой цвет, а керамические части нагреваются докрасна.

Отопительные установки требуют такого объема водяного теплоаккумулятора, который обеспечит необходимые паузы горения и загрузки рулонов.

Система, переведенная в режим отопления, по своей мощности может отопить около 10000 м<sup>2</sup> производственных или жилых помещений.

Летом 2006 г. в Республике Беларусь в Минской области на 1-ой Минской птицефабрике была смонтирована установка HERLT HSV 1300, которая использовалась в комплексе с зерносушилкой М-819 польского производства. Установка системы HERLT HSV 1300 позволила отказаться от использования традиционного вида топлива – природного газа.

Беларусь идеально подходит для развития биоэнергетики благодаря наличию больших массивов промышленного леса, равнинного ландшафта, хорошо развитой инфраструктуры распределения энергии и теплоты, современных предприятий энергетического и общего машиностроения, а также высокого уровня технического образования населения.

Основная часть биотоплива, которая может быть вовлечена в топливно-энергетический баланс для промышленной выработки электроэнергии и тепла - это древесно-топливные ресурсы «чистых» лесных территорий. В Беларуси леса занимают около 42 % территории. Запас растущей древесины составляет свыше 1,2 млрд м<sup>3</sup>. Ежегодный сбор ликвидной древесины при лесозаготовительных работах достигает 4,5 млн м<sup>3</sup>. Древесные обрезки и отходы древесины, образующиеся при рубке и обработке, могут составлять до 40–50 % собранной биомассы. Эти компоненты представляют альтернативный топливный ресурс для энергетики.

По оценке ИПЭ НАН Беларуси, совместно с Министерством лесного хозяйства, технически доступен для биоэнергетики в настоящее время объем отходов, эквивалентный приблизительно 1,5 млн т у. т./год. Согласно официальным данным Белорусского энергетического института, только 25 % этой величины используется в настоящее время.

К 2015 году потенциальные топливные ресурсы для биоэнергетики оцениваются в 2,7–3,0 млн т у. т./год, к 2020 году – 3,7 млн т у. т./год.

Около четверти лесных ресурсов страны находится в зоне, загрязненной в результате аварии на ЧАЭС. Использование биомассы отходов из этих лесов предполагает определенные ограничения на технологии энергетической утили-

лизации древесной массы. Проведенные исследования на крупных – до 200 кВт – экспериментальных стендах в США, Беларуси и Бельгии, а также на коммерческом энергоблоке в 18 МВт в Калифорнии и на промышленном котле (6 МВт) в г. Речице показали, что радиоактивность надежно контролируется в процессе конверсии путем применения известных, надежных и недорогих технологических решений.

Энергетический потенциал биомассы лесных территорий, загрязненных радионуклидами, составляет 240 тыс. т у. т. /год.

Одним из перспективных направлений производства биотоплива признаны плантационные посадки быстрорастущих кустарниковых и травянистых энергорастений, для которых среднегодовой прирост биомассы превышает 25 м<sup>3</sup>/га.

По предварительным оценкам, в масштабах республики имеется около 100 тыс. га земель, технически доступных в настоящее время для «энергетических» посадок; потенциал биомассы быстрорастущих на этих землях кустарниковых и травянистых энергорастений может составить от 0,6–0,8 млн т у. т./год.

Кроме того, в Беларуси имеется до 500 тыс. га малоценных и низкопродуктивных угодий, нерентабельных для выращивания сельхозпродукции. С учетом этой перспективы возможно увеличение «энергетических» посадок с получением до 4,0 млн т у. т./год.

Потенциал биомассы быстрорастущих кустарниковых и травянистых растений может быть увеличен за счет использования:

- загрязненных и выведенных из оборота в результате аварии на ЧАЭС территорий Гомельской и Могилевской областей, которые составляют около 250 тыс. га, потенциальный объем производства биотоплива до 2,0 млн т у. т./год;

- неиспользованные площади лесного фонда (непокрытая лесом площадь в результате гибели насаждений, вырубок, пустырей и пр.) составляют около 200 тыс. га, потенциальный объем производства биотоплива до 1,6 млн т у. т./год;

- защитные полосы вдоль дорог и просек составляют около 100 тыс. га, потенциальный объем производства биотоплива до 0,8 млн т у. т./год.

В качестве основных направлений технологического развития биоэнергетики на период до 2015 г. можно рассматривать:

- замещение ископаемого топлива древесным топливом на старых котельных вблизи ресурсов биомассы;

- установку котлоагрегатов малой мощности на предприятиях деревообработки;

- постепенное развитие инфраструктуры заготовок и поставок топлива из биомассы;

- замещение ископаемого топлива на устаревших котлоагрегатах энергоблоков;

- новые котлоагрегаты большой мощности на биотопливе.

Замещение ископаемого топлива на ряде действующих энергоблоков древесным топливом – это наиболее эффективная стратегия, которая может быть реализована в ближайшее десятилетие.

Серьезное внимание использованию плантационных посадок древесных пород с коротким циклом ротации уделяется в США, где таких плантаций насчитывается около 23 тыс. Они дают до 20 т/га сухого вещества в год, часть его используется для целлюлозно-бумажной промышленности, часть для биоэнергетики. В Западной Европе общая площадь таких посадок превышает 1 млн га. Имеется специальное постановление Европейского экономического сообщества № 797/85 о выращивании быстрорастущих древесных пород для использования в промышленности и биоэнергетике.

В Беларуси произрастает около 20 видов ивы, но возделывание культурных плантаций высокопродуктивных пород для целей производства биотоплива не проводилось.

Короткоцикловые посадки представляют собой способ выращивания быстрорастущих древесных пород с относительно короткой продолжительностью роста. На плантации ростки регенерируются от черенков после удаления основных стволов. Периодичность сбора урожая определяется способом дальнейшего использования древесины (в основном для топливных целей, а также для производства бумаги, прутьев и т. п.). В короткоцикловых рощах можно выращивать различные быстрорастущие породы. Чаще всего практикуется посадка ивы и тополя с плотностью посадки от 10 до 20 тыс. растений на гектар. Полный срок использования плантации обычно достигает 25 лет, после чего выход биомассы заметно уменьшается. Продолжительность роста ивы до очередного сбора урожая составляет от 2 до 5 лет. Средняя урожайность во втором и последующих циклах выше, поскольку их вегетация начинается с уже укоренившихся в предшествующих циклах саженцев. Уже сейчас целый ряд хозяйств Брестской, Гродненской и Минской областей проявляют интерес к этому виду топлива.

Расчет себестоимости топлива из биомассы быстрорастущих пород ивы показывает, что с учетом ожидаемой урожайности (не менее 15 т воздушно-сухой биомассы с 1 га в год) и дисконтирования затрат на закладку и раскорчевку плантации на весь срок ее эксплуатации (25 лет) себестоимость топлива не превысит 25 долл./т у. т.

Для средних метеорологических и климатических условий, характерных для Беларуси, можно ожидать, что продуктивность указанных пород составит около 8 т у. т. с гектара в год. С учетом результатов анализа доступных площадей топливный потенциал этого вида возобновляемых импортозамещающих ресурсов может составить до 10 млн т у. т. в год, что может покрыть до 10 % потребности в ТЭР.

## 1.2. ГАЗИФИКАЦИЯ И ПИРОЛИЗ

**Газификация** — сжигание биомассы при температуре 900-1500°C в присутствии воздуха или кислорода и воды с получением синтезгаза (био-сингаза), состоящего из смеси монооксида углерода, водорода и стеклообразной массы (7–10 % от массы исходного материала), применяемой как наполнитель для дорожных покрытий.

При воздушной газификации производится генераторный газ с высшей теплотворной способностью 4–6 МДж/м<sup>3</sup>. Этот газ можно сжигать в котлах, после очистки – в газовых двигателях или турбинах, но он не пригоден для транспортировки по трубопроводу ввиду низкой энергетической плотности. Газификация с использованием кислорода дает газ с высшей теплотворной способностью 10–12 МДж/м<sup>3</sup>, пригодный для ограниченной транспортировки по трубопроводу и для использования в качестве синтезгаза с целью получения метанола и газаolina. Газ с высшей теплотворной способностью 15–20 МДж/м<sup>3</sup> может быть получен путем паровой (пиролитической) газификации. Это двухстадийный процесс, реализуемый в двух реакторах кипящего слоя. Наиболее широко в настоящее время применяется воздушная газификация. При этом исключаются все затраты и трудности, связанные, во-первых, с производством и использованием кислорода, во-вторых, с необходимостью работы двух реакторов при паровой газификации [35, 36].

Отличительными особенностями газификаторов с кипящим слоем, по сравнению с реакторами плотного слоя, являются высокие скорости тепло- и массопереноса и хорошее перемешивание твердой фазы, что обеспечивает высокие скорости реакции и близкую к постоянной температуру слоя. Частицы сырья должны быть более мелкими, чем при газификации в плотном слое, то есть необходимо дополнительное измельчение. Реакторы с кипящим слоем – единственный вид газификаторов, работающих с изотермическим слоем сырья.

Среди других видов реакторов можно выделить [35]:

- реактор с движущимся слоем (горизонтальный слой, наклонный слой, многокамерная печь, печь со шнеком): механическое перемещение слоя сырья. Газификация в таком реакторе обычно является низкотемпературной;

- вращающаяся печь: в основном используется для переработки отходов ввиду хорошего контакта газа и твердых частиц и хорошего перемешивания сырья;

- циклонные и вихревые реакторы: высокие скорости движения частиц обеспечивают высокие скорости протекания реакций. Циклонные газификаторы отличаются простотой конструкции. Однако они лишь недавно стали применяться для конверсии биомассы, и технология еще не до конца отработана.

Газификация биоматериалов с целью получения тепловой энергии достигла коммерческого уровня. Это означает, что производители соответствующего оборудования дают гарантию на свою продукцию, а сама технология является конкурентоспособной с другими технологиями производства теплоты. Наиболее известными сегодня являются газификаторы Bioneer компании Foster Wheeler Energia (Финляндия) и реакторы PRM Energy Systems,

Inc. (США), газификаторы Pyroflow компании Foster Wheeler Energia, а также компаний Lurgi Energie und Umwelt (Германия) и TPS Termiska Processer AB (Швеция). Foster Wheeler Energia входит в состав Foster Wheeler Corporation с главным офисом в США [35, 36]. Кроме упомянутых выше, в мире имеется около 35 производителей газификаторов.

Сырье, перерабатываемое газификаторами Bioneer, должно удовлетворять следующим требованиям (спецификация производителя): максимальное содержание мелких частиц 30–50 % масс., влажность не более 50 %, температура плавления золы не ниже 1190 °С (DIN 51730), теплотворная способность 0,65–1,7 МВт·ч/м<sup>3</sup>. При несоблюдении этого условия, горение генераторного газа с большим содержанием аэрозолей смол и паров воды становится нестабильным [37, 38].

Совместные работы Института технологий газа и Carbona Inc. [38] закончились созданием коммерческого газификатора IGT RENUGASTM. Газификация в этом реакторе проходит при температуре 840–950 °С. Дутьем является смесь воздуха и пара. Воздух подается из компрессорной секции газовой турбины через бустер-компрессор, пар подводится из паровой турбины. Газификатор работает с так называемым «фонтанирующим» слоем, в котором происходит интенсивная циркуляция твердых частиц от верхней до нижней части ректора, что обеспечивает высокую скорость процесса газификации и максимальный уровень крекинга смол. В настоящее время установка описанной конструкции мощностью 8 МВт действует на сахарном заводе в Paia, Гавайи (мощность по сухому сырью 50 т/день).

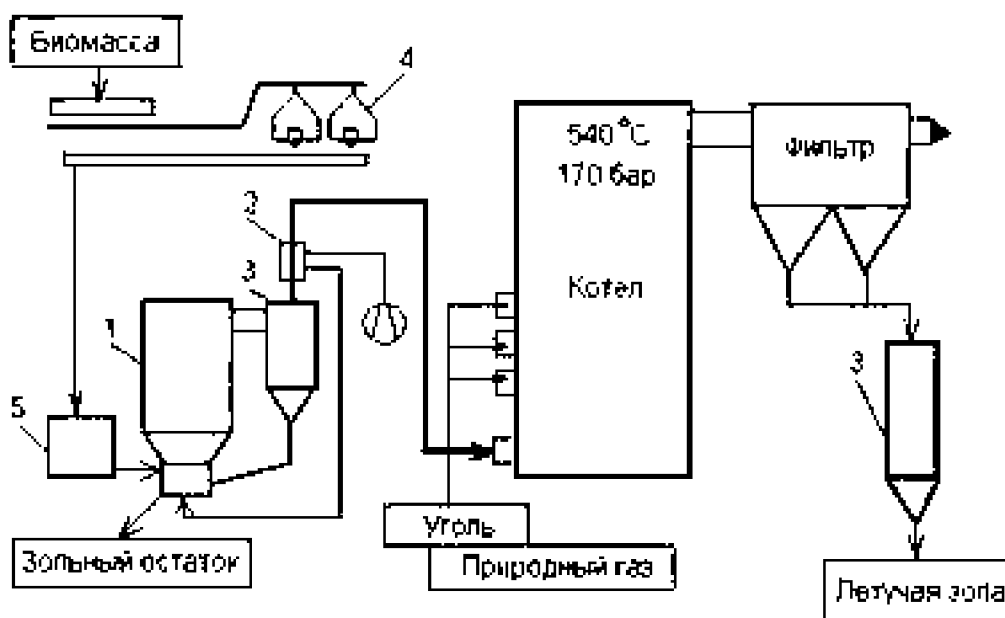


Рис. 14. Схема ТЭЦ Кумиярви (Lahti, Финляндия):  
1 – газификатор; 2 – воздухоподогреватель; 3 – циклон; 4 – бункер для хранения и перемешивания топлива; 5 – шаровой затвор

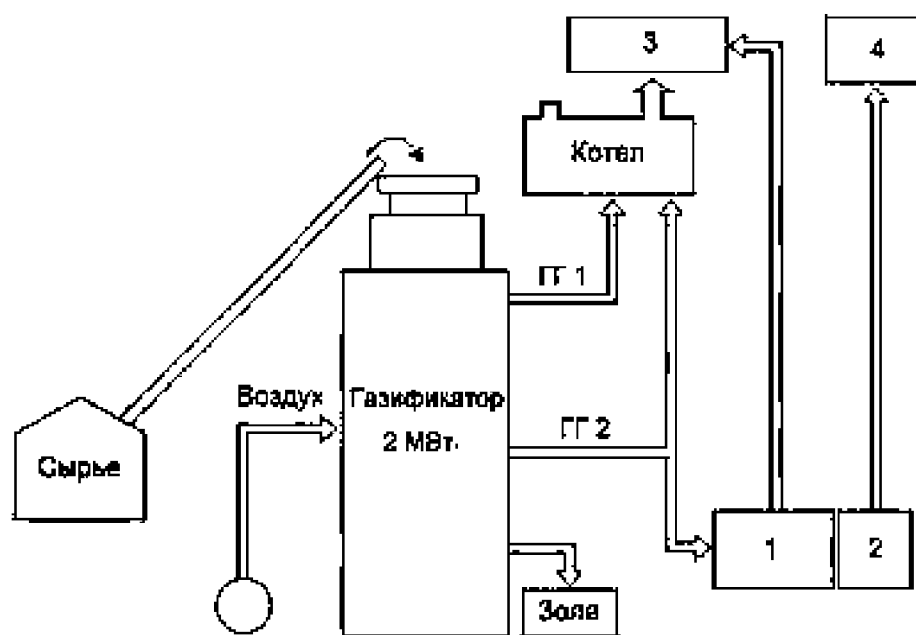


Рис. 15. Демонстрационная газификационная установка компании Entimos (Tervola, Финляндия):  
 1 – двигатель с турбонаддувом; 2 – генератор; 3 – система теплоснабжения;  
 4 – электрическая сеть; ГГ 1, ГГ 2 – генераторный газ

Газификация является одной из перспективных технологий получения энергии из биомассы. Однако, с точки зрения капитальных затрат, которые выше по сравнению со станциями, работающими на ископаемом топливе, экономически рентабельная работа газификационной установки во многих случаях возможна только при использовании очень дешевого сырья. Интерес к газификационным технологиям все более смещается от производства только тепловой энергии к возможности комбинированной выработки тепловой и электрической энергии.

Газификация является более прогрессивным и экономичным способом использования биомассы в целях получения тепловой энергии, чем пиролиз.

Предварительные расчеты, проведенные в Принстонском университете, показывают, что турбогенераторы, работающие на продуктах газификации биомассы, могут успешно конкурировать с традиционными тепловыми, ядерными и гидравлическими энергоустановками. Наиболее перспективными областями применения таких турбогенераторов уже в ближайшем будущем могут стать отрасли промышленности, в которых скапливаются большие объемы биомассы (в частности, сахарные и винокуренные заводы, перерабатывающие сахарный тростник).

В Бразилии при использовании биомассы с винокуренных предприятий образуется столь значительный избыток электроэнергии, что ее реализация делает спирт дешевле нефти. Только из сахарного тростника может быть про-

изведено 50 % энергии, которая вырабатывается сейчас всеми источниками в 80 развивающихся странах, где выращивают эту культуру.

Синтетическое топливо, по мнению американских ученых, может стать важным источником энергии в XXI веке. Специалисты обращают внимание на метанол, отличающийся простотой транспортировки и меньшим, чем бензин, уровнем местного загрязнения окружающей среды (если метанол производится на основе природного газа). Однако в продуктах сгорания метанола, синтезированного из угля, содержится в 2 раза больше углекислого газа, чем его выделяется при сжигании бензина. Выход может быть найден на пути синтеза метанола при газификации древесной биомассы.

**Пиролиз** — термохимическая конверсия сырья без доступа воздуха при температуре 450-550°C, которая позволяет из 1 м<sup>3</sup> абсолютно сухой древесины получать 140-180 кг древесного угля, не содержащего вредных примесей.

Наряду с прямым сжиганием и газификацией пиролиз является эффективным методом термохимической переработки биомассы, промышленных и бытовых отходов и одновременно одной из наименее развитых технологий энергетического использования биомассы. Пиролиз представляет собой процесс термического разложения органических соединений без доступа кислорода, который происходит при относительно низких температурах, по сравнению с процессами газификации (800–1300 °C) и горения (900–2000 °C).

Первичными продуктами могут быть жидкость, твердое углеродистое вещество и газы, в зависимости от вида и параметров процесса пиролиза, вторичными – энергия, топливо и химические продукты [36].

*Жидкие продукты пиролиза* вызывают большой интерес вследствие их высокой энергетической плотности и потенциальной возможности использования в качестве жидкого топлива. Жидкость, образующуюся в процессе пиролиза, часто называют «масла», «пиротопливо», «биотопливо» или «смола». Она имеет теплоту сгорания 20–25 МДж/кг и состоит из сложной смеси высокоокисленных углеводородов с содержанием воды до 20 % (мас.). Необработанное пиротопливо представляет собой густую черную смолянистую жидкость, выход которой может достигать до 80 % массы сухого сырья (при быстром низкотемпературном пиролизе). Пиротопливо может использоваться в качестве заменителя котельного топлива. Имеется опыт использования пиротоплива в газовых турбинах и дизельных двигателях.

*Твердые продукты пиролиза.* Твердым продуктом процесса пиролиза является углеродистое вещество (теплота сгорания 30 МДж/кг), выход которого может достигать 30–35 % массы сухого сырья при карбонизации и медленном пиролизе. Это вещество может использоваться в качестве топлива (в основном для бытового применения в каминах), а также для технологических нужд промышленности (металлургической, фармакологической, для очистки воды и газов).

*Газообразные продукты пиролиза* представляют собой обычно среднекалорийный газ (15-22 МДж/м<sup>3</sup>), а при частичной газификации – низкокалорийный (4–8 МДж/м<sup>3</sup>). Выход газообразного топлива может достигать до 70 % массы сухого сырья при высокотемпературном быстром пиролизе.



Состав газа зависит от сырья и параметров процесса. Эти продукты имеют высокий уровень углеводородов (в частности, метана). Такой газ обычно используется в самом процессе пиролиза для поддержания температуры процесса и сушки исходного сырья.

*Химические продукты.* В составе продуктов пиролиза выявлено несколько сотен химических составляющих. Все большее внимание уделяется регенерации отдельных химических соединений (левоглюкозан и гидроксикислотный альдегид) или их семейств (полифенолы) из продуктов пиролиза. Более высокая ценность отдельных химических продуктов по сравнению с топливом могла бы сделать выгодным извлечение этих продуктов даже при их небольших концентрациях. Интегральный подход к проблеме получения химических продуктов и топлива открывает широкие возможности в этом направлении.

Современные технологии пиролиза биомассы могут быть разделены по таким характерным признакам: скорость нагрева (быстрый, медленный пиролиз); среда, в которой происходит пиролиз (вакуумный, гидропиролиз, метано-пиролиз).

Характеристики основных технологий пиролиза обобщены в табл. 4.

Таблица 4

Характеристики технологий пиролиза

Характеристики	Быстрый пиролиз, низкие температуры	Быстрый пиролиз, высокие температуры	Медленный пиролиз	Карбонизация
Время процесса	1с	1с	5-30 мин	часы, дни
Размер сырья	малый	малый	средний	большой
Влажность сырья	очень низкая	очень низкая	низкая	низкая
Температура, °С	450-600	650-900	500-700	400-600
Давление, кПа	100	10-100	100	100
Газ: выход, % массы сухого сырья (теплота сгорания, МДж/м <sup>3</sup> )	до 30 (10-20)	до 70 (10-20)	до 40 (5-10)	до 40 (2-4)
Жидкость: выход, % массы сухого сырья* (теплота сгорания, МДж/кг)	до 80 (23)	до 20 (23)	до 30 (23)	до 20 (10-20)
Твердое вещество: выход, % массы сухого сырья (теплота сгорания, МДж/кг)	до 15 (30)	до 20 (30)	20-30 (30)	30-35 (30)

В настоящее время быстрый пиролиз утвердился как технология термохимической конверсии биомассы со значительным потенциалом, особенно для высокого выхода жидкого топлива и химических продуктов. Этот тип пиролиза используется для получения максимального количества либо газа, либо жидкости, в соответствии с установленной температурой процесса. Низкотемпературный быстрый пиролиз позволяет максимизировать долю жидкого продукта и является основным термохимическим способом прямого получения жидкости из биомассы и отходов.

### 1.3. ПРОИЗВОДСТВО БИОВОДОРОДА

**Биоводород** из биомассы можно получать путем бутилового или ацетоно-бутилового брожения сахарозы или крахмала. При этом из 1 т мелассы образуется 80 м<sup>3</sup> водорода. Это означает, что с 1 га плантаций сахарной свеклы можно получить до 140 м<sup>3</sup> водорода. Дополнительно к водороду из 1 т мелассы можно получить до 114 кг бутанола и до 36 кг ацетона.

На ближайшую перспективу использование биоводорода в энергетических целях в Республике Беларусь экономически нецелесообразно.

### 1.4. ПРОИЗВОДСТВО БИОТОПЛИВА

**Этанол** (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) — продукт спиртового брожения разнообразных сахаро- и крахмалосодержащих субстратов. Однако наиболее распространенными видами сырья для производства этанола являются отходы сахарного производства: *багасса* (сахарный тростник) или *меласса* (сахарная свекла), а также крахмал кукурузы, сорго, картофеля, пшеницы, риса. Современное мировое производство этанола: 4 млн м<sup>3</sup> – пищевой этанол, 8 млн м<sup>3</sup> – этанол для химической промышленности, 20 млн м<sup>3</sup> – топливный этанол. В двигателях внутреннего сгорания используется 26 % этанола в смеси с бензином, в дизельных – 3 %.

Этанол, производимый при ферментации получаемого из биомассы сахара (исходные продукты: сахарный тростник, как в Бразилии, и кукуруза, как в США), считается альтернативой метанолу. Пока технология производства этанола достаточно дорогостояща, но использование энзимов может снизить стоимость ферментации и сделать его конкурентоспособным с бензином. Потенциальное использование биомассы в США может позволить заменить всю нефть, расходуемую сейчас в качестве горючего для легковых автомобилей, а также уголь, сжигаемый для производства электричества. При этом число выбросов углекислого газа сократилось бы наполовину.

Этанол в основном используется в качестве добавки к топливу, чтобы сократить выбросы углекислого газа в окружающую среду (рис. 16).

Результатом непрекращающегося поиска альтернативных источников энергии в мире стала инновационная технология производства биоэтанола из

сточных вод, предложенная совместно компаниями Qteros и Applied Clean. Суть технологии заключается в использовании так называемых Q микробов, которые поглощают различные отходы и превращают их в экологически чистый вид топлива. По заявлениям представителей компании Qteros, повсеместное преобразование сточных вод в этанол в ближайшем будущем станет реальностью.

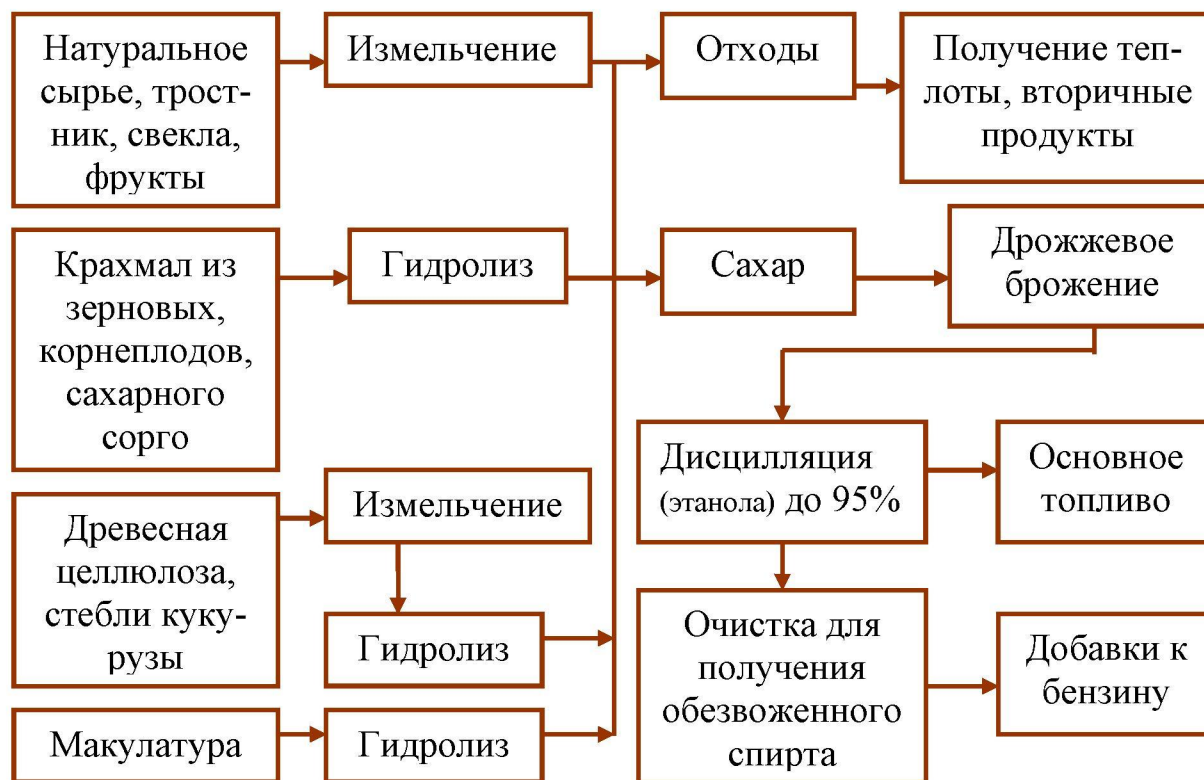


Рис. 16. Спиртовое сбраживание для получения этанола

По заявлениям представителей компании Iogen Corp., по итогам 2009 года было произведено 581 тыс. л целлюлозного этанола, что превысило показатель предыдущего года более чем в 2 раза. Консолидированный объем выпуска продукции, начиная с 2004 г., составил к настоящему времени более 1 млн л.

Iogen Corp. является одним из лидеров по выпуску биоэтанола на основе сырья, содержащего целлюлозу. Демонстрационное производство было запущено в 2004 г. «Достигнутые на сегодня результаты подтверждают коммерческую привлекательность проекта», – отмечает глава компании Брайн Фуди. По оценке президента Канадской Ассоциации Возобновляемой Энергетики Гордона Квотини, биотопливо 2-го поколения, в том числе и биоэтанол на основе целлюлозы, будет играть ключевую роль в развитии мирового рынка возобновляемых источников энергии.

Биобутанол представляет собой результат трехлетнего сотрудничества двух крупнейших транснациональных корпораций мира – DuPont и British Petroleum (BP), направленных на создание нового вида биотоплива, более совершенного в техническом и эксплуатационном отношении. По своей сути биобутанол – это тот же биоэтанол, только более калорийный и менее затратный при производстве.

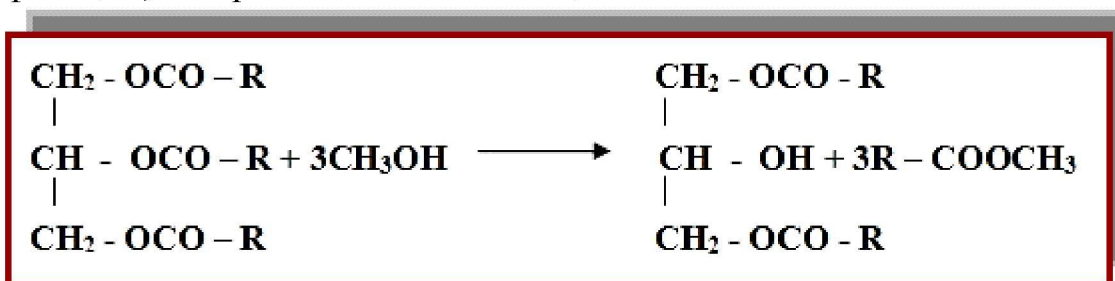
Основные преимущества бутанола по сравнению с биоэтанолом:

- ✓ благодаря низкому давлению паров биобутанол легко смешивается с обычным бензином;
- ✓ энергетическая ценность биобутанола, по сравнению с биоэтанолом, по уровню ближе к показателю бензина (биобутанол содержит около 85 % плотности бензина);
- ✓ процентное содержание биологического горючего в бензине, не требующее модификации двигателя, несколько выше (10 % – в Европе, 11,5 % – в США);
- ✓ бутанол безопаснее в использовании, поскольку в 6 раз меньше испаряется, чем этанол, и в 13,5 раз менее летуч, чем бензин;
- ✓ бутанол — гораздо менее агрессивное вещество, чем этанол, поэтому может транспортироваться по существующим топливным трубопроводам;
- ✓ в присутствии воды смесь, содержащая биобутанол, не расслаивается, в отличие от смеси «этанол – бензин», что позволяет использовать существующую инфраструктуру распределения без модификации установок для смешивания, хранилищ или заправок.

**Биодизель** — сложный метиловый эфир с качеством дизельного топлива, производимый из масла растительного или животного происхождения и являющийся альтернативой дизельному топливу (рис. 17). В качестве исходного сырья на современном этапе также используются восстановленные жиры от приготовления пищи и водоросли. Микроскопические водоросли – это источник энергии; они относятся к числу наиболее быстро растущих растений во всем мире и на 50 % состоят из масел. В настоящее время насчитывается около 65 тыс. известных видов водорослей, которые используются в получении биотоплива по технологиям «второго поколения». Как известно, одни из этих видов водорослей могут быть идеальны для работы реактивного двигателя, в то время как другие – для дизельного.

Сырьем для производства биодизельного топлива также могут быть различные растительные масла: рапсовое, соевое, арахисовое, пальмовое, отработанные подсолнечное и оливковое масла (использованные, например, при приготовлении пищи), а также животные жиры.

В основе технологии получения биодизельного топлива лежит реакция этерификации, которая была известна еще в 1900 г.:





Реакция этерификации обращается к катализировавшей химической реакции растительного масла и алкоголя, чтобы сформировать жирный эстер, известный как смесь биодизеля и глицерина. Катализатор может быть или ферментами, кислотами, или основаниями.

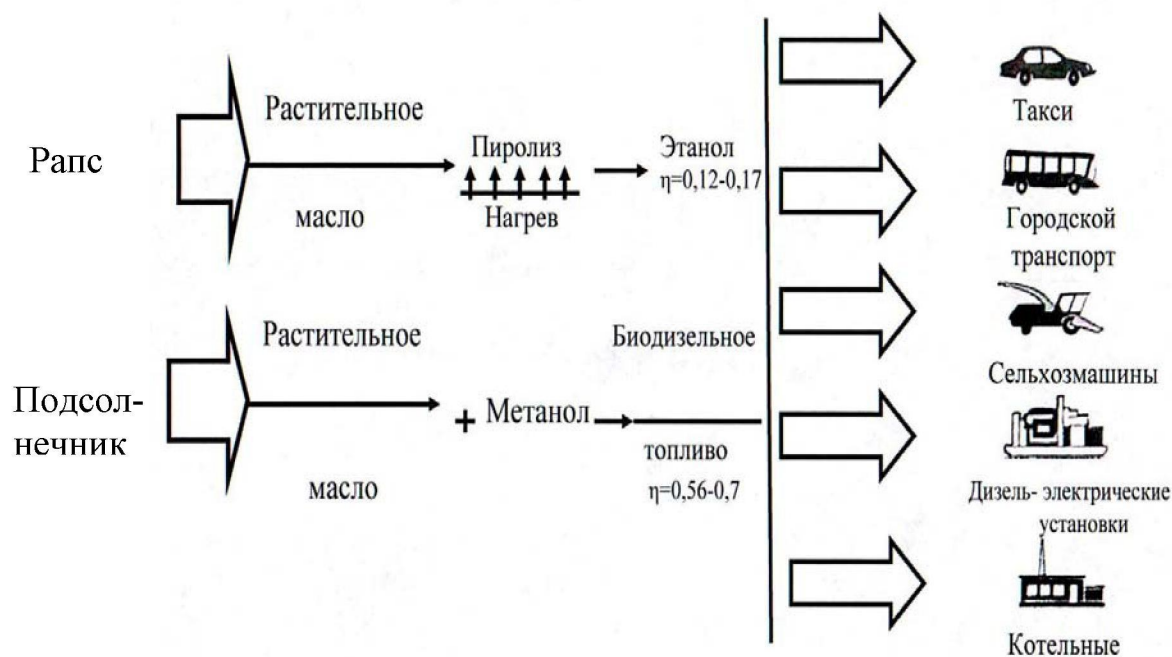


Рис. 17. Получение моторного топлива из биомассы

Биодизель может использоваться в обычных двигателях внутреннего сгорания как самостоятельно, так и в смеси с дизтопливом, без внесения изменений в конструкцию двигателя. Биодизельное топливо – это экологически чистый вид топлива, альтернативный минеральным видам и используемый для замены (экономии) обычного дизельного топлива.

Полученный эфир (рис. 18) отличается хорошей воспламеняемостью, обеспечиваемой высоким цетановым числом. Если для минерального дизтоплива характерен показатель в 50–52 %, то метиловый эфир уже изначально содержит 56–58 % цетана. Это позволяет использовать его в дизельных двигателях без прочих стимулирующих воспламенение веществ.

Стоимость биодизеля в настоящее время не превышает стоимости «нефтяного» дизельного топлива и имеет тенденцию к снижению по отношению к последнему. Биодизель получил широкое распространение во многих странах мира. Среди них – Германия, Австрия, Чехия, Франция, Италия, Швеция, США и др. Специалисты по моторной технике считают биодизель лучшим топливом для моторов с самовоспламенением.

Датская компания «С.С. JENSEN A/S», учрежденная в 1953 г., разработала новую аппаратуру для очистки биодизеля, которая носит название «PTU2 27/27 Diesel». Это фильтр, который объединяет сепаратор непрерывного разделения воды с тонкой фильтрацией и используется для очистки масел, а именно – удаления воды, продуктов разложения и частиц (окисления, смол, осадка).



Рис. 18. Процесс получения биодизеля и побочного глицерина из рапса

Биодизель имеет следующие преимущества:

- он не токсичен, практически не содержит серы и канцерогенного бензола;
- разлагается в естественных условиях (примерно так же, как сахар);
- обеспечивает значительное снижение вредных выбросов в атмосферу при сжигании, как в двигателях внутреннего сгорания, так и в технологических агрегатах;

- увеличивает цетановое число топлива и его смазывающую способность, что существенно увеличивает ресурс двигателя;
- имеет высокую температуру воспламенения (более 100 °С), что делает его использование относительно безопасным;
- его источником являются возобновляемые ресурсы;
- производство биодизеля легко организовать, в т. ч. в условиях небольшого фермерского хозяйства; при этом используется недорогое оборудование.

Биодизель имеет следующие полезные свойства:

- имея растительное происхождение, биодизель не обладает бензоловым запахом и изготавливается из масел, сырьем для которых служат растения, улучшающие структурный и химический состав почв в системах севооборота;
- биодизель «биологически безвреден» (по сравнению с минеральным маслом, 1 л которого способен загрязнить 1 млн л питьевой воды и привести к гибели водной флоры и фауны). Биодизель, как показывают опыты, при попадании в воду не причиняет вреда ни растениям, ни животным;
- он подвергается практически полному биологическому распаду: в почве или в воде микроорганизмы за 28 дней перерабатывают 99 % биодизеля, что позволяет говорить о минимизации загрязнения рек и озер при переводе водного транспорта на альтернативное топливо;
- меньше выбросов CO<sub>2</sub>. При сгорании биодизеля выделяется ровно такое же количество углекислого газа, которое было потреблено из атмосферы растением, являющимся исходным сырьем для производства масла, за весь период его жизни<sup>2</sup>.

Недостатки биодизеля:

- использование 100 % биодизеля в двигателях прошлого поколения может привести к сокращению сроков службы резиновых элементов;
- необходимо учитывать, что растительное топливо загустевает при более высоких температурах, чем солярка. В частности, топливо из рапса – при минус 10 °С, поэтому при низких температурах использовать его можно только в смесях с соляркой;
- биотопливо – хороший растворитель. Оно очищает стенки топливных баков и трубопроводов от различных наслоений. Поэтому через неделю-полторы после начала работы на биотопливе нужно заменить топливный фильтр, а потом провести еще одну-две внеплановые замены.

При работе двигателя на биодизеле одновременно производится смазка его подвижных частей, в результате которой, как показывают испытания, достигается увеличение срока службы самого двигателя и топливного насоса в среднем на 60 %.

В качестве сырья для производства биодизельного топлива на современном этапе, кроме традиционного, становится и марикультура. Например, сейчас установлено, что выращивание водорослей в биореакторе, обеспечит

---

<sup>2</sup> Назвать биодизель экологически чистым топливом было бы неверно. Он дает меньшее количество выбросов углекислого газа в атмосферу, но не ликвидирует их (рис. 19).

доступ к наиболее перспективным источникам сырья для производства биодизеля из морских водорослей. Для сравнения – с одного акра земли можно получить 255 л соевого масла, или 2400 л пальмового масла. С такой же площади водной поверхности можно производить до 3570 баррелей бионефти.

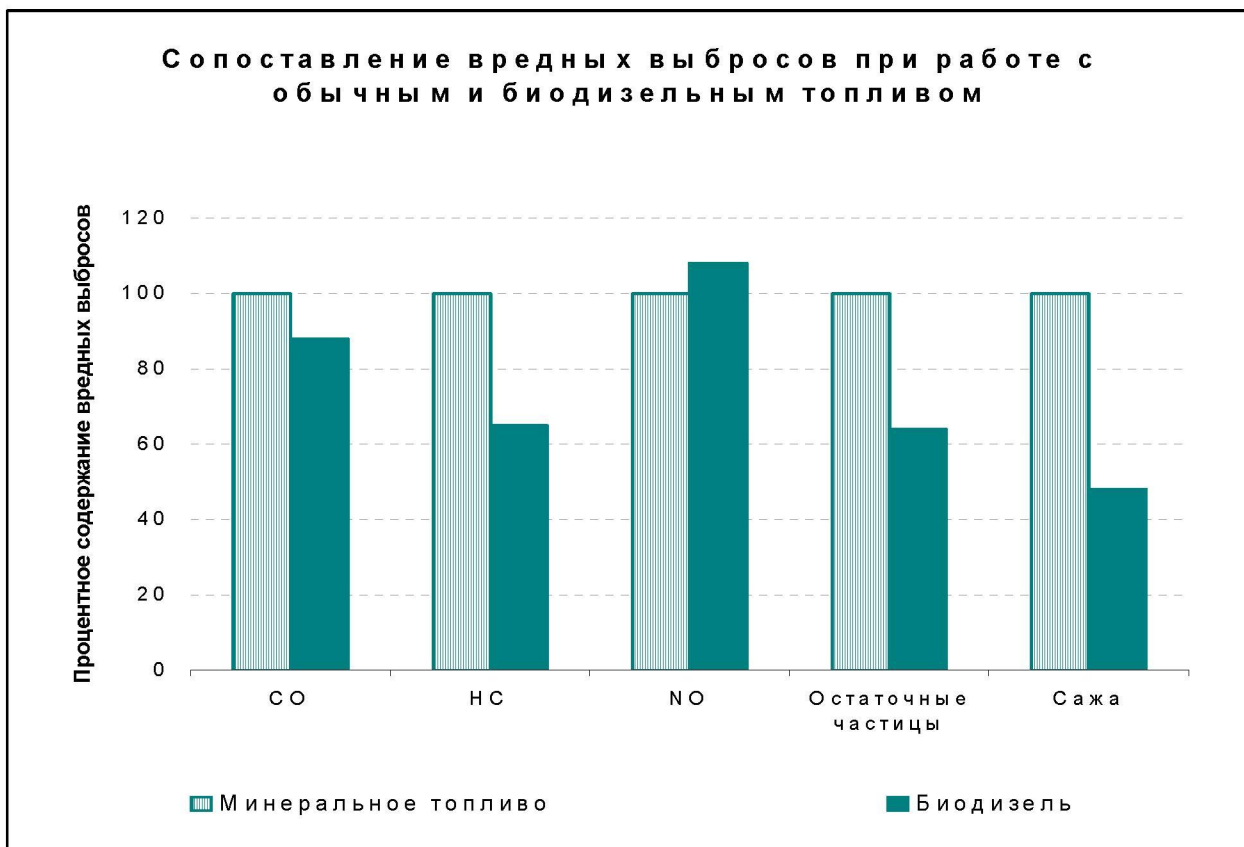


Рис. 19. Уровень несгоревших углеводов

По оценкам исполнительного директора «Shell» Петера Возера, разработка нового источника альтернативной энергии может быть поставлена на коммерческую основу лишь через несколько лет, а его повсеместное использование начнется не ранее 2020 г.

Этанол первого поколения, добываемый из кукурузы, и биодизель вызывают много нареканий как у защитников окружающей среды, так и у политиков. Первые обвиняют производителей в том, что из-за биотопливного бума, наблюдавшегося несколько лет назад, под топор ради расширения посевных площадей ушли громадные площади тропических лесов. Вторые же недовольны тем, что из-за активного производства биоэтанола голодают жители тех стран, где кукуруза является одним из важнейших продуктов питания. Именно поэтому так важны разработки в области производства нового типа биотоплива — биоэтанола из растительных отходов и биодизеля из водорослей. Пока производство биотоплива нового поколения остается весьма дорогостоящим.



Департамент энергетики США с 1978 по 1996 гг. 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 м<sup>2</sup>. Урожайность составила более 50 г водорослей с 1 м<sup>2</sup> в день.

У технологии еще остается множество проблем. Так, водоросли любят высокую температуру, для их производства хорошо подходит пустынный климат, но требуется некая температурная регуляция при ночных перепадах температур. По своим энергетическим характеристикам водоросли значительно превосходят другие источники. 200 тыс. га прудов могут производить топливо, достаточное для годового потребления 5 % автомобилей США. 200 тыс. га – это менее 0,1 % земель США пригодных для выращивания водорослей. Однако, водоросли, содержащие большее количество масла, растут медленнее. Например, водоросли, содержащие 80 % нефти, вырастают раз в 10 дней, в то время как водоросли, содержащие 30 %, – 3 раза в день. Производство водорослей привлекательно еще и тем, что в ходе биосинтеза поглощается углекислый газ из атмосферы.

Коммерческому применению водорослей в качестве топлива препятствует отсутствие эффективных инструментов для их сбора в больших объемах. Кроме выращивания водорослей в открытых прудах, существуют технологии их выращивания в малых биореакторах, расположенных вблизи электростанций. Сбросное тепло ТЭЦ способно покрыть до 77 % потребностей в теплоте, необходимом для выращивания водорослей. Эта технология не требует жаркого пустынного климата.

Авиационная промышленность также заявила о начале разработок по использованию морских водорослей в качестве сырья для производства авиационного топлива. Компания «Боинг» сообщила, что альтернативой биодизелю, произведенному из морских водорослей, в будущем может стать производство авиационного биотоплива. По мнению специалистов «Боинга», биотопливо из водорослей – это будущее авиации, так как из них получают в 150–300 раз больше масла, чем из сои.

Для выращивания этих водорослей можно использовать земли, которые не пригодны для выращивания пищевых сельхозкультур. Есть и другие варианты получения сырья – например, из отходов рыбного промысла. Однако основным, базовым остается производство из растительного масла, получаемого из семян специально выращенных маслянистых культур: сои, подсолнуха, рапса; для получения 10 тыс. т топлива требуется около 40 тыс. т семян сои.

Комитет Международной организации по стандартизации (International Organization for Standardization, ISO) планирует разработать специальный стандарт для биоэнергетики – ISO 13065.

Недавно созданный Комитет организации, специализирующейся в области возобновляемых источников энергии (Sustainability for Bioenergy), впервые собрался в апреле 2010 г. Новый стандарт должен стимулировать разви-

тие программ по переходу к использованию ВИЭ в различных регионах мира. Специалисты будут обсуждать социальные, экономические и экологические аспекты производства, реализации и использования биоэнергии, в соответствии с которыми будет составлен перечень критериев для определения качества выпускаемого продукта. По предварительной оценке, подготовка документа займет около 3-х лет и будет завершена с большой вероятностью к концу 2012 г. В настоящее время к процессу подготовки стандарта привлечены представители 29 стран. Возглавляют Комитет специалисты из Бразилии и Германии. Другие региональные участники, в том числе из США и Китая, будут выступать в качестве наблюдателей.

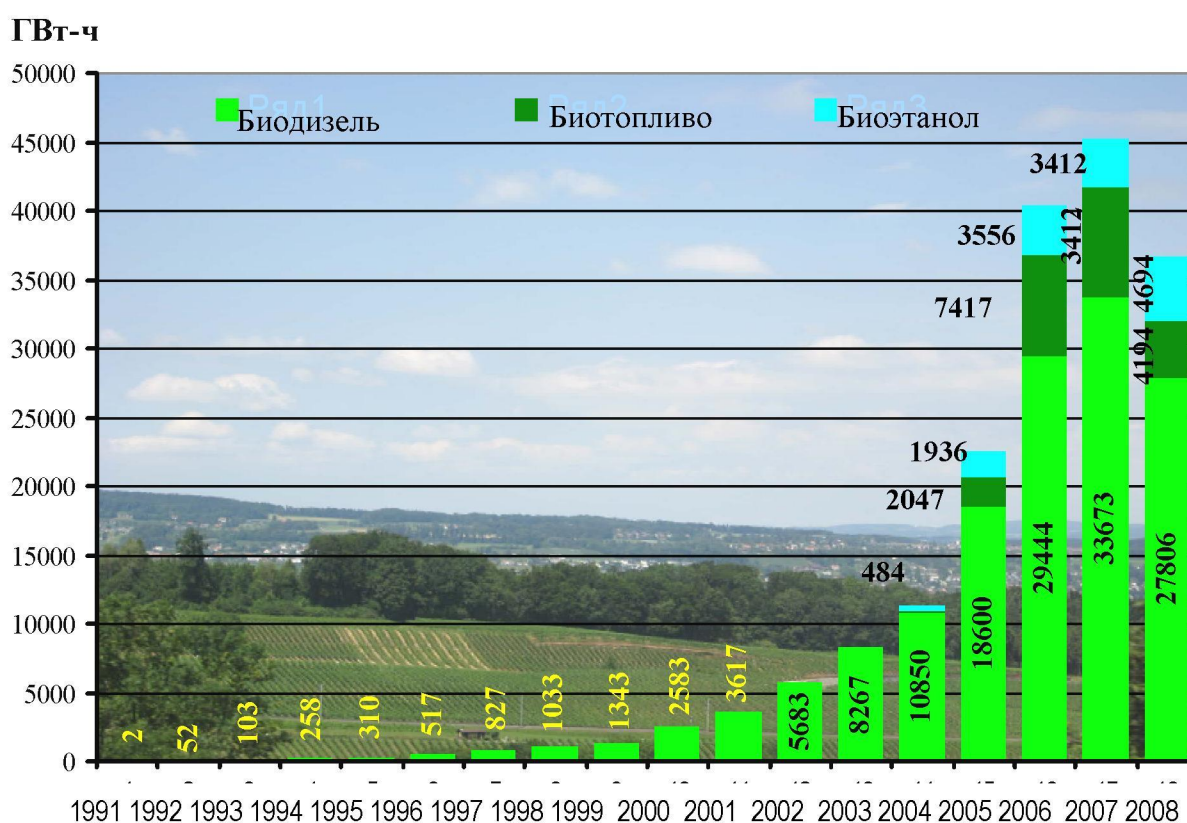


Рис.20. Потребление биотоплива в Германии

Огромные средства выделяются Европейским Союзом для производства биологического топлива (рис. 20). Еще недавно фермеры Европы возделывали на полях твердые сорта пшеницы для нужд пищевой промышленности, а теперь эти поля заняты рапсовыми культурами для производства топлива. Комиссия Евросоюза, недовольная медленным развитием биотопливной индустрии, поставила перед странами-участницами цель: к 2020 г. добиться, чтобы 10 % энергоносителей в стране составляло биотопливо.

Выращивание рапсовых культур для энергетических нужд становится выгодным бизнесом. В Италии, например, правительство гарантирует закупку

рапса для биологического топлива по цене 22 долл. за 100 кг, или 13,42 долл. за 100 фунтов. 100 кг пищевого зерна стоят вдвое дешевле – 11–12 долл.

**Мировое производство биодизеля  
(млн. тонн)**

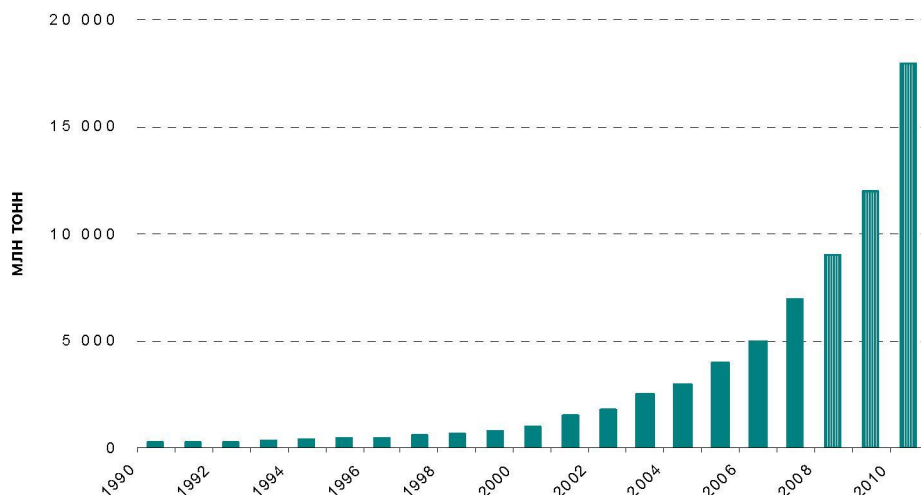


Рис. 21. Мировой объем производства биодизельного топлива.

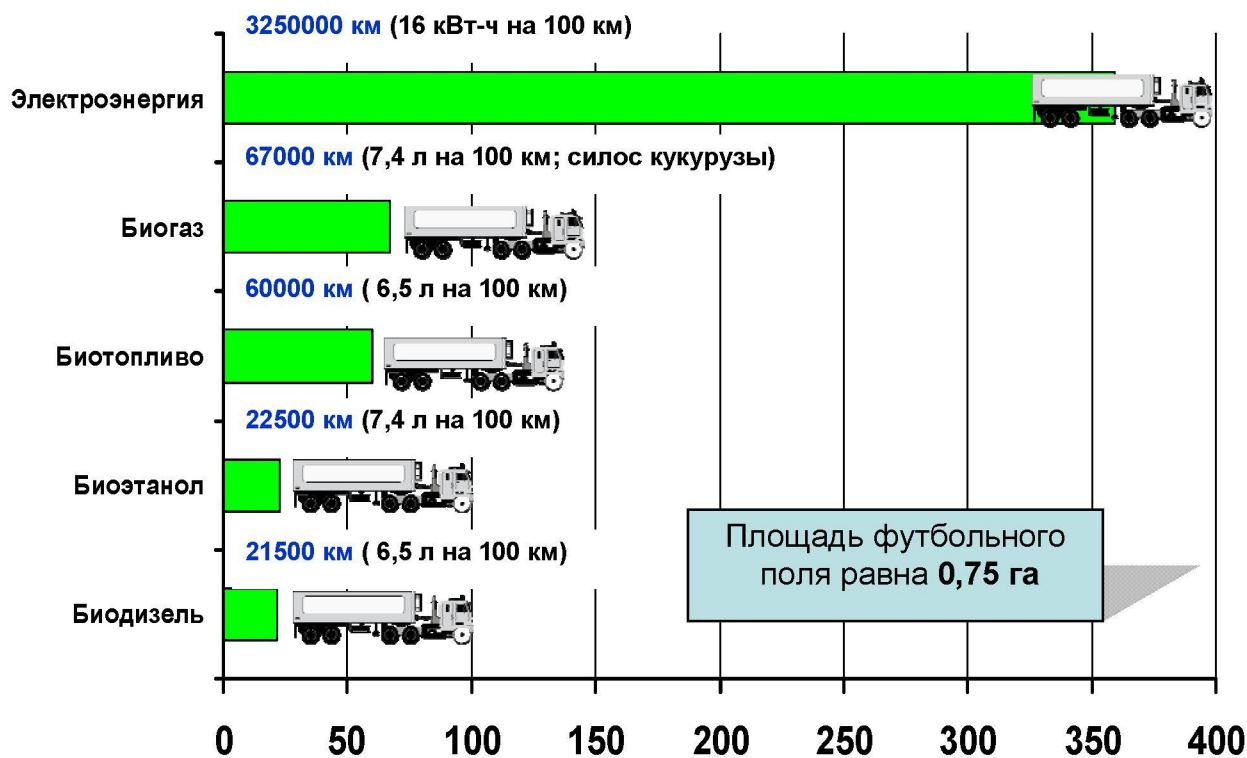


Рис. 22. Величина пробега автомобиля при использовании ВИЭ с 1 га площади

Компания «ScottishPower», один из крупнейших британских производителей электроэнергии, намерена сократить использование угля на своих электростанциях.

трогенерирующих предприятиях и заменить его топливом растительного происхождения. Для этого предполагается заключение контрактов с шотландскими фермерами на поставку 250 тыс. т зерна, которое будет использовано вместо угля на двух действующих электростанциях. У этого проекта есть очевидный экологический плюс – в отличие от ископаемого топлива сжигание зерна не приводит к повышению уровня углекислого газа в атмосфере, поскольку ровно такое же количество углекислого газа было затрачено при фотосинтезе в ходе роста урожая. Кроме зерна, сжигаемая масса содержит другие растительные культуры, в частности, поросль ивы. Предполагают, что около 12 % земли, используемой в сельском хозяйстве Шотландии, смогут к 2013 г. обеспечить поставки растительного сырья для замены 5 % используемого в настоящее время угля.

Использование биотоплива, например, этанола (этилового спирта) или дизельного топлива (биодизеля), полученного из специально выращенных растений, обычно рассматривают как важный шаг к сокращению выбросов углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) в атмосферу. Конечно, при сжигании биотоплива углекислый газ попадает в атмосферу совершенно так же, как и при сжигании ископаемого топлива (нефти, угля, газа). Разница в том, что образование растительной массы, из которой было получено биотопливо, шло за счет фотосинтеза, то есть процесса, связанного с потреблением  $\text{CO}_2$ .

Соответственно, использование биотоплива рассматривается как «углерод-нейтральная технология»: сначала атмосферный углерод (в виде  $\text{CO}_2$ ) связывается растениями, а потом выделяется при сжигании веществ, полученных из этих растений. Однако стремительно расширяющееся производство биотоплива во многих местах (прежде всего в тропиках) ведет к уничтожению природных экосистем и потере биологического разнообразия.

Казалось бы, биотопливо ничем не отличается от обычного ископаемого топлива. Но разница есть, и определяется она временной задержкой, лагом между связыванием  $\text{CO}_2$  в ходе фотосинтеза и выделением его в процессе сжигания углеродсодержащих веществ. Если этот лаг очень большой (как в случае использования горючих ископаемых), то состав атмосферы может за это время существенно измениться. Кроме того, если связывание углекислого газа происходило в течение очень длительного времени, то высвобождение происходит очень быстро. В случае же использования биотоплива временной лаг совсем небольшой: месяцы, годы, для древесных растений – десятилетия. Поэтому биотопливо и называют часто «углерод-нейтральным».

При всех плюсах использования биотоплива быстрое увеличение его производства (рис. 21) чревато серьезными опасностями для сохранения дикой природы, особенно в тропиках. В последнем номере журнала «Conservation Biology» появилась обзорная статья, посвященная вредным последствиям использования биотоплива. Ее авторы – Марта Грум, работающая в рамках Междисциплинарной программы наук и искусств Вашингтонского университета в Ботелле (США), и ее коллеги Элизабет Грэй и Патрисия Таунсенд, проанализировав массу литературы, предложили ряд рекомендаций по тому, как сочетать получение биотоплива с минимизацией отрицательного

воздействия на окружающую среду, с сохранением биоразнообразия окружающих природных экосистем. Так, по мнению Грум и ее коллег, вряд ли заслуживает одобрения принятая во многих странах, и прежде всего в США, практика использования кукурузы как сырья для получения этанола. Культивирование кукурузы само по себе требует большого количества воды, удобрений и пестицидов. В результате, если учесть все затраты на выращивание кукурузы и производство из нее этанола (они ведь тоже связаны с потреблением энергии, со сжиганием топлива), то окажется, что в сумме количество  $\text{CO}_2$ , выделяющегося при изготовлении и использования такого биотоплива, почти такое же, как при использовании традиционного ископаемого топлива!

Для этанола из кукурузы коэффициент, оценивающий выделение парниковых газов на определенный энергетический выход (в  $\text{кг CO}_2/\text{МДж}$ , равен 81–85. Для сравнения, соответствующий показатель для бензина (из ископаемого топлива) составляет 94, а для обычного дизельного топлива – 83. При использовании сахарного тростника результат уже существенно лучше – 4–12  $\text{кг CO}_2/\text{МДж}$ .

Но настоящий скачок наблюдается при переходе к использованию многолетних трав, например, одного из видов дикого проса – так называемого «проса прутьевидного» (*Panicum virgatum*), обычного растения высокотравных прерий Северной Америки.

Благодаря тому, что значительная часть связанного углерода запасается многолетними травами в их подземных органах, а также накапливается в органическом веществе почвы, территории, занятые этими высокими (порой выше человеческого роста) травами, функционируют как места связывания («стока») атмосферного  $\text{CO}_2$ . Показатель эмиссии парниковых газов при получении биотоплива из проса характеризуется отрицательной величиной: –24  $\text{кг CO}_2/\text{МДж}$  (то есть  $\text{CO}_2$  становится в атмосфере меньше).

Величина максимального пробега автомобиля, двигатель которого работает на биотопливе, представлена на рис. 22.



## Раздел 2. ПЕРЕРАБОТКА БИОМАССЫ И ОТХОДОВ

---

Человечество научилось использовать биогаз давно. В XVII в. Ян Баптист Ван Гельмонт обнаружил, что разлагающаяся биомасса выделяет воспламеняющиеся газы. Алессандро Вольта в 1776 г. пришел к выводу о существовании зависимости между количеством разлагающейся биомассы и количеством выделяемого газа. В 1808 г. сэр Хэмфри Дэви обнаружил метан в биогазе. Первая задокументированная биогазовая установка была построена в Бомбее (Индия) в 1859 г. В 1895 г. биогаз применялся в Великобритании для уличного освещения.

С учетом экологии производство биогаза позволяет предотвратить выбросы метана в атмосферу. Метан оказывает влияние на парниковый эффект в 21 раз более сильное, чем  $\text{CO}_2$ , и находится в атмосфере 12 лет.

### 2.1. ПОЛУЧЕНИЕ БИОГАЗА

В настоящее время в мире используется или разрабатывается около 60 разновидностей технологий получения биогаза.

Наиболее распространенный метод – анаэробное сбраживание в метатенках. Часть энергии, получаемой в результате утилизации биогаза, направляется на поддержание процесса (до 15–20 % зимой). В странах с жарким климатом нет необходимости подогревать метантенк. Бактерии перерабатывают биомассу в метан при температуре от 25 °С до 70 °С. Для сбраживания некоторых видов сырья в чистом виде требуется особая двухстадийная технология.

Например, птичий помет, спиртовая барда не перерабатывается в биогаз в обычном реакторе. Для переработки такого сырья необходим дополнительно реактор гидролиза. Такой реактор позволяет контролировать уровень кислотности,



Рис.23. Простейшая биогазовая установка (Тайвань)

таким образом бактерии не погибают из-за повышения содержания кислот или щелочей. Получение биогаза экономически оправдано при переработке постоянного потока отходов, например, на животноводческих фермах. Свалочный газ – одна из разновидностей биогаза, который получается на свалках муниципальных бытовых отходов.

Самую простую биогазовую установку можно изобразить как

яму, заполненную навозом (рис. 23) и накрытую колпаком с газоотводящим патрубком. Такого рода установки применяются в странах, где естественный температурный режим соответствует технологическим требованиям для сбраживания навоза: в Индии, странах Индокитая и южных провинциях Китая, где подобных установок насчитывается несколько миллионов. Суточная продуктивность таких биогазовых установок невелика – 0,15–0,3 м<sup>3</sup> газа с 1 м<sup>3</sup> реактора. Больше всего малых биогазовых установок находится в Китае – более 10 млн штук, по данным на конец 1999 г. Они производят около 7 млрд м<sup>3</sup> биогаза в год, что обеспечивает топливом примерно 60 млн крестьян. В Индии с 1981 г. было установлено 3,8 млн малых биогазовых установок. В конце 2006 г. в Китае действовало около 18 млн биогазовых установок. Их применение позволяет заменить 10,9 млн т условного топлива.

Среди промышленно развитых стран ведущее место в производстве и использовании биогаза по относительным показателям принадлежит Дании – биогаз занимает до 18 % в ее общем энергобалансе.

Россия ежегодно накапливает до 300 млн. т в сухом эквиваленте органических отходов: 250 млн т в сельскохозяйственном производстве, 50 млн. т в виде бытового мусора. Эти отходы являются сырьем для производства биогаза. Потенциальный объем ежегодно получаемого биогаза может составить 90 млрд м<sup>3</sup>.

В США выращивается около 8 млн коров. Биогаза, получаемого из их навоза, будет достаточно для обеспечения топливом 1 млн. автомобилей.

Биогаз представляет собой один из продуктов анаэробного (без доступа кислорода) брожения навоза или птичьего помета при температуре 30–41 °С. В этих условиях под действием имеющихся в биомассе бактерий часть органических веществ разлагается с образованием метана (60–70 %), углекислого газа (30–40 %), небольшого количества сероводорода (0–3 %), а также примесей водорода, аммиака и окислов азота. Биогаз не имеет неприятного запаха. Теплота сгорания достигает 25 МДж/м<sup>3</sup>, что эквивалентно сгоранию 0,6 л бензина, 0,85 л спирта, 1,7 кг дров или использованию 1,4 кВт·ч электроэнергии.

Одна корова способна обеспечить получение 2,5 м<sup>3</sup> газа в сутки, бык на откорме – 1,6 м<sup>3</sup>, свинья – 0,3 м<sup>3</sup>, птица – 0,02 м<sup>3</sup>. Выход биогаза при переработке органических отходов показан в табл. 5.

Схема типовой биогазовой установки показана на рис. 24. Жидкие биоотходы перекачиваются в биогазовую установку фекальными насосами по трубопроводу; твердые отходы (например, навоз, помет) доставляются по транспортной ленте. Жидкие отходы попадают не прямо в реактор, а в предварительную емкость. В этой емкости происходит гомогенизация массы и подогрев (иногда охлаждение) до необходимой температуры. Из емкости гомогенизации и загрузчика твердых отходов биомасса (навоз, помет или барда) поступает в реактор (биореактор, метантенк, ферментатор).

Реактор является газонепроницаемым, полностью герметичным резервуаром из кислотостойкого железобетона, изолированного слоем утеплителя. Толщина утеплителя рассчитывается под конкретные климатические условия.

Внутри реактора поддерживается фиксированная для микроорганизмов температура субстрата (обычная – мезофильная 30–41 °С или отдельных случаях применяются реакторы с термофильным режимом – около 55 °С). Перемешивание субстрата производится наклонными миксерами или погружными мешалками. Материал всех перемешивающих устройств – нержавеющая сталь. Эксплуатационный срок службы реактора составляет более 25–30 лет.

Таблица 5

Потенциал переработки органических отходов

Виды отходов		ОСВ/СВ*, %	Выход биогаза, м <sup>3</sup> /т	Содержание СН <sub>4</sub> , %
От убоя скота	каньга	80-90	200-400	58-62
АПК	жир и остатки жира	75-93	250-1300	60-72
	свекольная ботва	-	200	60-70
	силос кукурузный	60-80	200-300	68-75
	зерно	-	500-600	60-70
	молочная сыворотка	-	50	60-70
Ферма КРС	навоз	-	60	60-75
Свиноферма	навоз	-	65	60-75
Птичники	помет	-	80-140	60-75
Производство пива	пивная дробина	80	150-180	60
Переработка фруктов	яблочный жмых	85-90	660-680	65-70
	фруктовый жом	-	70	56-65
Переработка овощей	картофельная мезга	90	650-750	52-65
	свекольный жом	-	50-60	60
	корнеплодные овощи	-	100	60-70
Производство алкоголя	зерновая барда	83-88	50-70	58-65
Производства сахара	меласса	85-90	360-490	70-75
Переработка рыбы	рыбные отходы	50-80	300	60-75

\* ОСВ – органическое сухое вещество, СВ – сухое вещество.

Подогрев реактора ведется теплой водой. Температура воды на входе в реактор 60 °С, на выходе из реактора – около 40 °С. Система подогрева – это сеть труб, находящихся внутри стенки реактора, либо на ее внутренней поверхности.

Если биогазовая установка комплектуется когенерационной установкой (теплоэлектрогенератором), то вода от охлаждения генератора используется для подогрева реактора (в зимний период биогазовой установке требуется до 70 % вторичной теплоты, отведенной от теплоэлектрогенератора, в летний период – около 10 %).



Если биогазовая установка работает только на производство газа, то тогда теплая вода берется от специально установленного водогрейного котла (затраты энергии при этом на нужды самой установки составляют от 5 до 15 % всей энергии, которую дает биогазовая установка).

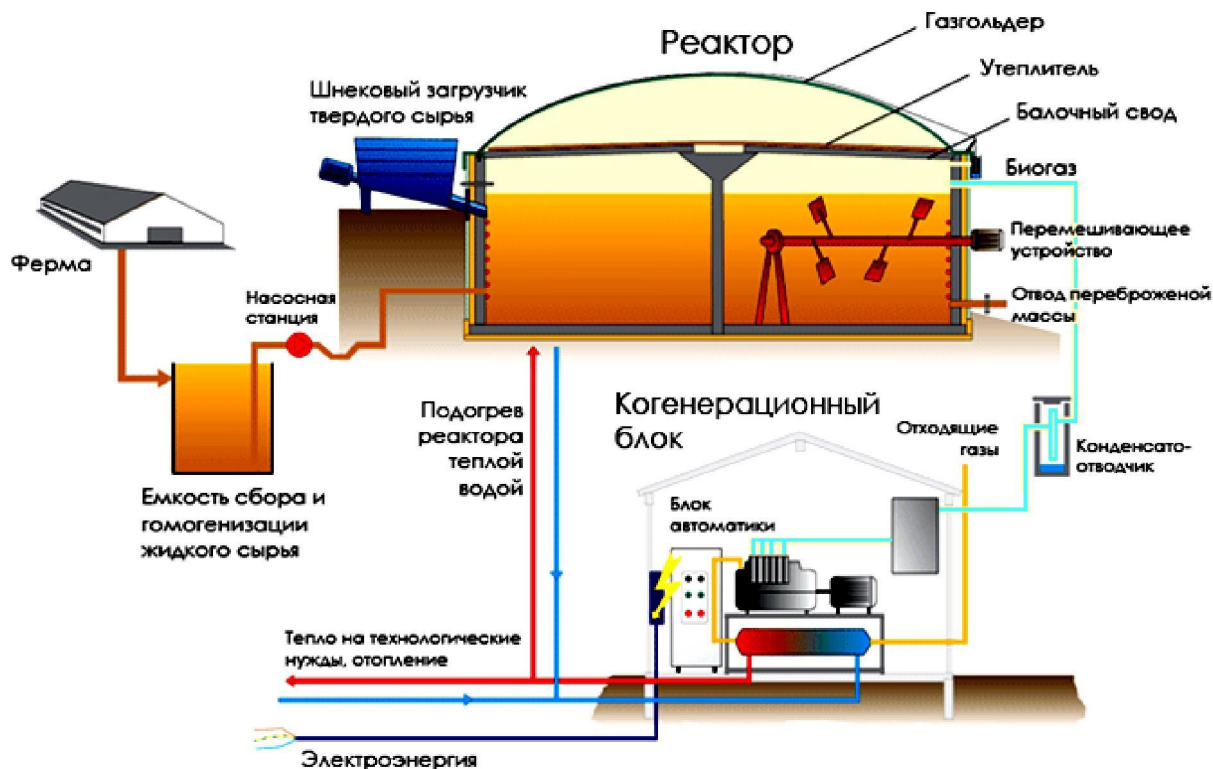


Рис. 24. Принципиальная схема биогазовой установки

Рассмотрим, как происходит технологический процесс в биогазовой установке (рис. 24).

Среднее время гидравлического отстаивания внутри реактора (в зависимости от субстратов) – 20–40 дней. На протяжении этого времени органические вещества внутри биомассы преобразовываются микроорганизмами (работу по сбраживанию отходов проделают анаэробные микроорганизмы). Для кукурузного силоса период брожения составляет 70–160 дней. Период брожения определяет объем реактора. В реактор микроорганизмы вводятся один раз – при первом запуске. В дальнейшем никаких добавок микроорганизмов и дополнительных затрат не требуется.

Биогаз сохраняется в емкости для хранения газа – газгольдере, где выравниваются давление и состав газа. Газгольдер – это высокопрочная растягивающаяся мембрана, материал которой стоек к солнечному свету, осадкам и испарениям в реакторе. Срок службы газгольдера 15 лет. Газгольдер герметически накрывает реактор сверху. Над газгольдером накрывается дополнительное тентовое покрытие. В пространство между газгольдером и тентом закачивается воздух для создания давления и теплоизоляции. Из газгольдера

идет непрерывная подача биогаза в газовый или дизельгазовый теплоэлектрогенератор. Здесь производятся теплота и электричество. 1 м<sup>3</sup> газа дает 2 кВт·ч электрической и 2 кВт·ч тепловой энергии. Крупные биогазовые установки имеют аварийные факельные устройства на тот случай, если двигатель теплоэлектрогенератора не работает и биогаз надо сжечь.

Введение микроорганизмов производится одним из трех способов:

- 1) введение концентрата микроорганизмов;
- 2) добавление свежего навоза;
- 3) добавление биомассы с другого действующего реактора.

Обычно используется 2-й и 3-й способы из-за дешевизны. Поэтому реакторы располагаются в непосредственной близости от фермы или производства.

Перебродивший в биореакторе субстрат – полужидкий шлам, представляющий собой полноценное органическое удобрение, собирается в специальном резервуаре и по мере необходимости вывозится на поля.

Анаэробная ферментация экскрементов животных, в отличие от традиционных способов приготовления органических удобрений, позволяет практически полностью сохранить азот, фосфор, калий, кальций. Кроме того, во время сбраживания полностью гибнут семена сорняков, которые всегда содержатся в навозе, уничтожаются микробные ассоциации, яйца гельминтов, нейтрализуется неприятный запах, тем самым достигается экологический эффект.

Всей системой управляет автоматика, которая контролирует работу насосной станции, мешалок, системы подогрева, газовой автоматики, генератора.

В случае, когда предприятию требуется не электроэнергия, а газ для заправки автомобилей, биогазовая установка комплектуется системой очистки и метановой заправочной станцией. Система очистки биогаза – устройство по отделению CO<sub>2</sub> из биогаза. Если требуется техническая углекислота, то по принципу «абсорбера-десорбера» содержание углекислого газа доводится с 40 до 10 % (и даже 1 %, если требуется). Такой вариант чрезвычайно может быть интересен, ввиду дороговизны солянки.

Биогаз, обладая высокими антидетонационными свойствами, служит хорошим топливом для двигателей внутреннего сгорания. Сравнительные испытания показали, что удельный расход дизельного топлива составлял 220 г/кВт·ч номинальной мощности, а биогаза 0,4 м<sup>3</sup>/кВт·ч. При этом требуется 300 г пускового дизтоплива в качестве «запала» для биогаза. В результате экономия дизтоплива составила 80 %.

## 2.2. ПРОИЗВОДСТВО БИОГАЗА В СТРАНАХ ЕС

По абсолютным показателям по количеству средних и крупных установок ведущее место занимает Германия — 8000 тыс. штук.

В Западной Европе не менее половины всех птицеферм отапливаются биогазом. «Volvo» и «Scania» производят автобусы с двигателями, работающими на биогазе. Такие автобусы активно используются в городах Швейцарии – Берне, Базеле, Женеве, Люцерне и Лозанне. По прогнозам Швейцар-

ской Ассоциации Газовой Индустрии в 2010 г. 10 % автотранспорта Швейцарии работает на биогазе.

В Европе распространены биогазовые установки электрической мощностью от 350 кВт. На современном этапе более экономичными считаются биокомплексы с электрической мощностью 1000–20000 кВт. Для установок с расчетной электрической мощностью 350 кВт требуется, как правило, ферма на 160–200 голов КРС и пашня кукурузы до 3500 га. Для управления «базовой установкой» (электрической мощностью 350 кВт) достаточно всего одного человека, время работы которого составит около 2 ч в день. Человек контролирует работу биогазовой установки с помощью обыкновенного компьютера.

Потенциал производства биогаза на указанных установках на ближайшее будущее для стран Европы приведен в табл. 6.

Все биогазовые установки разделяются на две главные категории или их комбинацию:

первая категория – установки, использующие как сырье отходы пищевой промышленности (рис. 25);

вторая категория – установки, использующие различные продукты сельского хозяйства (рис. 26).

Большинство видов сырья можно смешивать между собой.

Европейское право (Директива 96/61/ЕЕВ) очень жестко ограничивает действие больших сельскохозяйственных предприятий (свыше 2000 свиней и 40 000 птиц) и заводов по переработке сельскохозяйственных продуктов (выше 200 т/сутки молока, 50 т/сутки мяса, 300 т/сутки растительной массы).

Таблица 6

Потенциал производства энергии из биогаза к 2020 г.

Страна	Количество биомассы, млн т	Количество электроэнергии из биогаза, 10 <sup>9</sup> кВт·ч/год	Количество теплоэнергии из биогаза, 10 <sup>9</sup> Дж/год
Австрия	36,1	6,1	22,0
Бельгия	52,0	8,8	31,7
Дания	52,5	8,9	32,0
Финляндия	18,5	3,1	11,3
Франция	251,9	42,7	153,7
Германия	234,6	39,8	143,2
Греция	11,4	1,9	7,0
Ирландия	70,5	11,9	43,0
Италия	112,0	19,0	68,3
Люксембург	2,1	0,4	1,3
Нидерланды	80,8	13,7	49,3
Португалия	22,0	3,7	13,4
Испания	108,2	18,3	66,0
Швеция	26,3	4,4	16,0
Великобритания	155,4	26,3	94,8
<b>Всего по ЕС</b>	<b>1234,3</b>	<b>209,0</b>	<b>753,0</b>



Рис. 25. Установки, использующие отходы пищевой промышленности



Рис. 26. Установки, использующие продукты сельского хозяйства

Регламент ЕС 1774/2002 требует, чтобы отходы животного происхождения обрабатывались при повышенной температуре. Термическая обработка исключает риск распространения болезней и бактерий. Отходы 3-й категории (части животных, которые не были заражены болезнями, но непригодны для пищи людей, а также кровь, отходы кожи, рыбных продуктов, молока) необходимо в течение 60 мин подогреть при температуре не менее 70 °С. Куски массы должны быть измельчены до размеров меньше 12 мм. Отходы 2-й категории (падаль животных, органы и состав пищеварения, отходы предприятий общественного питания) необходимо обязательно в течение 20 минут подогреть при температуре не менее 133 °С в емкости с давлением 3 бар. Куски массы должны быть измельчены до размеров меньше 50 мм.

Очевидно, что дальнейшее подорожание газа неизбежно и значительно. Вместо того чтобы строить газопроводы, за эти или даже меньшие средства, можно построить биогазовые установки. За газ из трубы нужно еще и платить, а газ от биогазовой установки – всегда бесплатен. По данным фирмы «ZORG™», себестоимость газа, получаемого из биогазовых установок в 2009 г., составила в среднем 15–20 евро за 1000 м<sup>3</sup> при себестоимости добычи природного газа у государственных компаний – 25–30 евро за 1000 м<sup>3</sup>.

Суммарное производство биогаза в странах ЕС в 2007 г. составило 5901,2 млн т н.э. (рис. 27). При этом ведущую роль играет производство биогаза с мусорных свалок (49,2 %), следом за ним идет производство биогаза из специально выращенных сельскохозяйственных культур, порядка 15 % биогаза в ЕС производится на очистных сооружениях.

На январь 2008 г. в Европе было сосредоточено 44 % мирового количества установок анаэробного сбраживания, в Северной Америке — 14 %. К основным группам работающих в странах ЕС промышленных биогазовых установок по признаку происхождения используемых отходов относятся следующие: агропищевая группа (67,5 %), группа непищевой промышленности (15 %) и непромышленная группа (9,6 %).

В Дании концепция централизованных биогазовых установок (заводов) предусматривает транспортировку биомассы от нескольких поставщиков — окрестных фермерских хозяйств, а также частично от муниципальных и промышленных предприятий. На таком заводе предусмотрено централизованное хранение навоза и сброженного осадка. Сброженный осадок весной и осенью забирают фермеры для использования его в качестве удобрения. Следует отметить, что правительство Дании одобряет и финансово поддерживает строительство таких заводов (государственная субсидия в среднем составляет приблизительно 20 % от сметы строительства). Помимо централизованных биогазовых заводов развивается концепция строительства маломасштабных фермерских установок с объемом метантенка 150–200 м<sup>3</sup>.

В Италии с конца 80-х гг. начали внедрять новое поколение биогазовых установок, ориентированных на переработку отходов свиноферм. Емкость метантенка имеет объем около 600 м<sup>3</sup>, получаемый биогаз используется в когенерационных установках для выработки около 50 кВт·ч электричества и 120 кВт·ч теплоты. В Италии на данный момент нет государственной про-



граммы развития биогазовых установок, но Итальянская электрокомпания обязана покупать электроэнергию, выработанную из биогаза, по цене на 80 % выше цены для потребителей.

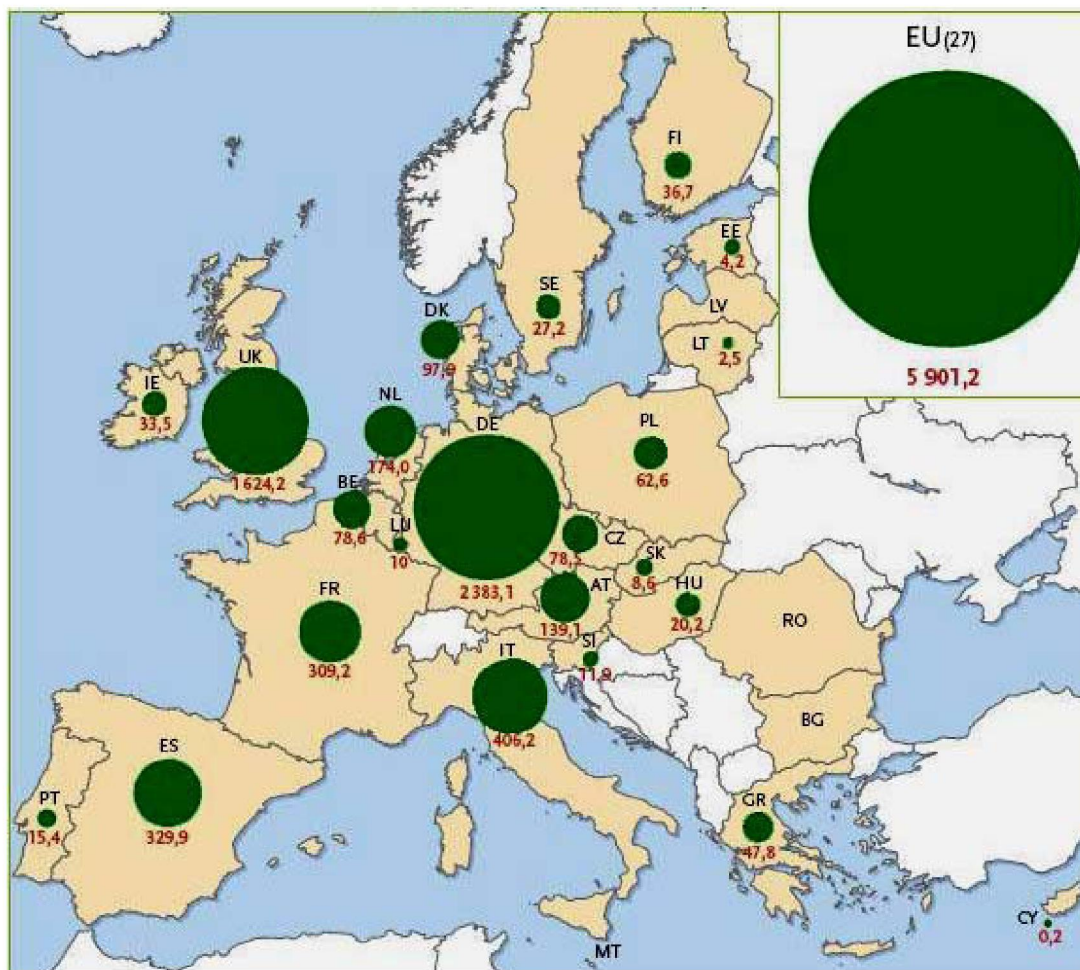


Рис. 27. Производство биогаза в странах ЕС в 2007 г. (млн т н.э.)

В Австрии нет национальной программы поддержки строительства биогазовых установок, однако их строительство поддерживают министерства сельского хозяйства и экологии. Финансовую поддержку также оказывают федеральные сельскохозяйственные организации и банки.

В Германии почувствовать динамику освоения биогазового оборудования можно, ознакомившись с данными по ежегодному внедрению комплексов. В 1998 г. здесь эксплуатировалось 2020 биогазовых установок (приведенная к усредненной установленной мощности 340 кВт электрической энергии), к концу 2005 г. эта цифра возросла до 3,5 тыс. (рис. 28). Только в первом полугодии 2005 г. была внедрена 281 установка общей стоимостью 206 млн евро.

Три из 6 крупнейших европейских компаний в биогазовой отрасли – немецкие: «Strabag Umweltsanlagen GmbH», «Schmack Biogas AG», «Biotechnische Abfallverwertung» – с общим количеством 280 заводов и объемом производства порядка 3,7 млн т. По прогнозам количество установок в Германии до 2020 г. достигнет 20 тыс. штук. Крупные установки достигают мегаваттной мощности, например, биогазовый комплекс в Пенкуне с проектной мощностью 20 МВт. Основой и толчком для развития биоэнергетики яв-

ляется, прежде всего, закон ФРГ «О возобновляемых источниках энергии», который многочисленными льготами создал благоприятную атмосферу для инвестиций в эту отрасль энергетики (табл. 7). По оценкам экспертов, в Германии существует необходимость в строительстве по меньшей мере 220 тыс. биогазовых установок, из которых 86 % должны перерабатывать навоз.

Наибольший интерес сельхозпредприятия проявляют к установкам мощностью 250–500 кВт. Многие фермеры и предприниматели, эксплуатирующие установки, предпочитают начинать с относительно небольших установок для производства биогаза, а затем наращивают мощности. Вне сельского хозяйства доминируют большие установки с мощностью более 1 МВт. Фермеры предпочитают вертикальный ферментатор из бетона. Этот материал отличается высокой прочностью и долговечностью и, кроме того, более доступен, чем высококачественная сталь.



Рис. 28. Динамика применения биогазовых установок в Германии

Таблица 7

Тарифы на подачу в сеть энергии от установок переработки биомассы в 2009 г.

Вид получаемого газа	Период действия тарифа, лет	Тариф, €cent/кВт·ч	Дегрессия, %
Газ из биомассы	20	7,79-11,67	1,0
Газ от очистки сточных вод и переработки мусора		4,16-9,00	1,5
Метан			

### 2.3. КОГЕНЕРАТОРНЫЕ УСТАНОВКИ С ГАЗОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Под понятием «когенерация» подразумевается комбинированное производство электрической энергии и теплоты. По сравнению с классическими электростанциями, где теплота, образованная при производстве электроэнергии, неиспользованная выпускается в окружающее пространство, когенерационные установки ее используют для отопления и таким образом экономят как топливо, так и финансовые средства, нужные для ее приобретения.

Электрическая энергия образуется на всех электростанциях в процессе вращения электрического генератора с помощью турбины. Теплота, потребная для производства пара, приводящего в движение турбину, образуется в процессе сжигания угля или при цепной реакции урана. Большая часть теплоты, однако, не находит применения и как бесполезная выпускается в окружающую среду. Поэтому эффективность, например, атомной электростанции «Дукованы» представляет только 26 %, у атомной электростанции «Темелин» предполагается эффективность 32 %. Эффективность теплоэлектростанций предствляет около 30 %, современные парогазовые электростанции достигают эффективности около 50 %. К этому следует причислить потерю около 11 % энергии при магистральной ее передаче.

В когенерационных установках электрическая энергия образуется подобным способом, как и в остальных электростанциях – при вращении электрогенератора посредством поршневого двигателя внутреннего сгорания. Двигатели когенерационных установок в стандартном исполнении приспособлены для сжигания природного газа, но можно в них сжигать и другое органическое топливо.

Теплота, возникающая в двигателе внутреннего сгорания, через систему охладителей двигателя, масла и продуктов сгорания в дальнейшем эффективно используется, поэтому производительность когенерационных установок находится в пределах 80–90 %.

При применении когенерационного способа производства теплоты и электроэнергии экономится около 40 % топлива. Кроме того, экономится денежные средства. Получается, что потребитель за такое же количество энергии заплатит только 60 % его стоимости, а из такого же количества топлива получит почти двойное количество энергии, часть которой может продать, чем еще больше снизит собственные затраты.

Многие газораспределительные предприятия предлагают различные формы скидок при покупке газа для когенерации. Кроме того, теплота и электроэнергия вырабатываются в непосредственной близости от их потребления, в связи с этим отпадают как затраты на распределение энергии, так и потери при ее магистральной передаче. Теплота, возникающая в когенерационной установке, используется для отопления объектов, для подогрева технической воды и для технологических процессов.

Когенерационные установки часто используются в качестве аварийных источников электроэнергии там, где не допускаются перебои в питании сети. При

применении абсорбционных теплообменников можно тепло использовать для охлаждения в технологических целях и для кондиционирования. В таком случае уже имеется в виду тригенерация, т.е. комбинированное производство электроэнергии, тепла и холода. Окупаемость когенерационных установок представляет 3–5 лет, в зависимости от мощности и способа использования.

Когенерация в настоящее время является одним из наиболее экологических и одновременно экономически эффективных способов производства теплоты и электричества. Известно, что при применении когенерационного способа производства энергии экономится 40 % топлива, на столько же снижается, с экологической точки зрения, загрязнение окружающей среды.

Биогаз на современном этапе широко применяется в качестве топлива для когенерационных установок.

В установках малой мощности применяются преимущественно поршневые двигатели внутреннего сгорания, приспособленные для сжигания газового топлива. Главным топливом служит природный газ, но все чаще применяются и альтернативные виды топлива, прежде всего – различные виды биогаза. Биогаз можно использовать из биогазовых станций, сооруженных около водоочистительных станций, свалок коммунальных отходов, или в земледельческих организациях, специализирующихся в животноводческом производстве.

Экономическим преимуществом применения когенерационных установок на биогазовых станциях наряду с производством теплоты при сжигании биогаза, например, в котлах, является и возможность производства электрической энергии, которая может быть использована для собственных нужд объекта или продаваться в общую распределительную сеть. Производство электроэнергии для собственных нужд значительно дешевле, по сравнению с покупкой ее из сети, в случае ее продажи можно воспользоваться выгодными тарифами для электроэнергии, произведенной из обновительных источников энергии. Поскольку биогаз является сопроводительным продуктом при переработке органических отходов, затраты по эксплуатации установки будут связаны только с отчислениями на оборудование и на сервисное обслуживание. Доходы будут составлять как сэкономленные средства за тепло и электроэнергию, так и средства за продажу электричества в сеть.

Для того чтобы когенерационная установка могла работать на биогазе с ожидаемым экономическим эффектом, нужно уточнить следующее:

1. Каковы свойства биогаза?
2. Какой объем газа и способ его улавливания в газгольдер?
3. Какова доступность газопровода?
4. Какие требования предоставляются к способу работы когенерационной установки?
5. Будет она работать параллельно с сетью или будет целесообразно использовать ее и в качестве аварийного источника электроэнергии, или эксплуатировать ее в автономном режиме?
6. Какой действительный расход энергии объекта и ее цена?

Эти данные важно знать для выбора подходящего типа когенерационной установки и способа ее эксплуатации.



Свойства биогаза являются одним из главных параметров, которые влияют на пригодность его использования в качестве топлива для двигателя когенерационной установки. Некоторые свойства могут значительно повысить цену całego проекта, или сделать его невозможным. К оценке биогаза поэтому следует приступать с полной ответственностью и знать следующие его свойства:

1. Содержание метана  $\text{CH}_4$ : нормальное содержание 55–65 % (минимальной считается 50-процентная концентрация).

2. Давление биогаза: давление газа при сжигании в когенерационной установке находится в пределах от 1,5 до 10 кПа.

3. Постоянство качества газа (состав и давление биогаза): оказывает влияние на стабильность работы и количество выпускаемых эмиссий.

4. Содержание вредных веществ (прежде всего, соединения серы, флора и хлора): эти соединения могут вызвать коррозию компонентов всасывающего тракта и внутренних частей двигателя, соприкасающихся со смазочным маслом.

Когенераторные установки, как уже говорилось, представляют собой компактные блоки для комбинированного получения энергии (электрической и тепловой) при сжигании органического топлива. Топливом для когенерационных установок с газовыми двигателями (рис. 29) служат природный газ, другие газы, содержащие метан, пропан-бутан.

Распределение электрической мощности: островной режим работы, параллельная работа с сетью, параллельная работа с другими системами, режим готовности к автоматическому запуску в случае необходимости.

Способы регулирования: режим постоянной электрической мощности, режим регулирования электрической мощности в зависимости от нагрузки, режим постоянной тепловой мощности, регулирование тепловой мощности в зависимости от потребления.

Примеры использования указанных установок приведены на рис. 30–33.

Смысл когенерации в том, что при прямой выработке электрической энергии, создается возможность утилизировать попутную теплоту. Когенерационные установки широко используются в малой энергетике, мини-ТЭЦ. И для этого есть следующие причины:

– теплота используется непосредственно в месте получения, а это обходится гораздо дешевле, чем строительство и эксплуатация многокилометровых теплотрасс;

– электричество используется большей частью в месте получения. В результате, без накладных расходов поставщиков энергии, его стоимость для потребителя может быть до 5 раз дешевле, чем у энергии из сети;

– потребитель приобретает энергетическую независимость от сбоев в электроснабжении и аварий в системах теплоснабжения;

– использование когенерации наиболее выгодно для потребителей с постоянным потреблением электроэнергии и тепла. Для потребителей, у которых имеются ярко выраженные «пиковые нагрузки» (например, жилое хозяйство, ЖКХ), когенерация мало выгодна – из-за большой разницы между



установленной и среднесуточной мощностями окупаемость проекта значительно затягивается.

Компактные электрические котельные, работающие на базе когенераторных установок (КГУ) с двигателем внутреннего сгорания, предлагает словацкая фирма «ELTECO». Для решения проблемы ликвидации перебоев подачи тепловой и электрической энергии назрела острая необходимость автономного электро- и теплоснабжения. Для этого существует несколько стандартных решений:

1. Бензиновый, газовый или дизельный моторгенератор для производства электроэнергии + котлы на природном газе, жидком горючем, угле, дровах и торфяных брикетах для обеспечения системы обогрева.

2. КГУ на природном попутном или биогазе, дизельном топливе – для производства электроэнергии и дополнительно тепла.

В случае постоянного, но неравномерного потребления электроэнергии и теплоты вышеперечисленные решения имеют ряд очевидных недостатков: при первом решении – высокая суммарная стоимость двигатель-генератора и котельной; большой суммарный расход топлива для обеспечения работы двигатель-генератора и котельной. Если применить второе решение, то очевидно, что производство теплоты без производства электроэнергии невозможно также, как невозможно производство электроэнергии без производства теплоты.

Компания «ELTECO» разработала новое решение, совмещающее системы производства тепловой и электрической энергии, управления и мониторинга, – это компактная когенераторная котельная, оснащенная всеми элементами защиты и управления. Можно подключить к когенераторной котельной свою отопительную систему, газовый ввод и электрическую разводку. В том случае, если котельная размещена не в контейнере, должны быть обеспечены подача воздуха в котельную и отвод теплого воздуха от вентилятора.

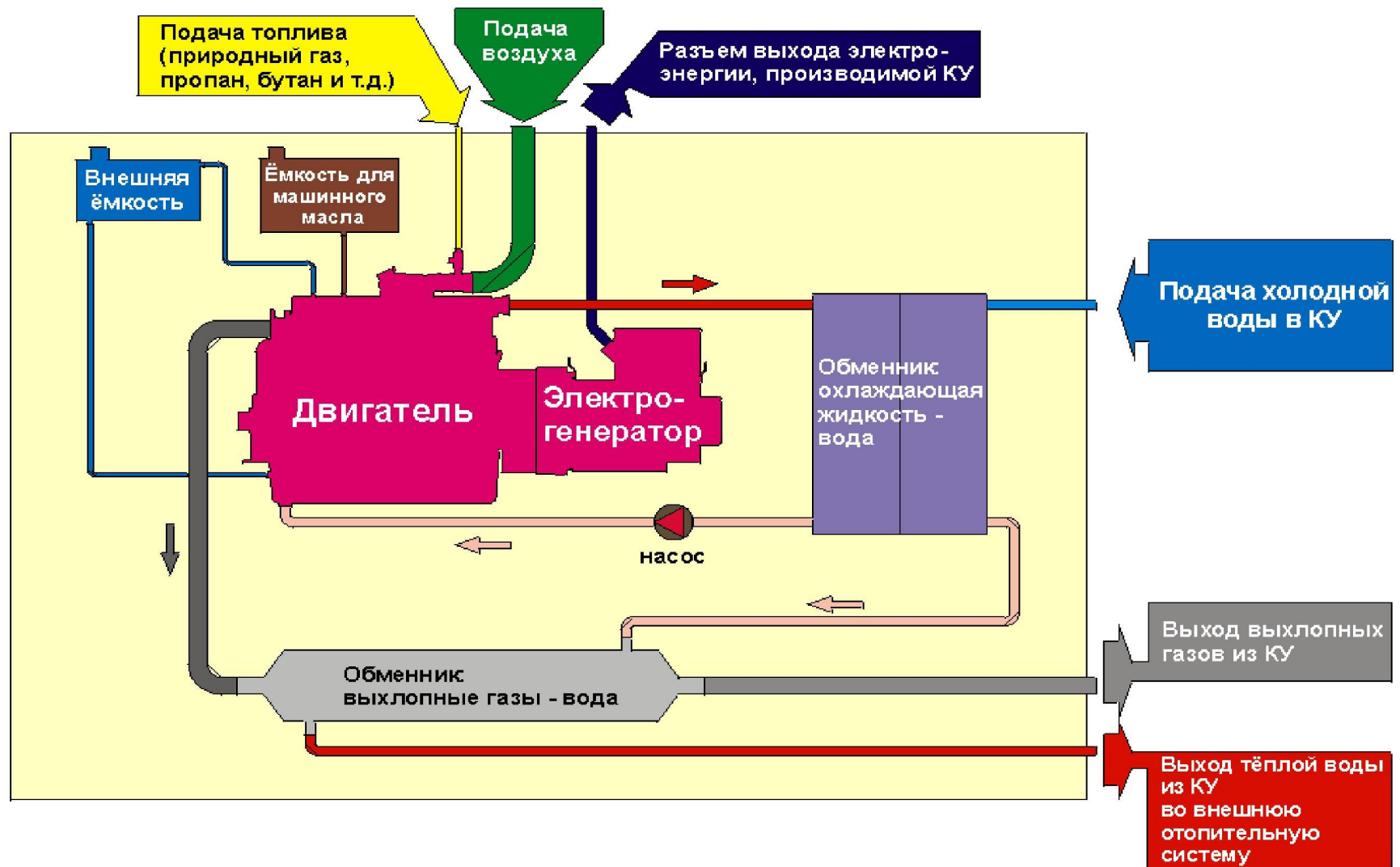


Рис. 29. Принципиальная схема когенераторной установки

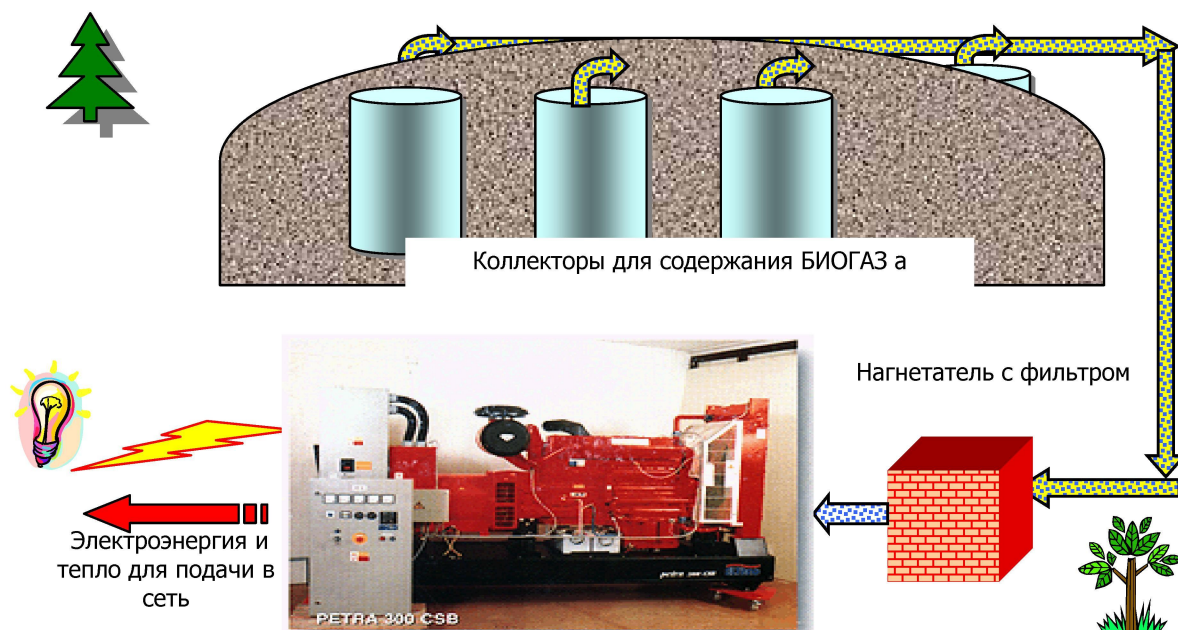


Рис. 30. Утилизация коммунальных отходов

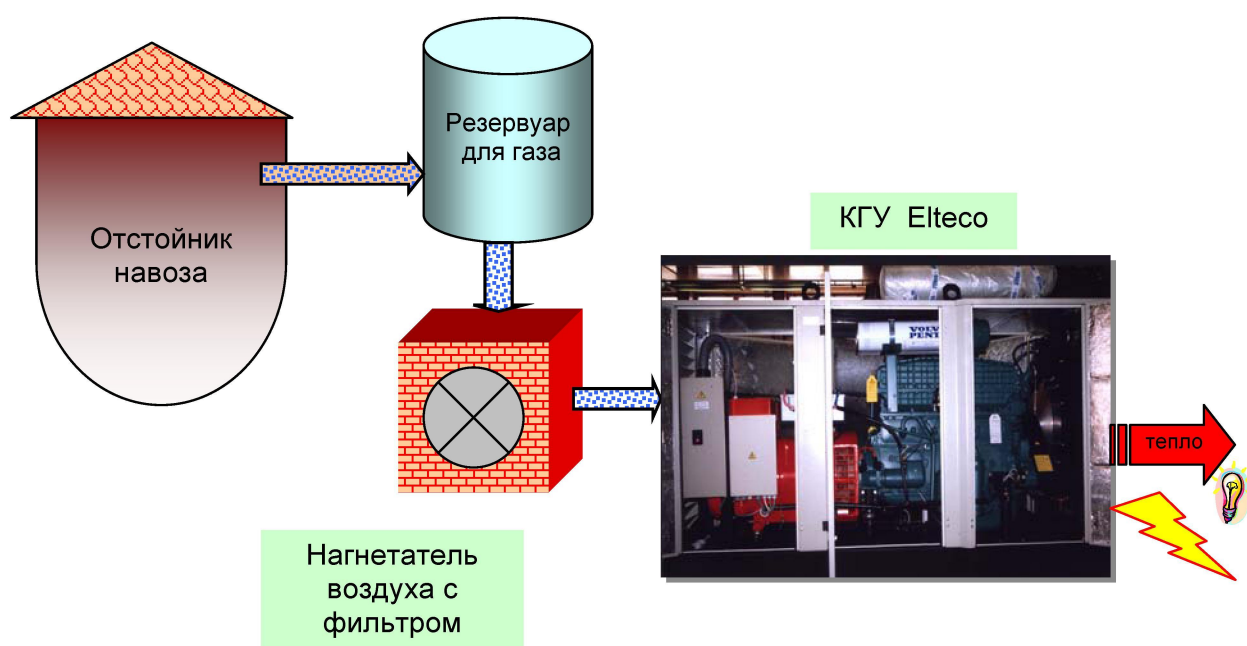


Рис. 31. Утилизация отходов (навоза) в фермерских хозяйствах

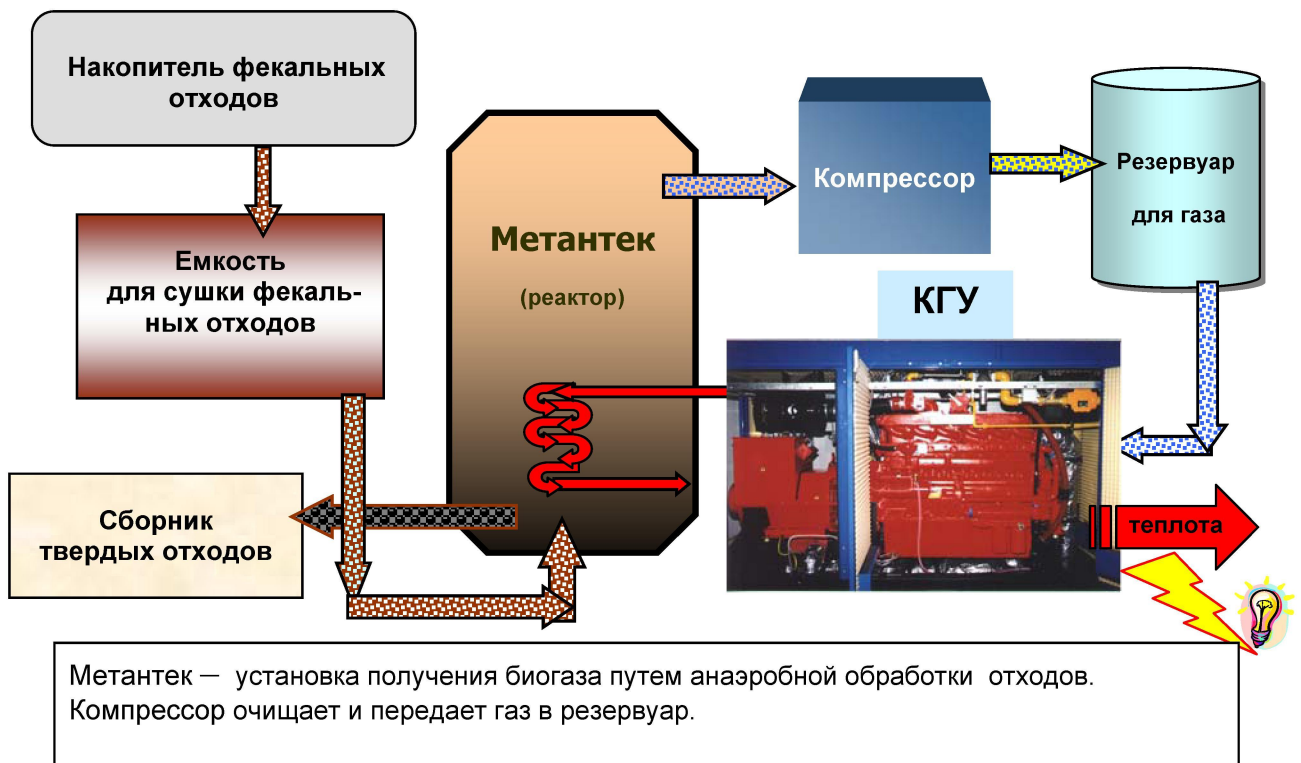


Рис. 32. Станция очистки сточных вод

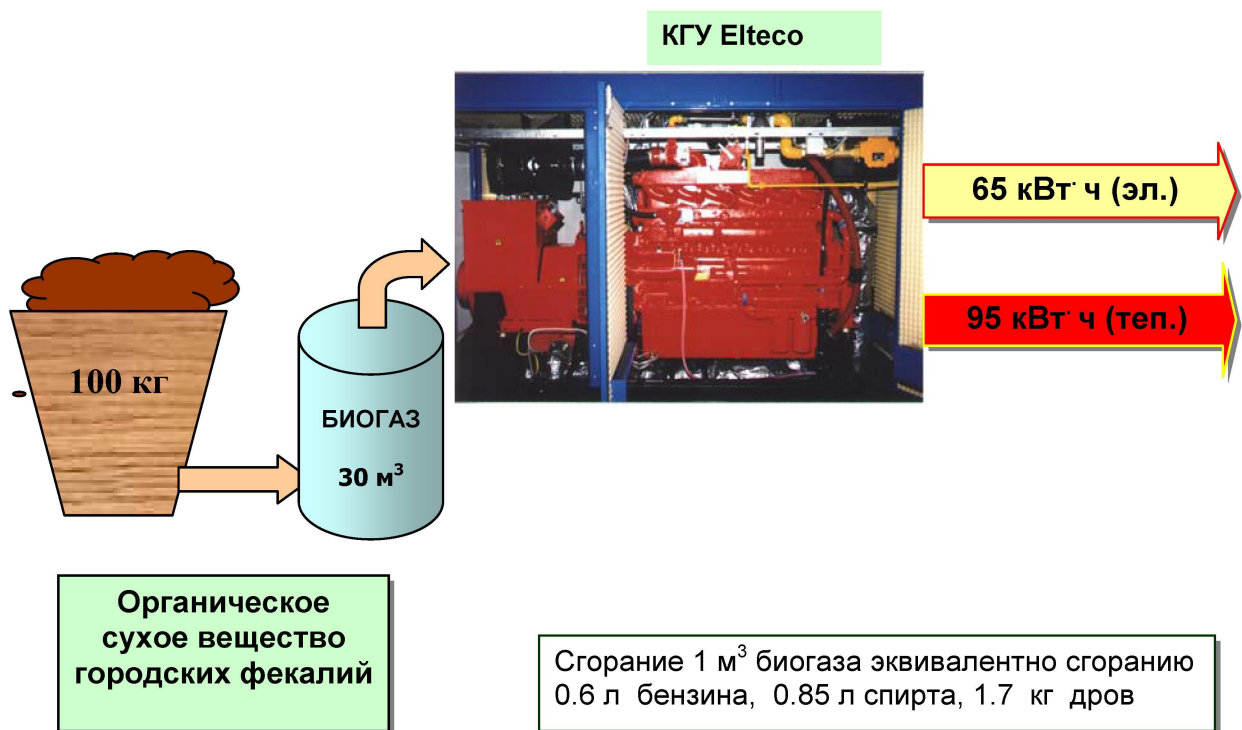


Рис. 33. Энергетический потенциал биомассы

Преимущества когенераторной котельной:

- компактная когенераторная котельная оснащена всеми функциями защиты и измерения (газопровод, система отопления и выход электрической сети);
- поставка электрической энергии будет происходить без проблем, даже при отключении системы отопления;
- поставка электрической энергии, частично и теплоты, будет происходить без проблем, даже при демонтаже котла;
- теплота поставляется и в случае простоя КГУ (например, во время профилактического ухода);
- управление составляет единое целое, т. е. не объединяет в себе несколько совмещенных систем управления, которые при определенных обстоятельствах могут взаимно влиять друг на друга.

Возможности использования:

- в качестве легкоинсталлируемых независимых источников производства электрической энергии и теплоты для малых и средних потребителей;
- в качестве легкоперемещаемых независимых источников производства электрической энергии и теплоты (контейнерное исполнение).

Рассмотрим основные четыре варианта работы когенераторной котельной (рис. 34–37):

1-й вариант: от когенераторной котельной происходит исключительно отбор электрической энергии (избыточное тепло полностью отводится через радиатор с вентилятором);

2-й вариант: от когенераторной котельной происходит исключительно отбор тепла (КГУ отключена, необходимое тепло производится котлом)

3-й вариант: от когенераторной котельной происходит отбор тепла, объем которого меньше объема тепла, производимого КГУ (происходит отбор необходимого тепла, котел отключен, избыточное тепло отводится через радиатор с вентилятором)

4-й вариант: когенераторной котельной происходит отбор тепла, объем которого превышает объем тепла, производимого КГУ (происходит отбор необходимого тепла, произведенного КГУ, необходимый избыток тепла производится котлом)



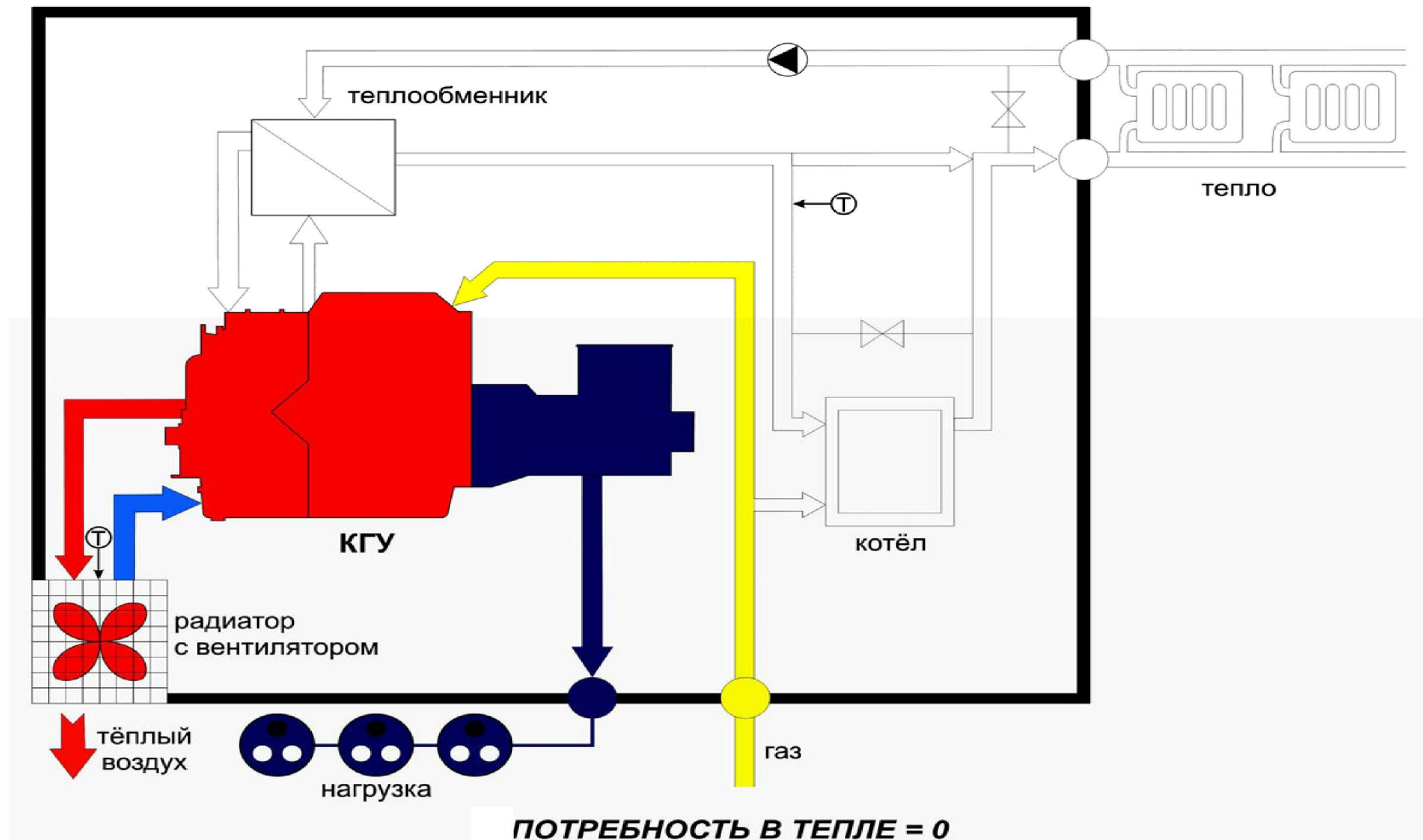


Рис. 34. Первый вариант когенераторной котельной

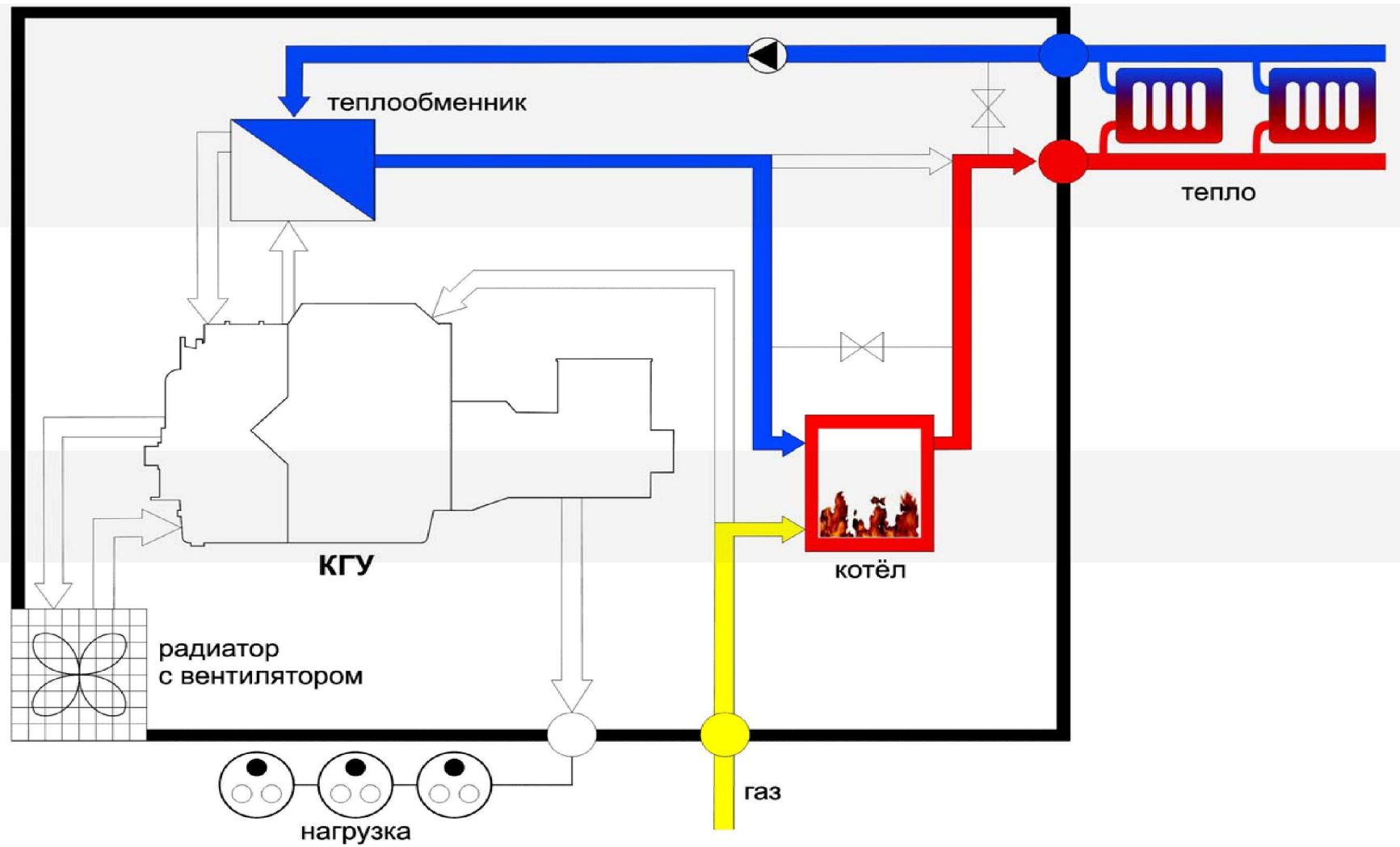


Рис. 35. Второй вариант когенераторной котельной

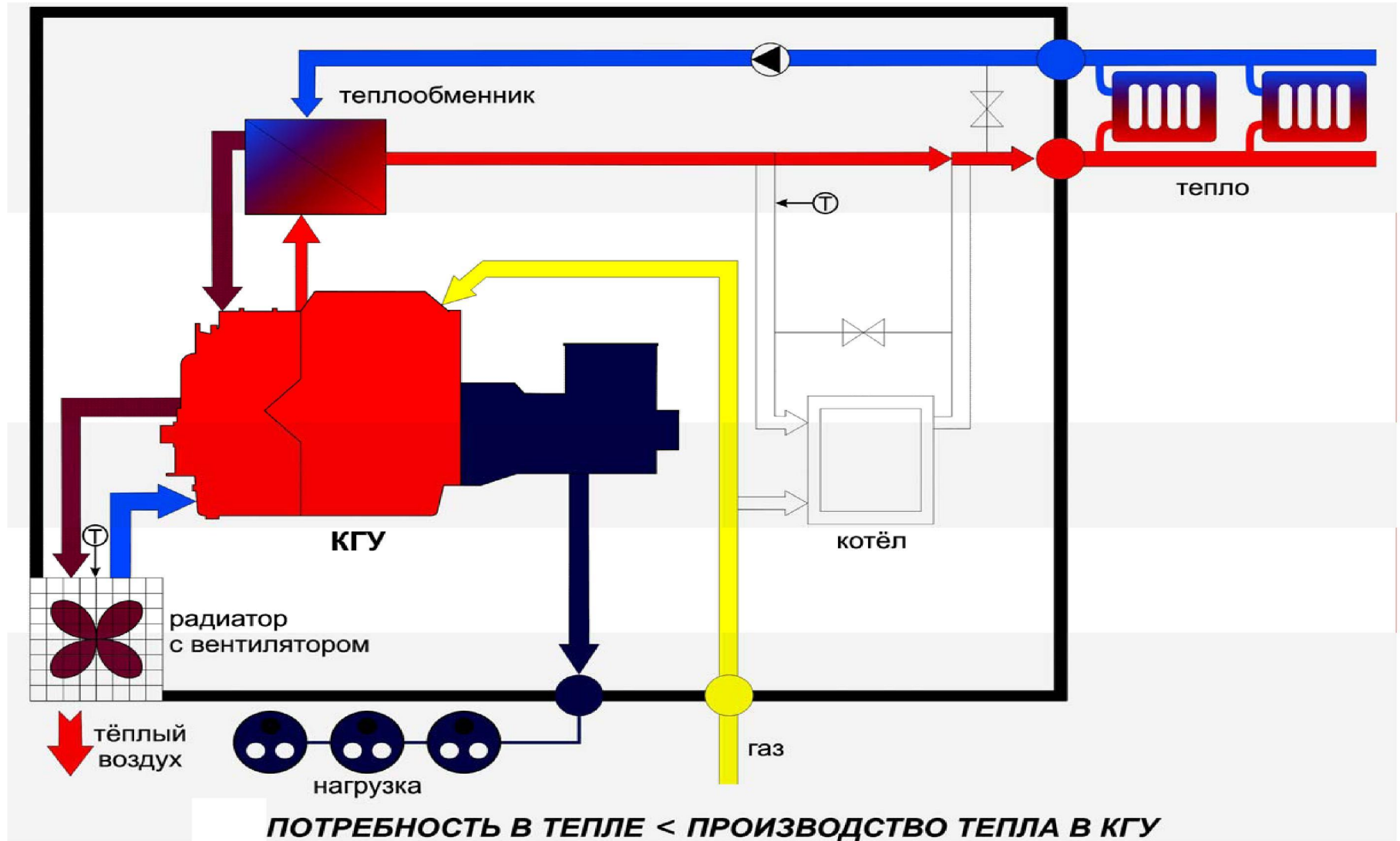
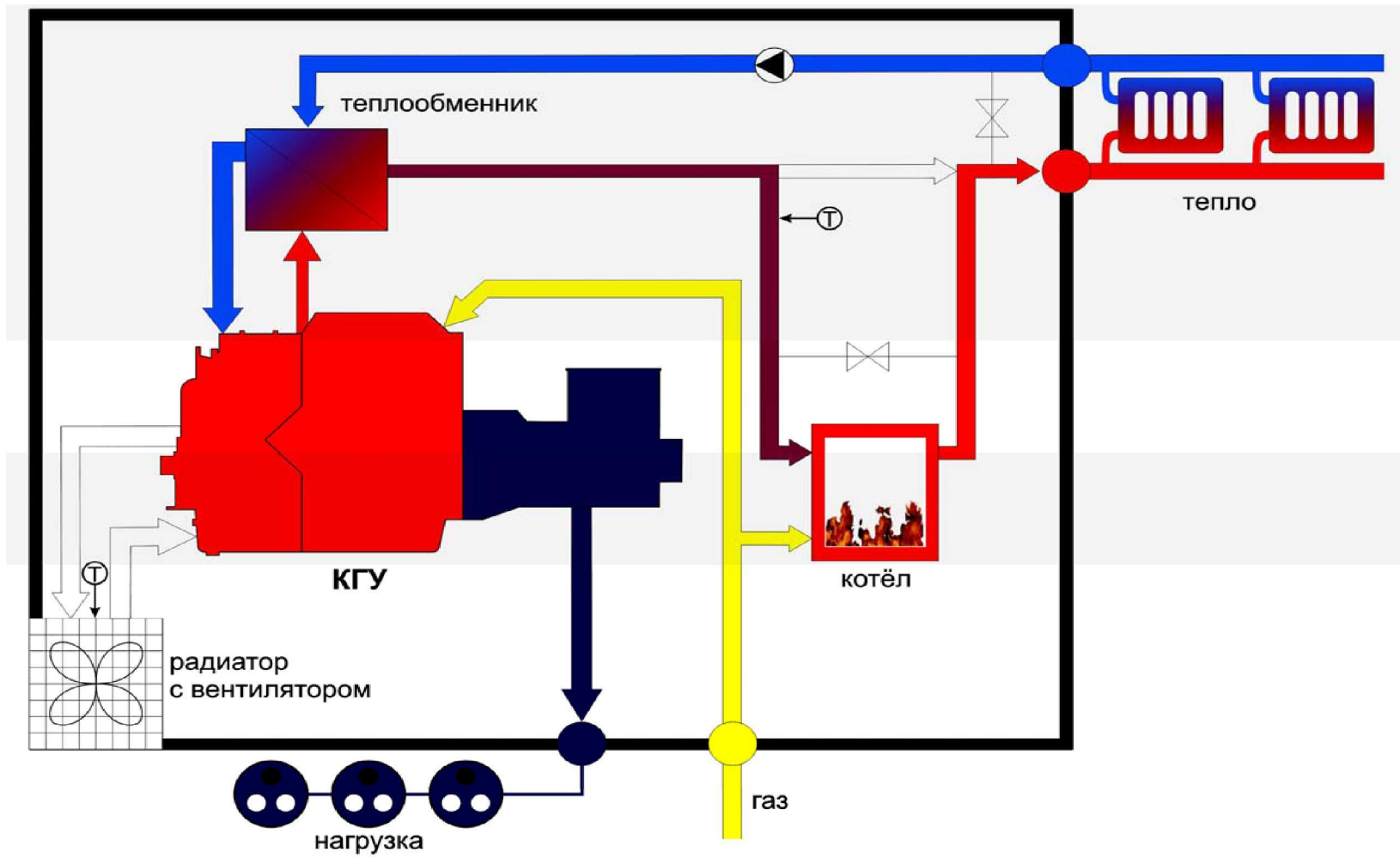


Рис. 36. Третий вариант когенераторной котельной



**ПОТРЕБНОСТЬ В ТЕПЛЕ > ПРОИЗВОДСТВО ТЕПЛА В КГУ**

Рис. 37. Четвертый вариант когенераторной котельной



Рис. 38. Общий вид когенераторной электростанции

Применение когенераторных электростанций в мегаполисах (рис. 38) позволяет эффективно дополнять рынок энергоснабжения без реконструкции сетей. При этом значительно улучшается качество электрической и тепловой энергий. Автономная работа когенераторной установки позволяет обеспечить потребителей электроэнергией с устойчивыми параметрами по частоте и по напряжению, тепловой энергией – со стабильными параметрами по температуре.

Когенерационная установка является эффективной альтернативой тепловым сетям благодаря гибкому изменению параметров теплоносителя, в зависимости от требований потребителя в любое время года. Потребитель, имеющий в эксплуатации когенераторную электростанцию, не подвержен зависимости от экономического состояния дел больших теплоэнергетических компаний.

Доход (или экономия) от реализации электричества и тепловой энергии, за короткое время, покрывает все расходы на когенераторную электростанцию. Окупаемость капитальных вложений в когенераторную установку происходит быстрее окупаемости средств, затраченных на подключение к тепловым сетям, обеспечивая тем самым устойчивый возврат инвестиций.

Когенераторная установка хорошо вписывается в электрическую схему как отдельных потребителей, так и любого количества потребителей через государственные электросети. Компактные, экологически безопасные, когенераторные электростанции покрывают дефицит генерирующих мощностей в крупных городах. Появление подобных установок позволяет разгрузить электрические сети, обеспечить стабильное качество электроэнергии и делает возможным подключение новых потребителей.

Сооружение когенерационных установок (электрической мощностью от 0,5 до 8МВт) не требует существенных затрат. Учитывая различие в себестоимости вырабатываемой электро- и теплоэнергии и тарифами монопольных энергопроизводителей, использование когенераторов экономически очень эффективно. Когенераторы являются экономически привлекательными для промышленного потребителя. Затраты на проектирование, закупку, ввод в эксплуатацию и амортизацию когенераторов окупаются уже на 2–3-ем году эксплуатации, при расчетном сроке службы оборудования 25–30 лет (180–200 тысяч часов). После произошедшего в недавнее время увеличения тарифов на электроэнергию экономическая привлекательность когенераторов стала очевидной.

Когенерационные технологии получили развитие в компаниях: «Caterpillar, Deutz AG», «General Electric (GE)», «GE Jenbacher», «Kawasaki», «MAN B&W», «Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.», «Solar Turbines», «ELTECO», «Turbomach SA», «Wartsila», «Waukesha Engine Division».



## 2.4. ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗА В БЕЛАРУСИ

Создание широкомасштабной биоэнергетической индустрии требует наличия в любой стране следующих ее основных составляющих:

- ✓ апробированных на практике промышленных технологий производства биотоплива и его конверсии в технические виды энергии;
- ✓ масштабной сырьевой базы;
- ✓ производственных мощностей для создания высокорентабельного и надежного оборудования и его востребованности внутренним рынком.

Республика Беларусь располагает достаточной ресурсной базой для получения биогаза. В Беларуси действует:

- свыше 6300 комплексов КРС;
- свыше 100 свиноводческих комплексов;
- 48 птицеводческих комплексов.

Потенциал биогаза от всех источников составляет 160 тыс. т у. т. в год.



*Рис. 39. Биогазовый комплекс племптицевода «Белорусский»*

На 2010 г. на территории Республики Беларусь действуют 3 крупных биогазовых комплекса:

1. РУСП СГЦ «Западный» (электрическая мощность – 500 кВт);
2. ОАО «Гомельская птицефабрика» (электрическая мощность – 330 кВт);
3. Племптице завод «Белорусский» (электрическая мощность – 330 кВт).

Для осуществления проектов были привлечены специалисты из Австрии и Германии, имеющие опыт строительства и эксплуатации биогазовых установок.

Источники биомассы, характерные для нашей республики, можно разделить на пять основных групп:

1-я группа: продукты естественной вегетации (древесина, древесные отходы, древесный мусор и торф);

2-я группа: биомасса растительного происхождения (рапс, солома, жмых, силос, костра и т. п.);

3-я группа: отходы жизнедеятельности человека (твердые бытовые отходы, отходы промышленного производства и осадки очистных сооружений);

4-я группа: отходы сельскохозяйственного производства, включая отходы агропромышленного комплекса (навоз, куриный помет, ботва, меласса, барда послеспиртовая, мезга картофельная, дробина пивная, глицерин технический, отходы мясо- и молоко переработки и т. п.);

5-я группа: специально выращиваемые быстрорастущие агрокультуры, растения и лесные насаждения.

В 1992 г. в Брестской области была введена в эксплуатацию первая в республике биогазовая установка «Кобос», которая спроектирована и изготовлена по типу аналогичных установок в Западной Европе. Ее производительность составляла 500 м<sup>3</sup> биогаза в сутки, при расходе навоза крупного рогатого скота в объеме 50 м<sup>3</sup>/сутки. Примерно половина полученного биогаза расходовалась на собственные нужды. Опыт эксплуатации этой установки в течение двух лет выявил ряд недостатков применительно к условиям Беларуси, особенно в работе при отрицательных температурах окружающего воздуха. Поэтому одной из главных причин «застоя» в строительстве биогазовых установок в республике можно назвать большой отрицательный баланс температуры наружного воздуха в зимнее время. Однако успешная эксплуатация аналогичного оборудования в Швеции и Финляндии, а также результаты, полученные в Эстонии и Латвии, говорят об ошибочности этих взглядов.

Понимая важность вопросов энергосбережения и утилизации отходов, в Республике Беларусь планируется к 2012 г. завершить новые крупные проекты – 8 биогазовых установок и комплексов, работающих на отходах сельскохозяйственного производства, электрической мощностью 1–3 МВт. Кроме того, с помощью иностранных инвесторов (рис. 40) планируется в этот же период построить 6 биокомплексов на очистных сооружениях и 5 биокомплексов на предприятиях «Белгоспищепром» (спиртзаводы).

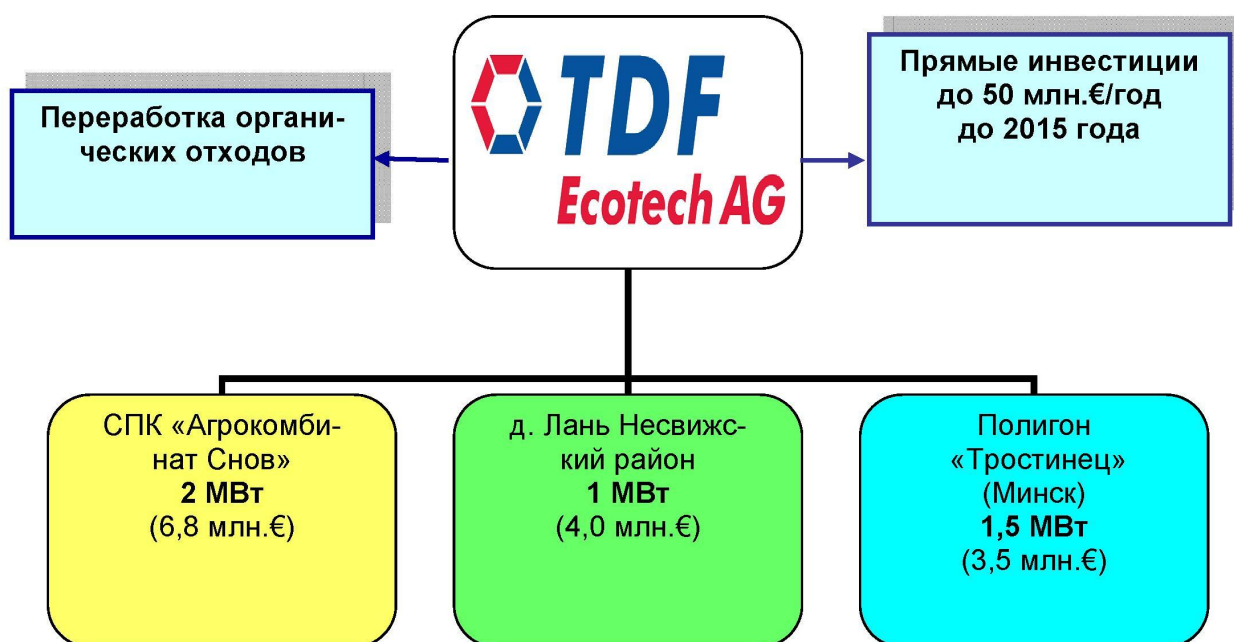


Рис. 40. Перспективные планы швейцарской фирмы «TDF» в Беларуси

Планируемые проекты на комплексах Республики Беларусь:

- ✓ ОАО «Гастелловское» (электрическая мощность – 3 МВт);
- ✓ СПК «Агрокомбинат «Снов» (электрическая мощность – 2 МВт);
- ✓ ОАО «Совхоз-комбинат «Сож» (электрическая мощность – 1 МВт);
- ✓ ЗАО «Липовцы» (электрическая мощность – 1 МВт);
- ✓ СПК «Маяк коммуны» (электрическая мощность – 1 МВт);
- ✓ РУСП «Свинокомплекс «Борисовский» (электрическая мощность – 1 МВт);
- ✓ РУСП «Совхоз «Слуцк» (электрическая мощность – 1 МВт);
- ✓ СПК «Вишневецкий» (электрическая мощность – 1 МВт).

Планируемые проекты на очистных сооружениях Республики Беларусь:

- ✓ КУП «Минскводоканал» (инвестиции около 20 млн долл. и 15 млн долл.);
- ✓ КУП «Бобруйскводоканал» (инвестиции около 5 млн долл.);
- ✓ КУП «Барановичиводоканал» (инвестиции около 5 млн долл.);
- ✓ КУП «Бобруйскводоканал» (инвестиции около 4 млн долл.);
- ✓ КУП «Слонимводоканал» (инвестиции около 3 млн долл.);
- ✓ 5 комплексов «Белгопищепром» (инвестиции около 15 млн долл.).

С учетом климатических и других условий в Беларуси можно рекомендовать к внедрению на фермерских хозяйствах следующие типы простейших биогазовых установок (рис. 42–48), которые может построить своими силами любой фермер.

Простейшая биогазовая установка (рис. 43) предназначена для небольших фермерских хозяйств. Объем реактора установки от 1 до 10 м<sup>3</sup> рассчитан на переработку 50–200 кг навоза в сутки. Установка содержит минимум составных частей для обеспечения процесса переработки навоза и получения



биоудобрений и биогаза: реактор, бункер загрузки свежего сырья, устройство отбора и использования биогаза, устройство выгрузки сброженного сырья.



Рис. 41. Общий вид биогазового комплекса мощностью 1 МВт

Биогазовая установка может быть использована в южных районах без подогрева и перемешивания и предназначена для работы в психрофильном температурном режиме от 5 до 20 °С. Вырабатываемый биогаз сразу направляется на использование в бытовых приборах.

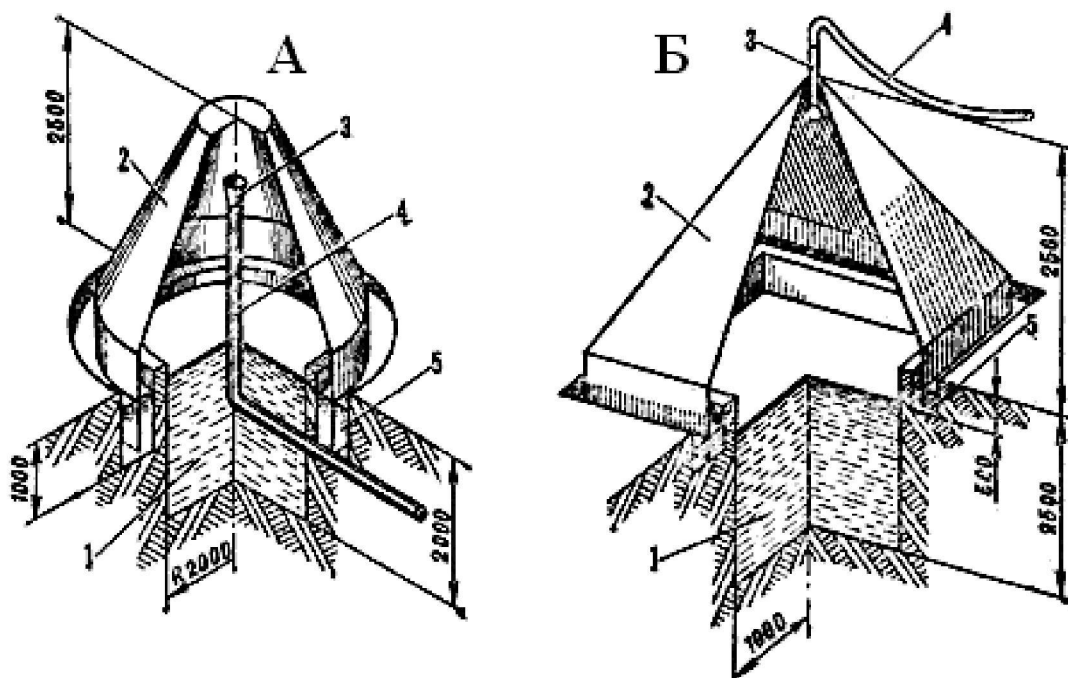


Рис. 42. Схема простейшей установки для получения биогаза:  
 А – с коническим колоколом; Б – с пирамидальным колоколом: 1 – яма ферментатора с сырьем; 2 – колокол; 3 – выпускной патрубок; 4 – трубопровод (шланг) подачи биогаза; 5 – канавка гидрозатвора с водой

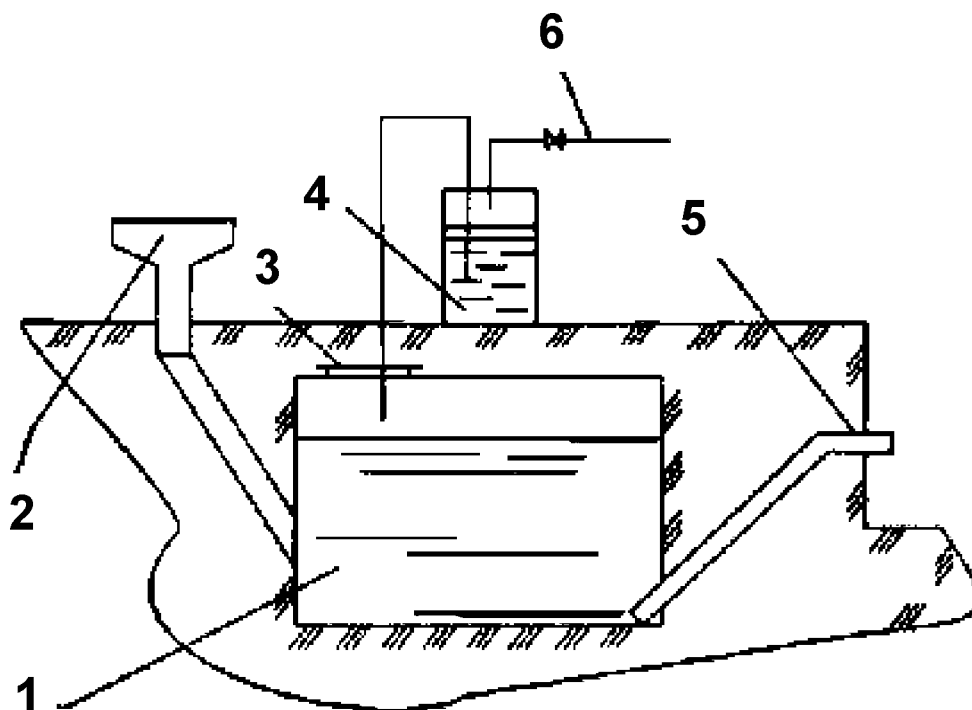


Рис. 43. Схема простейшей биогазовой установки с ручной загрузкой, без перемешивания и без подогрева сырья в реакторе: 1 – реактор; 2 – бункер загрузки; 3 – люк для доступа в реактор; 4 – водяной затвор; 5 – выгрузочная труба; 6 – отвод биогаза

Переработанная масса удаляется из реактора через выгрузочную трубу в момент загрузки очередной порции сырья или за счет давления биогаза в реакторе установки. Выгружаемая сброженная масса попадает в емкость для временного хранения, которая по объему должна быть не менее объема реактора.

Строительство биогазовой установки с ручной загрузкой и перемешиванием сырья (рис. 44) также не требует больших финансовых затрат. Она предназначена для небольших фермерских хозяйств. Объем реактора установки от 1 до 10 м<sup>3</sup> рассчитан на переработку 50–200 кг навоза в сутки. Для повышения эффективности работы биогазовой установки смонтировано устройство ручного перемешивания сырья.

Для более интенсивного и стабильного процесса сбраживания установлена система подогрева реактора. Установка (рис. 43) может работать в мезофильном и термофильном режимах. Реактор биогазовой установки подогревается при помощи водогрейного котла, работающего на производимом биогазе. Остальной биогаз используется напрямую в бытовых приборах. Переработанное сырье хранится в специальной емкости до времени внесения в почву.



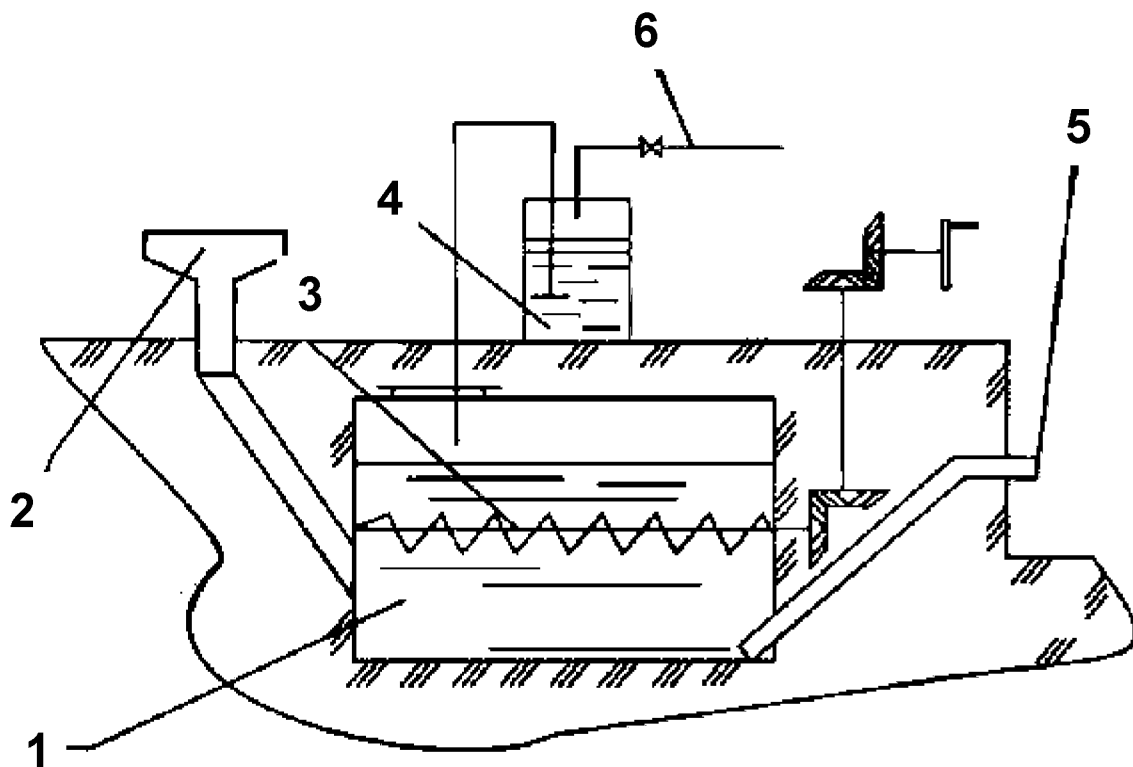


Рис. 44. Биогазовая установка с ручной загрузкой и перемешиванием сырья:  
 1 – реактор; 2 – бункер загрузки; 3 – перемешивающее устройство;  
 4 – водяной затвор; 5 – выгрузочная труба; 6 – отвод биогаза

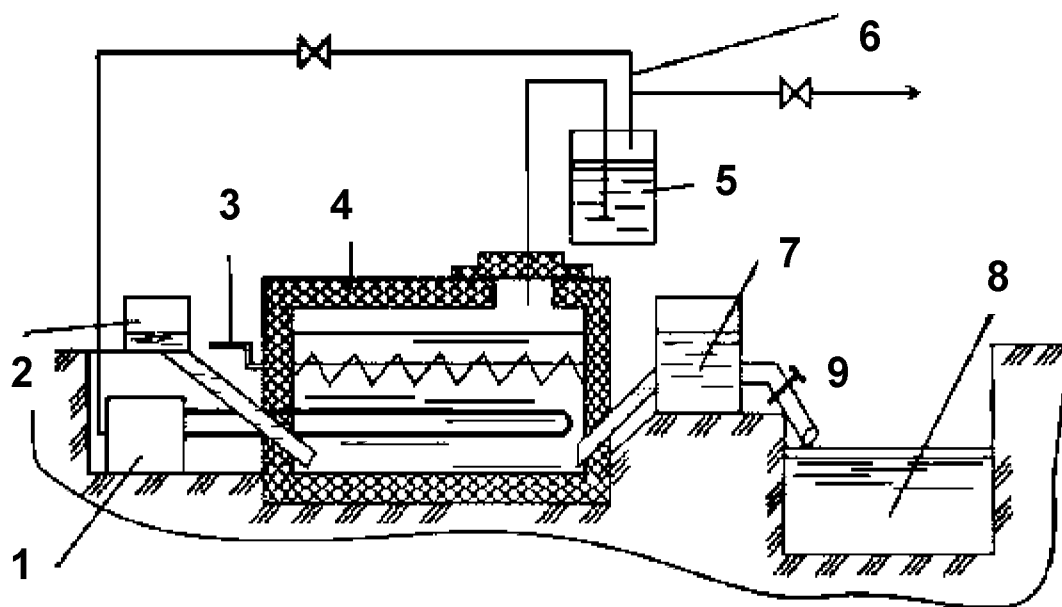


Рис. 45. Биогазовая установка с ручной загрузкой, перемешиванием и подогревом сырья в реакторе: 1 – котел водогрейный; 2 – бункер загрузки;  
 3 – перемешивающее устройство; 4 – реактор; 5 – водяной затвор; 6 – газоотвод;  
 7 – выгрузочный бункер; 8 – хранилище для биоудобрений; 9 – выгрузочная труба

Простая установка с ручной загрузкой сырья в реактор (рис. 46) снабжена автоматическим откачивающим устройством вырабатываемого биогаза и газгольдером для его хранения. Перемешивание сырья в реакторе производится пневматическим способом, с использованием биогаза. Такая биогазовая установка может работать во всех температурных режимах сбраживания.

Установка (рис. 47) предназначена для малых и средних фермерских хозяйств, с возможностью переработки от 0,3 до 1,5 т сырья в сутки. Объемы реакторов – от 5 до 25 м<sup>3</sup>. Загрузка и перемешивание сырья механизированы и производятся с помощью пневматической системы.

Подогрев сырья в реакторе биогазовой установки производится с помощью теплообменника с водонагревательным котлом, работающим на биогазе. Трубопровод выгрузки сырья имеет разветвление для сбора биоудобрений в хранилище и для загрузки в транспортные средства для вывоза на поле.

Устройство этой биогазовой установки предусматривает ручную подготовку и пневматическую загрузку сырья в реактор, часть вырабатываемого биогаза используется для подогрева сырья в реакторе. Перемешивание производится биогазом. Отбор биогаза производится автоматически.

Биогаз хранится в газгольдере. Установка может работать в любом температурном режиме сбраживания сырья.

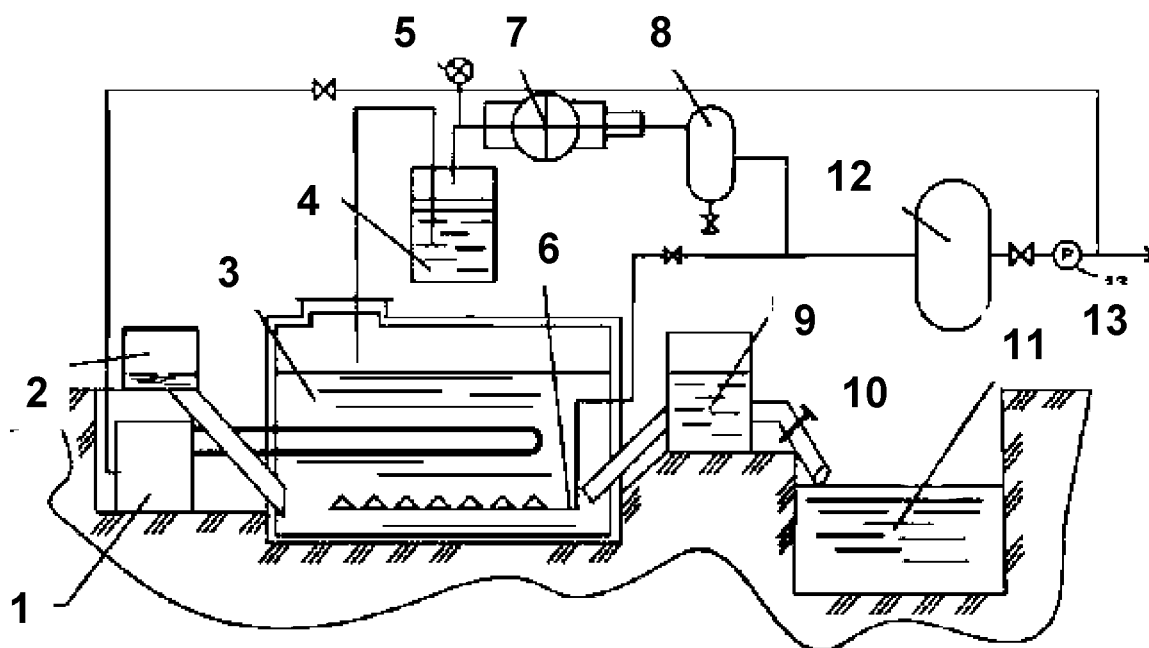


Рис. 46. Биогазовая установка с ручной загрузкой, газгольдером, пневматическим перемешиванием сырья, с подогревом сырья в реакторе:  
 1 – водогрейный котел; 2 – бункер загрузки; 3 – реактор; 4 – водяной затвор; 5 – манометр электроконтактный; 6 – перемешивающее устройство; 7 – компрессор; 8 – ресивер; 9 – бункер выгрузки сырья; 10 – выгрузка сырья; 11 – хранилище для биоудобрений; 12 – газгольдер; 13 – редуктор газовый

Отличительной особенностью биогазовой установки (рис. 40), предназначенной для средних и крупных крестьянских хозяйств, является наличие специальной емкости для подготовки сырья, откуда оно подается при помощи компрессора в бункер загрузки, а затем с помощью сжатого биогаза – в реактор установки. Для работы системы обогрева используется часть вырабатываемого биогаза. Установка снабжена автоматическим отбором биогаза и газгольдером для его хранения. Наличие системы обогрева позволяет эксплуатировать биогазовую установку во всех режимах сбраживания.

В заключение следует отметить, что главное экологическое преимущество технологии производства биогаза состоит в уменьшении выбросов метана, углекислого газа и окиси азота в атмосферу, так как в течение процесса брожения выделяется ровно такое количество углекислого газа, какое прежде было поглощено растениями в процессе фотосинтеза; а метан, оказывающий в 21 раз более сильное влияние на парниковый эффект, чем углекислый газ, захватывается и не выбрасывается в окружающую среду.

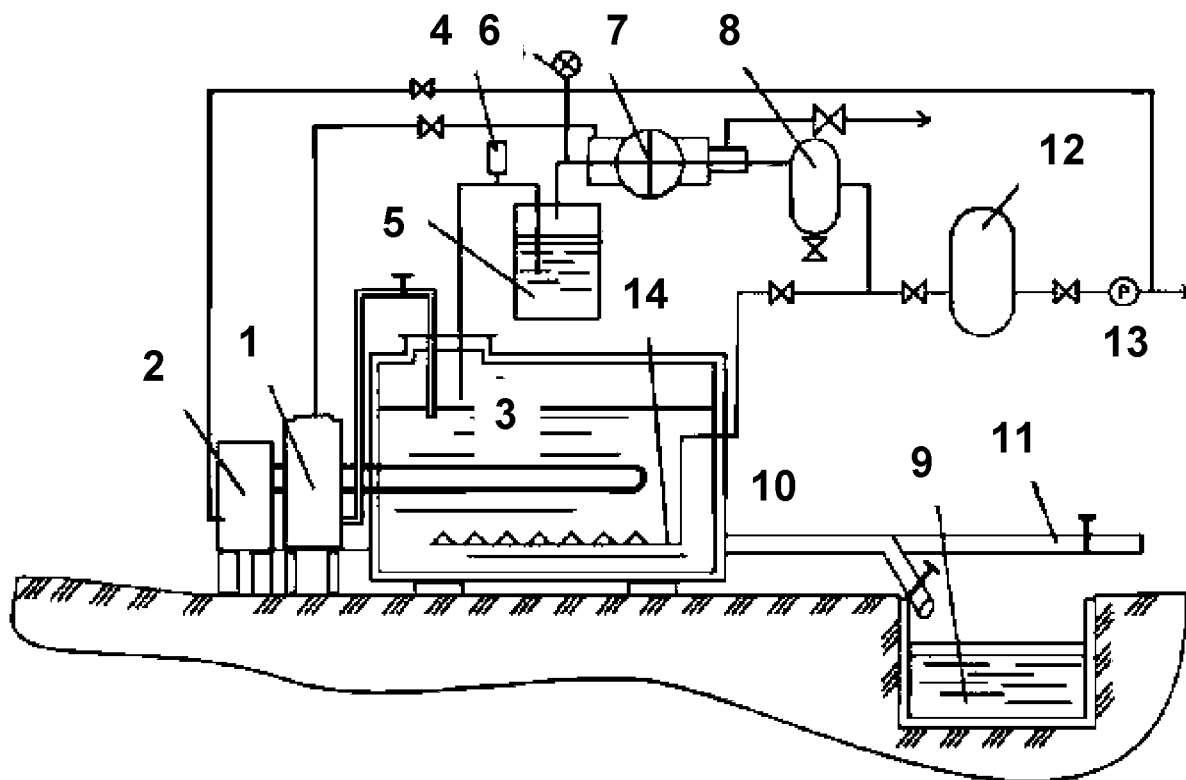


Рис. 47. Биогазовая установка с газгольдером, ручной подготовкой и пневматической загрузкой и перемешиванием сырья, с подогревом сырья в реакторе: 1 – бункер загрузки сырья; 2 – водонагревательный котел; 3 – реактор; 4 – предохранительный клапан; 5 – водяной затвор; 6 – манометр электроконтактный; 7 – компрессор; 8 – ресивер; 9 – хранилище для биоудобрений; 10 – выгрузка сырья; 11 – отвод трубы для загрузки в транспорт; 12 – газгольдер; 13 – редуктор газовый; 14 – перемешивающее устройство

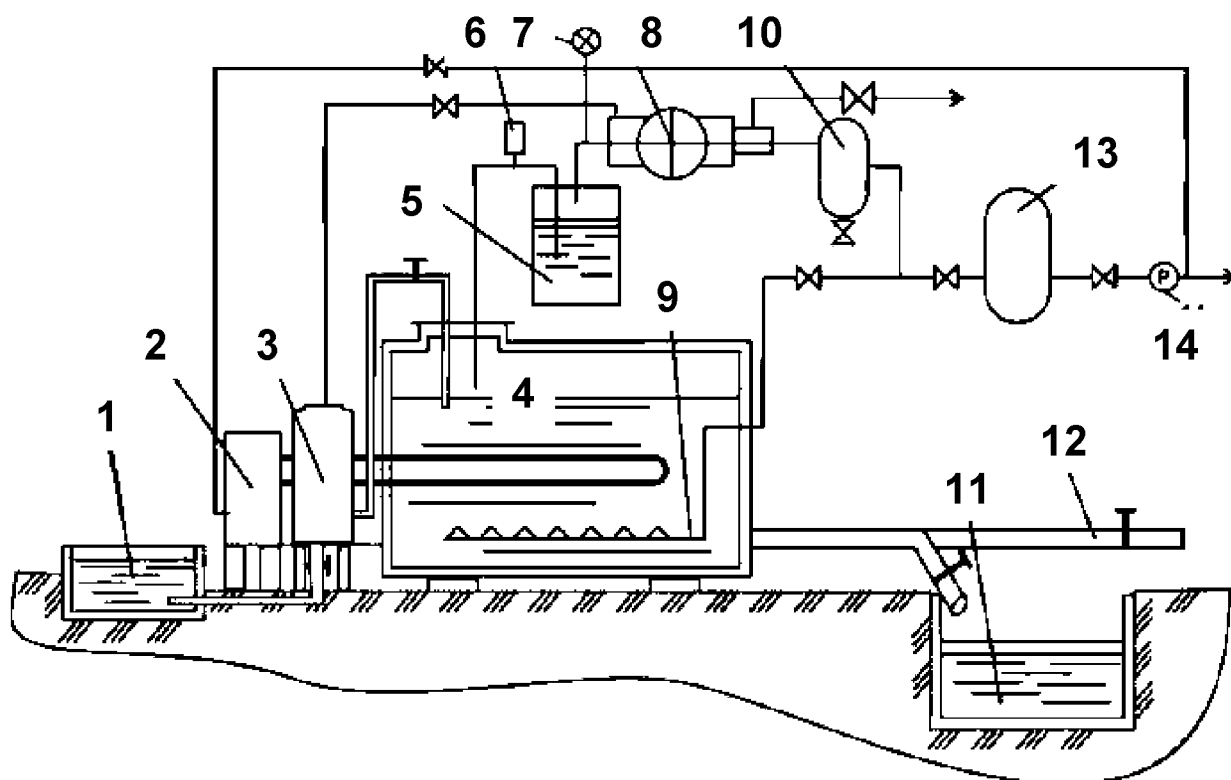


Рис. 48. Биогазовая установка с газгольдером, механической подготовкой, пневматической загрузкой и перемешиванием сырья, с подогревом сырья в реакторе:

- 1 – приемник навоза; 2 – водонагревательный котел; 3 – бункер загрузки;  
 4 – реактор; 5 – водяной затвор; 6 – предохранительный клапан; 7 – манометр электроконтактный; 8 – компрессор; 9 – мешалка газовая; 10 – ресивер;  
 11 – хранилище для биоудобрений; 13 – газгольдер; 14 – редуктор газовый

В условиях Беларуси развитие биоэнергетики экономически целесообразно и технически осуществимо, так как биомасса – вид топлива, который у нас имеется с избытком, и не использовать которое было бы непростительно.

### **Раздел 3. ПОЛУЧЕНИЕ ГАЗА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ОТХОДОВ**

---

Человек утопает в отходах, но мало использует это бесплатное топливо, так как для его преобразования нужны большие затраты.

Для выпуска дешевых и чистых установок по переработке отходов необходимо решить следующие главные проблемы:

1) при очистке вредных выбросов, золы и воды до приемлемых норм стоимость устройств становится недоступной для обычного потребителя. Экологическими службами закрываются самые современные заводы. Непомерно дороги блоки очистки газов в установках кипящего слоя и вихревых установках;

2) теплота сгорания отходов практически полностью расходуется на их сушку, сортировку, измельчение и очистку;

3) комплексы, работающие при высокой температуре, ненадежны в работе.

Значение вторичной переработки отходов заключается в следующем:

во-первых, ресурсы многих материалов на Земле ограничены и не могут быть восполнены в сроки, сопоставимые со временем существования человеческой цивилизации;

во-вторых, попав в окружающую среду, материалы обычно становятся загрязнителями;

в-третьих, отходы и закончившие свой жизненный цикл изделия часто (но не всегда) являются более дешевым источником многих веществ и материалов, чем источники природные.

Сложившаяся в республике ситуация в области образования, использования, обезвреживания, хранения и захоронения отходов ведет к опасному загрязнению окружающей среды, нерациональному использованию природных ресурсов, значительному экономическому ущербу и представляет реальную угрозу здоровью ныне живущих и будущих поколений страны. Ежегодно в республике образуется около 200 тыс. т отходов. Особую тревогу вызывает накопление на свалках и на производственных территориях токсичных, в том числе содержащих канцерогенные вещества отходов, общее количество которых достигло 150 т.

Под полигоны (свалки) твердых бытовых отходов ежегодно отчуждается около 500 га пригодных для использования земель, не считая площади земель, загрязняемых многочисленными несанкционированными свалками. Неиспользуемые отходы — это миллионы тонн выведенных из хозяйственного оборота безвозвратно теряемых материальных ресурсов. Некоторыми из них наша страна практически уже не располагает. Расточительно используются природные ресурсы. Более 90 % их возвращается в окружающую среду в виде



различных отходов, которые могли бы стать дополнительным источником сырьевых и материальных ресурсов, что позволило бы снизить отрицательное воздействие отходов на окружающую среду.

Необходимо констатировать, что начальный этап перехода к рыночной экономике не вызвал роста переработки вторичного сырья и отходов, улучшения положения в сфере охраны окружающей среды. Мировой опыт показывает, что рынок, с его стремлением к минимизации издержек, не способствует решению проблем охраны окружающей среды. Достижения промышленно развитых стран в этой сфере и ресурсосбережения базируются не только на гибкости рыночной экономики, способной на быструю сырьевую переориентацию, они подкреплены дальновидной государственной политикой и финансированием, стимулирующим утилизацию отходов и уменьшение их негативного воздействия на окружающую природную среду. Среди экономических мер стимулирования природоохранной деятельности предприятий экономисты выделяют те, которые способны обеспечить экологичность производства при минимальных затратах капитала.

С положительной стороны зарекомендовала себя за рубежом так называемая «биржа отходов». «Биржи отходов» занимаются сбором, обработкой и распространением информации об образующихся в регионе твердых и жидких отходах (физико-химических свойствах, составе, объеме). Биржи становятся посредниками между производителями отходов и их потенциальными потребителями. Расширяются возможности утилизации без больших дополнительных затрат. Практикуются два вида цен: позитивные и негативные. Позитивные — обычные цены, по которым происходит продажа отходов, пригодных для производственного потребления без предварительной подготовки. Негативные цены — плата накопителей отходов предприятию-утилизатору, когда их переработка требует дополнительных затрат. Напомним, что в США стоимость размещения твердых бытовых отходов на свалках достигает 100 долл. за тонну, а особо опасных — 2500 долл.

Необходимо отметить, что известные показатели двумерного поиска новых направлений технического прогресса — эффект технических решений и экономические затраты в концепции экологического рынка дополнены третьим показателем — приемлемым риском экологической политики, политики обеспечения здоровой и безопасной окружающей среды.

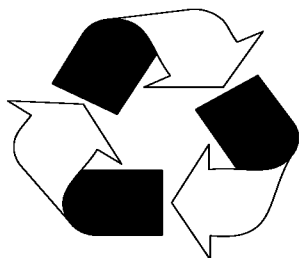


Рис. 49. Международный символ вторичной переработки — лента Мебиуса

Во многом деятельность известных зарубежных компаний осуществляется в соответствии со знаменитой «петлей качества» (рис. 49), введенной в действие международным стандартом ISO (International Organization for Standardization) 9004-87. Генеральная идея «петли» — замкнутый постоянный цикл промышленного производства. Ответив на три традиционных вопроса экономики ЧТО? КАК? и ДЛЯ

КОГО? этот цикл организован, производитель должен найти ответ и на четвертый экологический вопрос — КУДА? это все потом сбрасывается и вы-

брасывается. Правило «3R» (reducing – уменьшение мусора, reusing – повторное использование материалов, recycling – переработка отходов) становится неотъемлемой нормой производства, его экологическим императивом.

Проведение долгосрочной политики в области обращения с отходами особенно актуально для республики в настоящее время, когда формируется рыночная экономика.

### 3.1. ПЕРЕРАБОТКА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Твердые бытовые отходы (ТБО, мусор) — товары, потерявшие потребительские свойства, наибольшая часть отходов потребления. Ежегодно количество мусора возрастает примерно на 3 % по объему.

Годовой объем органических отходов (биомассы) в СНГ составляет 500 млн т. Их переработка потенциально позволяет получить до 150 млн т условного топлива в год: за счет производства биогаза (120 млрд м<sup>3</sup>) – 100–110 млн т, этанола – 30–40 млн т. Окупаемость современных технологий производства биогаза из отходов, по оценкам специалистов, составляет 3–5 лет.

За счет использования биогаза в 2011 г. можно получить годовую экономию органического топлива в размере 18 млн т. Для этого необходимо создать высокоэффективные штаммы анаэробных микроорганизмов, специальные виды энергетической биомассы, технологии, эффективное оборудование.

Развиваются системы очистки территорий от мусора и технологии его сжигания. Однако есть достаточно много причин считать, что технологии сжигания мусора являются тупиковыми.

Уже в настоящее время затраты на сжигание 1 кг мусора составляют 65 центов. Если не перейти на другие технологии ликвидации отходов, то затраты будут расти.

Наиболее распространена вторичная, третичная и т. д. переработка в том или ином масштабе таких материалов, как стекло, бумага, асфальт, железо, ткани и различные виды пластика.

Также с глубокой древности используются в сельском хозяйстве органические сельскохозяйственные и бытовые отходы, под которыми понимаются:

- некондиционные навозы;
- биомасса избыточного активного ила и сырого осадка очистных сооружений (~1 % от объема сточных вод);
- отходы сельского хозяйства;
- пищевые отходы (коммунального хозяйства, пищевой и перерабатывающей промышленности); бытовые и промышленные органосодержащие отходы (ветошь, бумага, картон, текстиль, упаковочные материалы, пластмасса и др.); отходы переработки древесины (опилки, стружка, листва, лигнин); торф, сапропели (илы речные и озерные).

Самый дешевый способ избавиться от отходов – произвести их захоронение. Этот способ восходит к простейшему пути – выбросить что-либо из дому на свалку.

История показала, что простым выбрасыванием непригодных предметов из дому проблему решить не удастся. Свалки бытовых отходов служат источником пищи синантропным видам — переносчикам инфекции, прежде всего, крысам.

В Беларуси ежегодно образуется около 128 млн т твердых бытовых отходов. Из них более 2 млн т – отходы потребления, половину которых составляют использованные упаковки. Это, как правило, изделия из древесины, картона и бумаги, стекла и пластмассы.

Если утилизация либо переработка материалов природного происхождения не представляют сложности, то с пластмассой возникают проблемы, поскольку для ее рециклирования требуются особые технологии и дополнительные капиталовложения. Острота ситуации обусловлена и тем, что применение пластмассы в качестве упаковки стремительно увеличивается. В целом же в Беларуси перерабатывается лишь 16 % отходов. Свалки Беларуси сегодня перегружены, а 50 % объема мусора составляют использованные упаковки. Вред, который наносят экологии ТБО, и что делать с отходами, более подробно можно посмотреть в приложении 4.

Пионером в утилизации отходов в свое время выступила Германия. В конце 80-х г. было установлено, что в ФРГ ежегодно образовывалось около 17 млн т отходов, из которых 12 млн т (70 %) приходилось на упаковку. Уровень утилизации на тот момент составлял порядка 30 % твердых отходов. В 1990 г. для решения накопившихся проблем с отходами была создана компания «Дуальная система Германии», в состав которой входит более 600 акционеров – предприятия по производству и переработке упаковки, а также научно-исследовательские и финансовые организации. За время своей деятельности «Дуальная система Германии»: создала 320 сортировочных пунктов; инвестировала более 29 млрд евро; количество собранных и переработанных упаковок составляет 5,3 млн т ежегодно (рис. 48).



Рис. 48. Линия по сортировке твердых бытовых отходов в Германии

В настоящий момент поставлена четкая цель: ликвидировать в 2011 г. все имеющиеся в стране необорудованные свалки. На улицах немецких городов установлены контейнеры одинаковой емкости, но разного цвета для различных видов упаковки – отдельно для бумаги и картона, металлической упаковки, полимерных и органических отходов. В каждом земельном округе работают две системы сбора: ком-

муны (как у нас ЖЭСы) собирают бытовые отходы самостоятельно, либо прибегают к посредничеству специально уполномоченных фирм. При этом вся деятельность таких предприятий должна быть четко согласована для предоставления гражданам комфортных условий. При этом в стране действует жесткая система тарифов за выбрасывание мусора в не предназначенных для этого местах.

Перед странами ЕС стоит задача выполнения принятой 20.12.1994 г. Европейской Директивы 94/62/ЕС «Об упаковке и упаковочных отходах». Оплату по системе «Зеленой точки» осуществляет не изготовитель упаковки, а ее потребитель. Расчет этой оплаты производят исходя из массы и материала упаковки. На сегодняшний день в Германии разработан показатель средней массы стандартной упаковки, она соответствует картонной упаковке и бутылкам для напитков, а также рассчитана новая средняя масса упаковки для овощей и фруктов. В стоимостном выражении она составляет около 0,30 евро.

Сегодня 95 тыс. предприятий мира подписали лицензионный договор с одной из 22 организаций «Зеленой точки». Более 200 млн потребителей могут отдельно собирать упаковочные отходы. Для того чтобы избежать торговых барьеров при введении Европейской Директивы ЕС об упаковках, в 1995 г. была создана в Брюсселе Упаковочная восстановительная организация Европы «PRO Europe», в функции которой входит передача прав на использование знака «Зеленая точка» за пределами Германии.

Так нужно ли нам в Беларуси изобретать велосипед? Гораздо проще и разумнее детально изучить уже функционирующую в Европе систему и адаптировать ее к нашим национальным особенностям. Перспективный проект по превращению городской свалки в источник альтернативной энергии начал реализовываться в Гомеле. За 40 лет существования городского полигона твердых бытовых отходов, занимающего 12-гектарную площадь в небольшом отдалении от многоэтажек микрорайона «Солнечный», здесь скопилось, по самым скромным подсчетам, около 5 млн т мусора.

### **3.2. ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Установки, использующие отходы пищевой промышленности, представлены на рис. 23. Характеристики основных пищевых отходов, пригодных для переработки представлены в таблице 8.

В таблице 9 приведены технические характеристики биогазовых станций в ЕС, работающих на пищевых отходах.

Себестоимость газа из указанных биогазовых установок составляет приблизительно 15–20 евро/тыс. м<sup>3</sup>.

Затраты на строительство биогазовых станций, работающих на пищевых отходах (табл. 9), состоят из основных классических составляющих и приведены в таблице 10.

Таблица 8

## Характеристики пищевых отходов по выходу биогаза

Виды отходов		Выход биогаза, м <sup>3</sup> /т	Содержание CH <sub>4</sub> , %
Коммунальные	биомусор	150-600	58-65
	кухонные	200-500	45-61
	скошенная трава	550-680	55-62
	рыночные	450	62
Агропромышленный комплекс	жир и остатки жира	250-1300	60-72
	свекольная ботва	200	60-70
	силос кукурузный	200-300	68-75
Производство пива	пивная дробина	150-180	60
Переработка фруктов	яблочный жмых	660-680	65-70
	фруктовый жом	70	56-65
Переработка овощей	картофельная мезга	650-750	52-65
	корнеплодные овощи	100	60-70
Производство алкоголя	зерновая барда	50-70	58-65
Производства сахара	меласса	360-490	70-75
Переработка рыбы	рыбные отходы	300	60-75

Таблица 9

## Основные технические характеристики биогазовых станций

Характеристика	Ед. изм.	Значение					
Производительность по переработке сырья	т/сут	40	60	80	160	240	320
Выход биогаза	тыс.м <sup>3</sup> /сут	8	12	16	32	48	64
Потребляемая электрическая мощность	кВт	50	75	100	150	200	250
Потребляемая тепловая мощность ( $T = -20$ °C)	кВт	150	200	250	500	600	900
Обслуживающий персонал	чел	1	1	1	2	2	3
Занимаемая площадь	га	0,35	0,45	0,55	0,75	0,9	1,2
Выход твердых биоудобрений	т/сут	24	36	48	96	144	192
Выход жидких биоудобрений	м <sup>3</sup> /сут	6	9	12	24	36	48

Большие потенциальные возможности использования биогазовых станций и комплексов существуют в пищевой промышленности, особенно в производстве спирта (отходы – зерновая барда). Основные технические и стоимостные характеристики таких станций приведены в табл. 11 и 12.



Таблица 10

## Прайс-лист биогазовых станций на пищевых отходах

Производительность по сырью, т/сут	Стоимость, евро			
	Проектная документация	Монтаж оборудования, пуско-наладка, обучение	Оборудование	Строительство
40	47 000	30 000	690 000	490 000
60	59 000	30 000	970 000	640 000
80	72 000	30 000	1 150 000	750 000
160	85 000	30 000	2 200 000	1 600 000
240	110 000	30 000	2 700 000	1 950 000
320	130 000	30 000	3 200 000	2 300 000

Необходимо учитывать, что Регламент ЕС 1774/2002 требует, чтобы отходы животного происхождения обрабатывались при повышенной температуре, так как термическая обработка исключает риск распространения болезней и бактерий. Это, прежде всего, касается отходов 3-й категории (отходы рыбных продуктов, молока), которые необходимо обязательно в течение 60 мин подогреть при температуре не менее 70 °С, и куски массы должны быть измельчены до размеров меньше 12 мм, и отходов 2-й категории (отходы предприятий общественного питания), которые необходимо обязательно в течение 20 мин подогреть при температуре не менее 133 °С в емкости с давлением 3 бар, и куски массы должны быть измельчены до размеров меньше 50 мм.

Таблица 11

## Технические параметры биогазовой станции на спиртовой барде

Параметр	Ед. изм.	Значение						
		100	200	400	600	800	1000	1200
Производительность по переработке сырья	т/сут	100	200	400	600	800	1000	1200
Выход биогаза	тыс.м <sup>3</sup> /сут	7	14	28	42	56	70	84
Потребляемая электрическая мощность	кВт	24	35	70	90	100	120	150
Потребляемая тепловая мощность	кВт	46	50	100	150	200	250	300
Обслуживающий персонал	чел	1	1	2	2	2	2	2
Занимаемая площадь	га	0,40	0,80	1,20	1,50	1,80	2,20	4,20

Прайс-лист биогазовых станций на спиртовой барде

Производи- тельность по сырью, т/сутки	Стоимость, евро			
	Проектная доку- ментация	Шеф-монтаж Оборудования, пуско-наладка, обучение	Оборудование	Строительство
100	39 000	30 000	425 000	310 000
200	52 000	30 000	670 000	460 000
400	65 000	30 000	1 250 000	920 000
600	72 000	30 000	1 800 000	1 400 000
800	85 000	30 000	2 500 000	1 900 000
1000	92 000	30 000	3 200 000	2 350 000
1200	100 000	30 000	3 800 000	2 790 000

### 3.3 ГИДРОМЕХАНИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ

Утилизация отходов на современном этапе предъявляет неуклонно растущие требования к технологиям. Гидромеханическая переработка отходов – это наиболее эффективный и экономичный путь в этом направлении (рис. 51).

В 1984 г. немецкая компания «ВТА International GmbH» начала разработку методов гидромеханической переработки коммунальных отходов (рис. 52), которые на современном этапе используются более чем в 30 странах мира. Общая технологическая схема использования такой установки приведена на рис. 53.

С помощью подъемных и рассекающих сил легкие, не поддающиеся брожению примеси, такие как пленка и древесина, а также тяжелые инертные материалы, такие как камни, металлы и стекло, удаляются из смеси отходов практически полностью. Органические составные вещества, поддающиеся брожению, образуют легко разлагающуюся суспензию, требуемую для выработки биоэнергии. Данная технология является ключевой технологией для переработки смешанных отходов городов, в комбинации с выработкой биогаза в результате анаэробного сбраживания. В противоположность хранению отходов на свалках, когда происходит неконтролируемое выделение метана, представляющего угрозу для климата, данная технология дает возможность разумно и экономично использовать биоэнергетический потенциал отходов.



Рис. 51. Линия гидромеханической переработки отходов

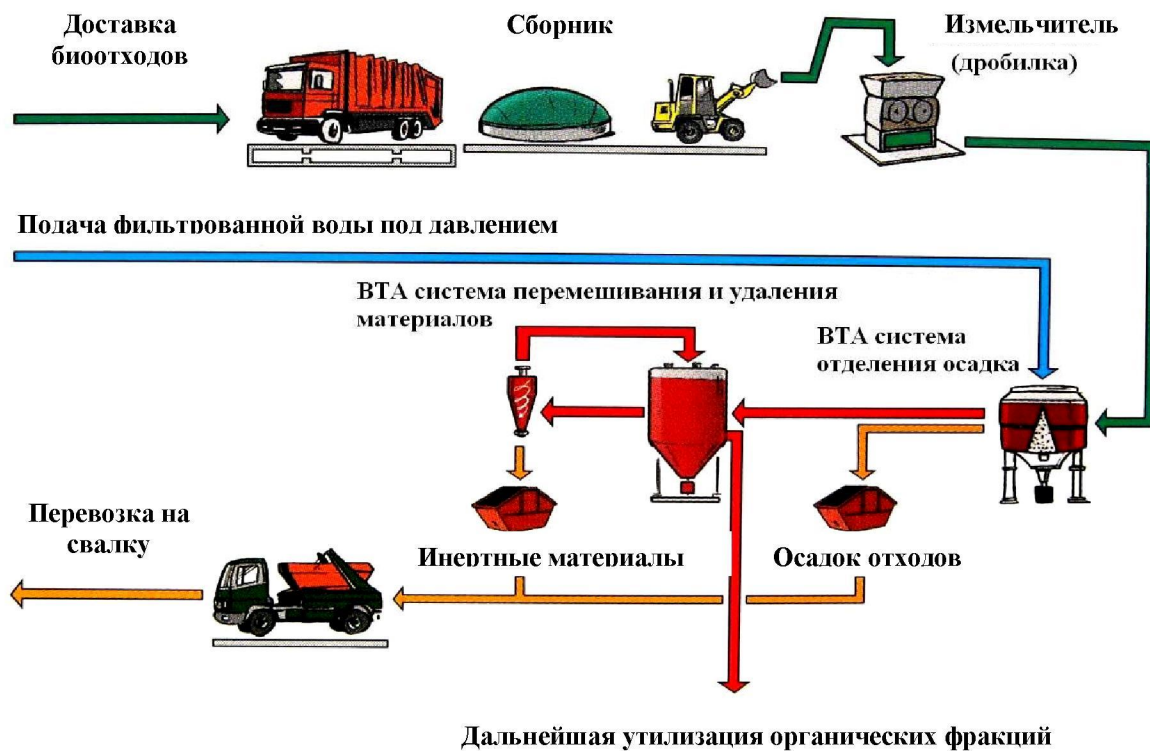


Рис. 52. Гидромеханическая система переработки отходов

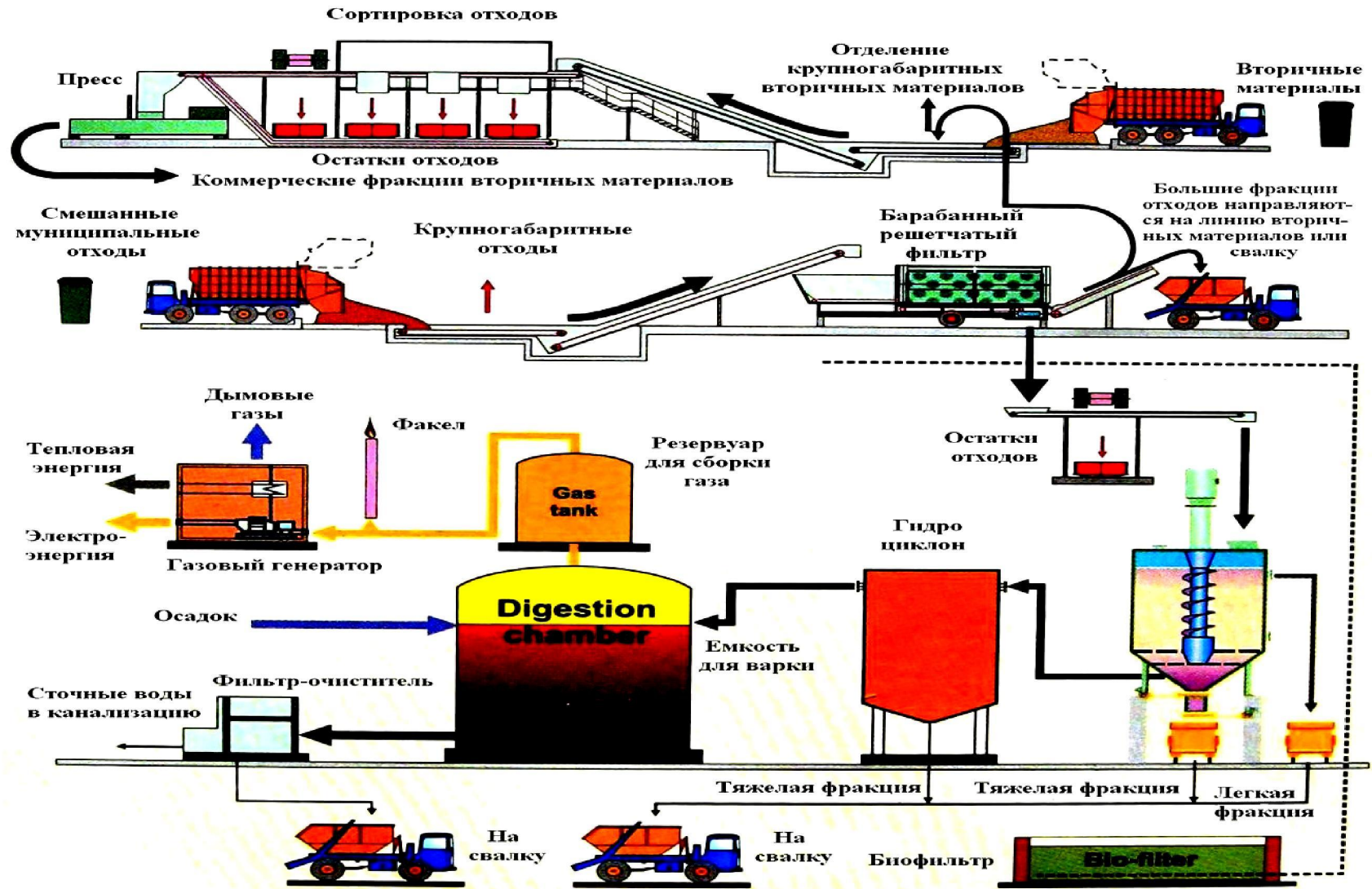


Рис. 53. Утилизация бытовых отходов с использованием биогазовой установки

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

В Беларуси биоэнергетика начинает интенсивно развиваться в условиях необходимости достичь определенного уровня энергетической безопасности и в полном соответствии с положениями Международного соглашения об изменении глобального климата, подписанного Республикой. Развитие этой отрасли предопределено также следующими обстоятельствами:

– политикой импортозамещения, когда часть долга и текущих оплат в твердой валюте за импортируемые энергоресурсы может быть снижена за счет производства и использования местных видов топлива;

– заинтересованностью лесного хозяйства в потенциальном крупном и надежном потребителе большого объема отходов, топливной и неликвидной древесины, которые в настоящее время не находят сбыта, что не позволяет интенсифицировать лесозаготовительную и лесовосстановительную деятельность в условиях сохранения биоразнообразия и здоровья лесов;

– социальной выгодой, когда в рамках создания инфраструктуры новой отрасли будут созданы новые рабочие места (до 10 тыс. мест на млн т у. т. / год) и производства;

– экологическим эффектом, так как будут снижены выбросы диоксида углерода в атмосферу (за счет биологического цикла фотосинтеза), оксидов серы и других загрязняющих веществ – при замещении топливного мазута.

В качестве биотоплива могут быть использованы: биомасса древесины, отходы древесины, образующиеся при ее рубке и обработке; биомасса быстрорастущих кустарниковых и травянистых растений; лигнин, горючая часть коммунальных отходов; отходы, получаемые при мелиоративных работах, расчистке территорий под новое строительство; отходы растениеводства; горючие отходы перерабатывающей и пищевой промышленности, животноводства.

Прямое сжигание древесины широко используется на бытовом уровне. Технологии энергетического использования древесных отходов постоянно совершенствуются. Наиболее распространенным является перевод котельных с жидкого топлива или угля на древесные отходы, что требует реконструкции топочных устройств и создания необходимой инфраструктуры хранения и подготовки топлива.

Газификация древесных отходов обеспечивает получение топливного газа, основу которого составляют CO, H<sub>2</sub> и N<sub>2</sub>, и который может быть использован в качестве газообразного топлива в котельных, газовых турбинах и двигателях внутреннего сгорания.



Пиролиз, наряду с прямым сжиганием и газификацией, является эффективным методом термохимической переработки биомассы, промышленных и бытовых отходов и одновременно одной из наименее развитых технологий энергетического использования биомассы.

Метод анаэробного сбраживания наиболее приемлем для переработки животноводческих отходов с точки зрения гигиены и охраны окружающей среды, так как обеспечивает наибольшее обеззараживание остатка и устранение патогенных микроорганизмов. Жидкая фаза навоза после анаэробной переработки обычно отвечает требованиям, предъявляемым к качеству сточных вод органами охраны природы. Отработанная жидкая органическая масса поступает через выгрузочную камеру в резервуар сброженной массы, а оттуда перекачивается в цистерны, с помощью которых вносят на поля обычную навозную массу.

В связи с необходимостью резкого уменьшения вредного воздействия автотранспорта на окружающую среду необходимо обратить внимание на использование в этой сфере биомассы. В мире наметился ряд направлений по замене экологически опасного бензина на экологически чистое топливо.

Специалисты обращают внимание на метанол, отличающийся простотой транспортировки и меньшим, чем бензин, уровнем загрязнения окружающей среды (если метанол производится на основе природного газа). Однако в продуктах сгорания метанола, синтезированного из угля, содержится в 2 раза больше углекислого газа, чем его выделяется при сжигании бензина. Выход может быть найден на пути синтеза метанола при газификации древесной биомассы.

Альтернативой метанолу считается этанол, производимый при ферментации получаемого из биомассы сахара (исходные продукты: сахарный тростник, как в Бразилии, и кукуруза, как в США). Пока технология производства этанола достаточно дорогостояща, но использование энзимов может снизить стоимость ферментации и сделать его конкурентоспособным с бензином.

Ученые Беларуси констатируют: к настоящему времени на свалках нашей страны скопилось столько отходов, что если их перевести в нефтяной эквивалент, то получится около 600–700 тыс. т нефти в год. Поэтому необходимость в усилении направления по переработке отходов является весьма актуальной. Кроме того, окупаемость современных технологий производства биогаза из отходов, по оценкам специалистов, составляет от 3-х до 5 лет.

Конечной целью развития биоэнергетики является создание собственного топливно-энергетического цикла на возобновляемых видах биотоплива с учетом экологических и экономических преимуществ данного направления.

Технически доступный потенциал биотоплива в Беларуси может покрыть до 8–10 % ожидаемого дефицита мощностей.

## ЛИТЕРАТУРА

---

1. *Алексеевко, С.В., Басин, А.С.* Универсальная технология использования твердых бытовых отходов в качестве нетрадиционного топлива // Энергосбережение. – 2004. – № 4. – с. 42-44, 46, 48, 50. – Библиогр.: 25 назв.
2. Альтернативная энергетика – что это?  
<http://green.bn.by/bibl/litaratura/altenerg.html#3d>
3. Анаэробное сбраживание.  
[http://escoecosys.narod.ru/db/save/frames/9\\_3\\_1.htm](http://escoecosys.narod.ru/db/save/frames/9_3_1.htm)
4. *Бабанин, И.* Как решить проблему бытовых отходов с минимальными затратами // Коммунальщик. – 2008. – № 12. – с. 49-51.
5. *Бабанин, И.* Раздельный сбор ТБО в России – миссия выполнима // Коммунальщик. – 2007. – № 10. – с. 49-52.
6. База знаний в области технологий и систем использования низкотемпературных и возобновляемых источников энергии.  
[http://www.ad.ugatu.ac.ru/knbase/1\\_3.htm](http://www.ad.ugatu.ac.ru/knbase/1_3.htm)
7. *Бельдеева, Л.Н., Лазуткина, Ю.С., Комарова, Л.Ф.* Экологически безопасное обращение с отходами: монография. – Изд. 2-е, перераб. и дополн. – Барнаул: АлтГТУ, 2009. – 155 с. – Библиогр.: 43 назв.
8. Биоэнергетика 2005. – Публикация специального агентства возобновляемых ресурсов (FNR, [www.fnr.de](http://www.fnr.de)), Германия, 2005.
9. Биоэнергетика. [http://esco-ecosys.narod.ru/db/save/frames/9\\_3.htm#0](http://esco-ecosys.narod.ru/db/save/frames/9_3.htm#0)
10. Биогаз на основе возобновляемого сырья: сравнительный анализ шестидесяти одной установки по производству биогаза в Германии. – Публикация специального агентства возобновляемых ресурсов (FNR, [www.vti.bund.de](http://www.vti.bund.de)), институт аграрных технологий и биосистемной техники Бундесаллее 50, Германия, 2010.
11. *Богоявленский, Р.Г., Рыжов, В.А.* Мировые тенденции в области современных технологий утилизации твердых промышленных и бытовых отходов // ЭКОС. – 2000. – Т. 1, № 8-12. – с. 42-51.
12. *Вигдорович, В.И., Шель, Н.В., Зарапина, И.В.* Теоретические основы, техника и технология обезвреживания, переработки и утилизации отходов: учеб. пособие. – М.: КАРТЭК, 2008. – 216 с. – Библиогр.: 25 назв.
13. *Вольчин, И.А., Майстренко, А.Ю., Потанов, А.А.* Твердые бытовые отходы как топливо для получения энергии // Энергетика и электрификация. – 2002. – № 8. – с. 2-7. – Библиогр.: 5 назв.
14. *Голубчиков, С.* Свалки ТБО как источники метана // Энергия: экон., техн., экол. – 2008. – № 7. – с. 50-54. – Библиогр.: 4 назв.
15. Гранулирование древесных отходов.  
<http://www.innov.kirov.ru/intellect/list/object.html?id=7>

16. Демина, Л.А. Современная экологическая концепция управления отходами «Zero Waste» // Энергия: экон., техн., экол. – 2005. – № 5. – с. 34-37.
17. Как в Германии решают проблему утилизации бытовых отходов / Соколов, Л.И., Кибардина, С.М., Фламме, С., Хазенкамп, П. // Экол. и промышленность России. – 2009. – Апр. – с. 32-37.
18. Майсюк, Е.П. Твердые бытовые отходы и их энергетический потенциал // Энергия: экон., техн., экол. – 2008. – № 8. – с. 26-31.
19. Маргушина, С. Тепло и электроэнергия из мусора // Жил. и коммунальное хозяйство. – 2008. – № 3. – с. 34-36.
20. Мюррей, Р. Ноль отходов "Zero Waste" – альтернативная концепция управления отходами // Экология и жизнь. – 2004. – № 6(41). – с. 16-18.
21. Мюррей, Р. Цель – Zero Waste / Пер. с англ. – М.: ОМННО "Совет Гринпис", 2004. – 232 с.
22. Перспектива энергетического использования твердых бытовых отходов / Шаимова, А.М., Насырова, Л.А., Ягафарова, Г.Г., Фасхутдинов, Р.Р. // Альтернативная энергетика и экология. – 2009. – № 5(73). – с. 85-89. – Библиогр.: 8 назв.
23. Терехов, Г.О. Опыт обращения с твердыми бытовыми отходами в Китае // Энергия: экон., техн., экол. – 2010. – № 4. – с. 51-55.
24. Тугов, А.Н., Вихрев, Ю.В. Опыт США в области использования энергетического потенциала твердых бытовых отходов // Энергетик. – 2009. – № 11. – с. 25-29.
25. Федоров, М.П. Искусственные возобновляемые источники энергии // Изв. РАН. Энергетика. – 2009. – № 2. – с. 6-10. – Библиогр.: 8 назв.
26. Четвериков, В.В. Тенденции в разработке новых технологий термической переработки твердых бытовых отходов // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2009. – № 4. – с. 58-62. – Библиогр.: 6 назв.
27. Нетрадиционные источники энергии. [http://www.energy-exhibition.com/Exhibition/Tema\\_pav1/netrad\\_ie.htm](http://www.energy-exhibition.com/Exhibition/Tema_pav1/netrad_ie.htm)
28. Первичная переработка древесных отходов. <http://www.krona-spb.ru/info/cont/othod12.htm>
29. Энергия биомассы. [http://ust-razvitie.narod.ru/Energy\\_6.htm](http://ust-razvitie.narod.ru/Energy_6.htm)
30. Обзор современных технологий получения жидкого топлива из биомассы быстрым пиролизом, <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/50.html>
31. Русан, В.Н., Милаш, Е.А. Отходы животноводства как дополнительный источник топливно-энергетических ресурсов в АПК. <http://sznii.boom.ru/bibl/kon/rusan/rusan.html>
32. Переработка органических отходов в удобрение и биогаз. [http://www.argo.sakha.ru/docs/iks\\_0028.htm](http://www.argo.sakha.ru/docs/iks_0028.htm)
33. Кузнецов Б. Н. Каталитическая химия растительной биомассы. <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/219.html>
34. A.V. Bridgwater. Thermal conversion of biomass and waste: the status. Proc. of Conference "Gasification: the Clean Choice for Carbon Management", 8-10 April 2002, Noordwijk, the Netherlands, pp. 1-25.

35. Гелетуха, Г.Г., Железная, Т.А. Обзор технологий газификации биомассы // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1998. – № 2. – с. 21-29.

36. Review of Finnish biomass gasification technologies. OPET Report 4. VTT, ESPOO 2002, pp. 1-19.

37. Dinkelbach L., Kaltschmitt M. Gasification of Biomass in Europe – State-of the Art and Prospects. Proc. of the 9th European Bioenergy Conf., Copenhagen, Denmark 24-27 June, 1996. Pergamon. Vol.2, pp. 1382-1387.

38. Spliethoff H. Status of biomass gasification for power production // IFRF Combustion Journal, November 2001, pp. 1-25.

39. Simell P., Kurkela E., Haavisto I. et al. Novel small scale gasification process for CHP – green power by lower cost and lower emissions. Proc. of Second World Biomass Conference, 1014 May 2004, Rome, Italy, pp. 1749-1752.

40. Beenackers A.A.C.M., Maniatis K. Gasification Technologies for Heat and Power from Biomass. Proc. of the 9th European Bioenergy Conf., Copenhagen, Denmark 24-27 June, 1996. Pergamon. Vol.1, pp. 228-259.

41. Использование древесной биомассы в энергетических целях: научный обзор/ С.П. Кундас [и др.]. – Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2008. – 85 с.

42. Кундас, С.П., Позняк, С.С., Ермоленков, В.В. Энергоустойчивое развитие местных сообществ: учебно-методическое пособие для специалистов хозяйственных структур и общественности / Минск: «Беларускі камітэт «Дзеці Чарнобыля», 2007. – 105 с.

43. Fuel Quality Assurance, prCEN/TS 15234 – Solid biofuels, Working document N117. In Working document N117. January 2005.





## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

---

## Приложение 1

### Развитие возобновляемой энергетики в Германии (биогаз)

Таблица П 1.1

Использование наиболее часто применяемых видов возобновляемого сырья в субстратных смесях биогазовых установок

Параметр	Кукурузный силос	Зерновые злаки	Травяной силос	Злаковый силос	Силос из зеленой ржи
Средняя массовая доля в субстрате, %	50,0	3,1	10,5	10,7	9,8
Минимальное значение, %	7,0	0,25	0,53	0,29	0,36
Максимальное значение, %	98,3	23,5	51,5	29,3	53,5

Таблица П 1.2

Сводные данные показателей качества получаемого биогаза в типовых установках

Химический состав биогаза	Единицы измерения	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение
Содержание CH <sub>4</sub>	%	52,4	48,6	58,8
Содержание CO <sub>2</sub>	%	44,8	41,1	48,5
Содержание H <sub>2</sub> S	ppm	143	0	653
Содержание O <sub>2</sub>	%	0,55	0,04	1,73

Таблица П 1.3

Полный состав получаемого биогаза в современных установках

Компонент	Формула	Содержание, %
Метан	CH <sub>4</sub>	50...75
Двуокись углерода	CO <sub>2</sub>	25...45
Водяной пар	H <sub>2</sub> O	2...7
Кислород	O <sub>2</sub>	менее 2
Азот	N <sub>2</sub>	менее 2
Аммиак	NH <sub>3</sub>	менее 1
Водород	H <sub>2</sub>	менее 1
Сероводород	H <sub>2</sub> S	менее 1

Необходимый объем ферментера, [м<sup>3</sup>]  
 $V = \text{дневная подача субстратов [м}^3/\tau] \cdot \text{среднее время пребывания } [\tau]$

Время пребывания субстрата  
 объем заполнения ферментера [м<sup>3</sup>]  
 $\tau = \frac{\text{объем заполнения ферментера [м}^3]}{\text{подача субстратов [м}^3/\tau]}$

Гидравлическая нагрузка, [(кг оСВ)/(м<sup>3</sup>·τ)]  
 дневная подача субстратов [кг оСВ /τ]  
 $R = \frac{\text{дневная подача субстратов [кг оСВ /}\tau]}{\text{Объем заполнения ферментера [м}^3]}$

Сухая масса, [кг СМ]  
 СМ = свежая масса [кг] – доля воды [кг]

Органическая сухая масса, [кг оСМ]  
 оСМ = СМ [кг] – чистая зола [кг]

Выход биогаза, [м<sup>3</sup>]  
 $M = \text{Свежая масса субстрата } [\tau] \cdot \text{СМ}[\%] \cdot \text{оСМ}[\%] \cdot \text{выход } [\text{м}^3/\tau \text{ оСМ}]$

Рис. П1.1. Важные технологические величины при производстве биогаза

Таблица П 1.4

Утилизация газа на биогазовых установках непрерывного действия

Утилизация газа	Единицы измерения	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение
Использование мощности по выработке электроэнергии	%	85	52	98
Использование мощности по выработке тепловой энергии	%	23	2	67
КПД	%	36,5	30,5	42,4
Удельная выработка электроэнергии на тонну субстрата	кВт·ч/т	325	95	519
Потребность в электроэнергии на собственные нужды	%	7,9	5,0	20,6
Потребность в тепловой энергии на собственные нужды	%	11,5	5,5	21,5
Коэффициент выработки электроэнергии	кВт·ч/нм <sup>3</sup> газа	1,9	1,6	2,2

Теплотворная способность:  
 $5 \dots 7,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$  (в зависимости от содержания метана)  
 В среднем:  $6 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$  или  $21,6 \text{ МДж}/\text{м}^3$

Соотношение к мазуту:  
 $1 \text{ м}^3$  биогаза соответствует  $\sim 0,6$  л дизельного топлива

Рис. III.2. Энергетический потенциал биогаза

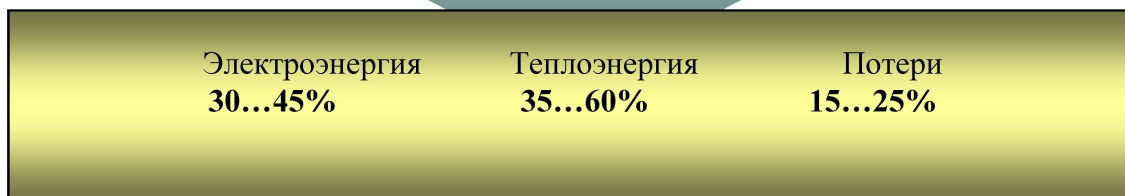
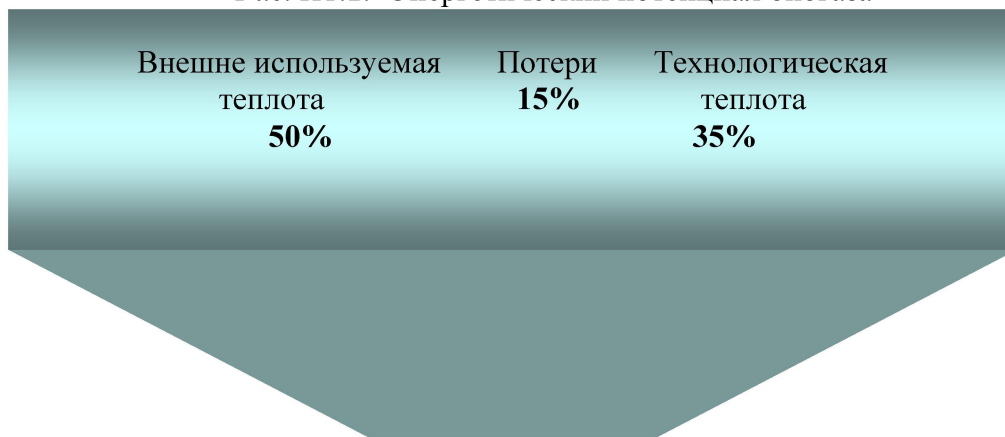
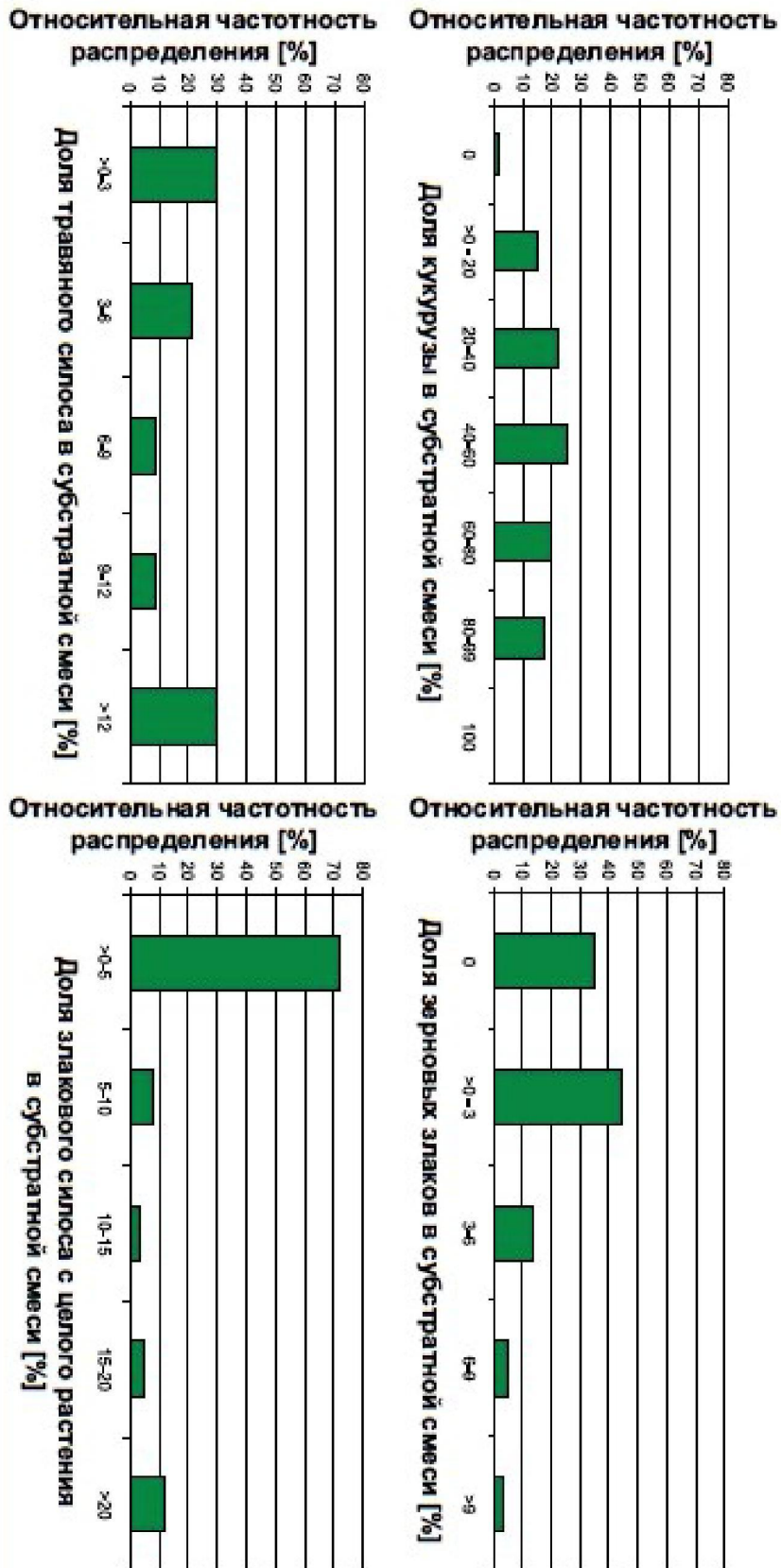


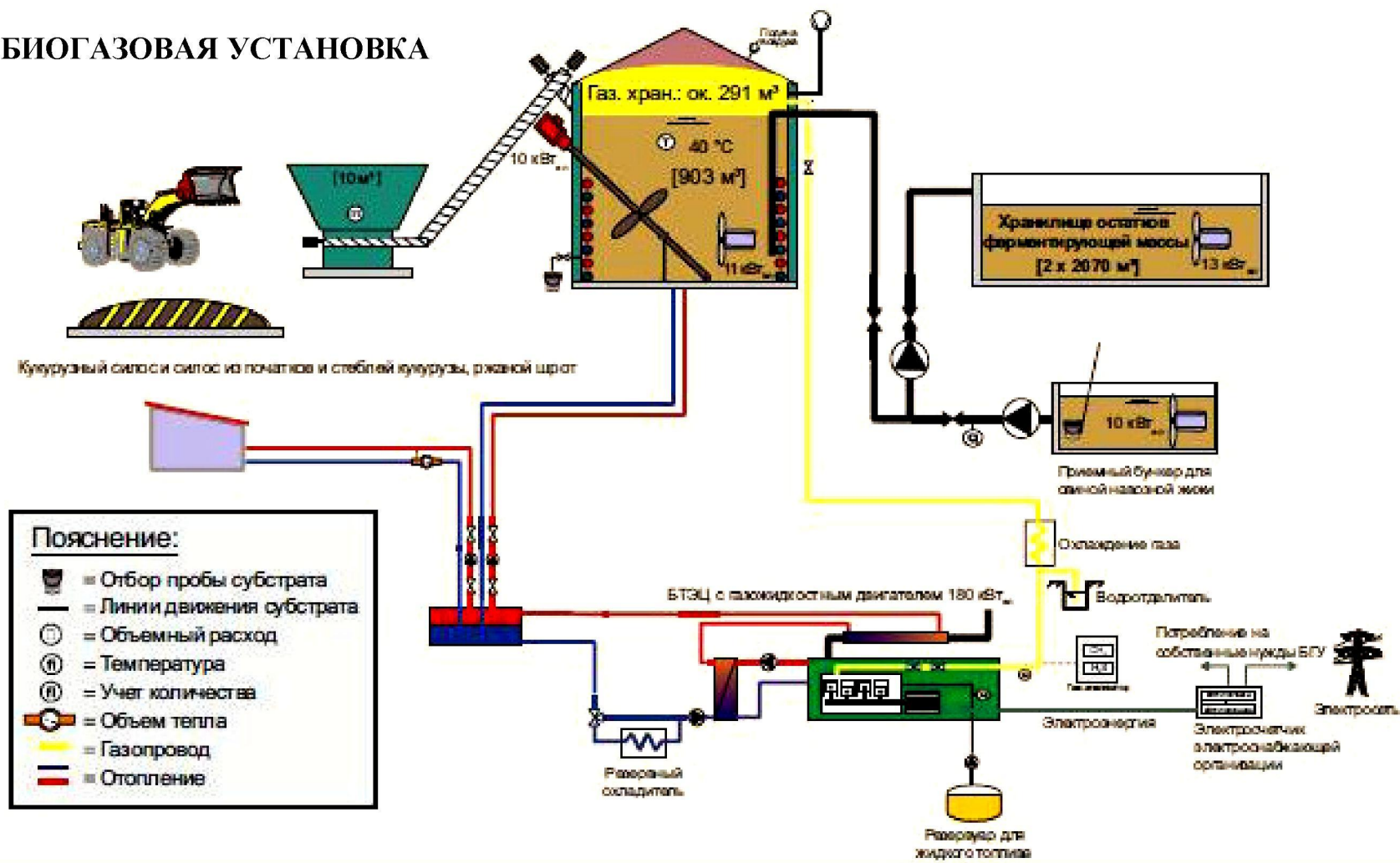
Рис. III.3. Баланс расхода энергии в биогазовой установке



*Рис. П1.4.* Относительное статистическое распределение величин доли продукции растениеводства в субстратных смесях биогазовых установок



# БИОГАЗОВАЯ УСТАНОВКА



92

Рис. III.5. Технологическая схема работы биогазовой установки мощностью 180 кВт

# БИОГАЗОВАЯ УСТАНОВКА

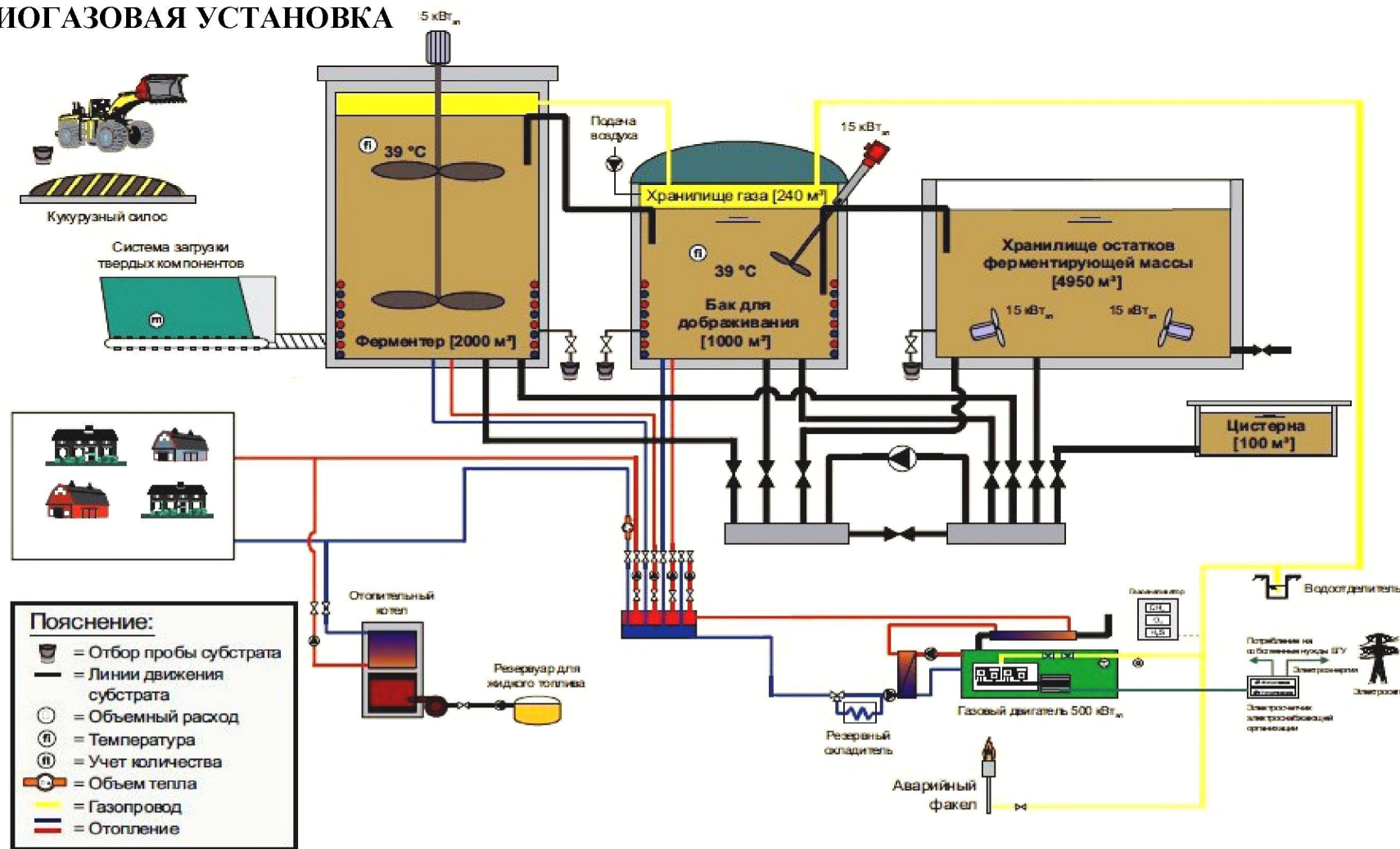


Рис. III.6. Технологическая схема работы биогазовой установки мощностью 500 кВт

# БИОГАЗОВАЯ УСТАНОВКА

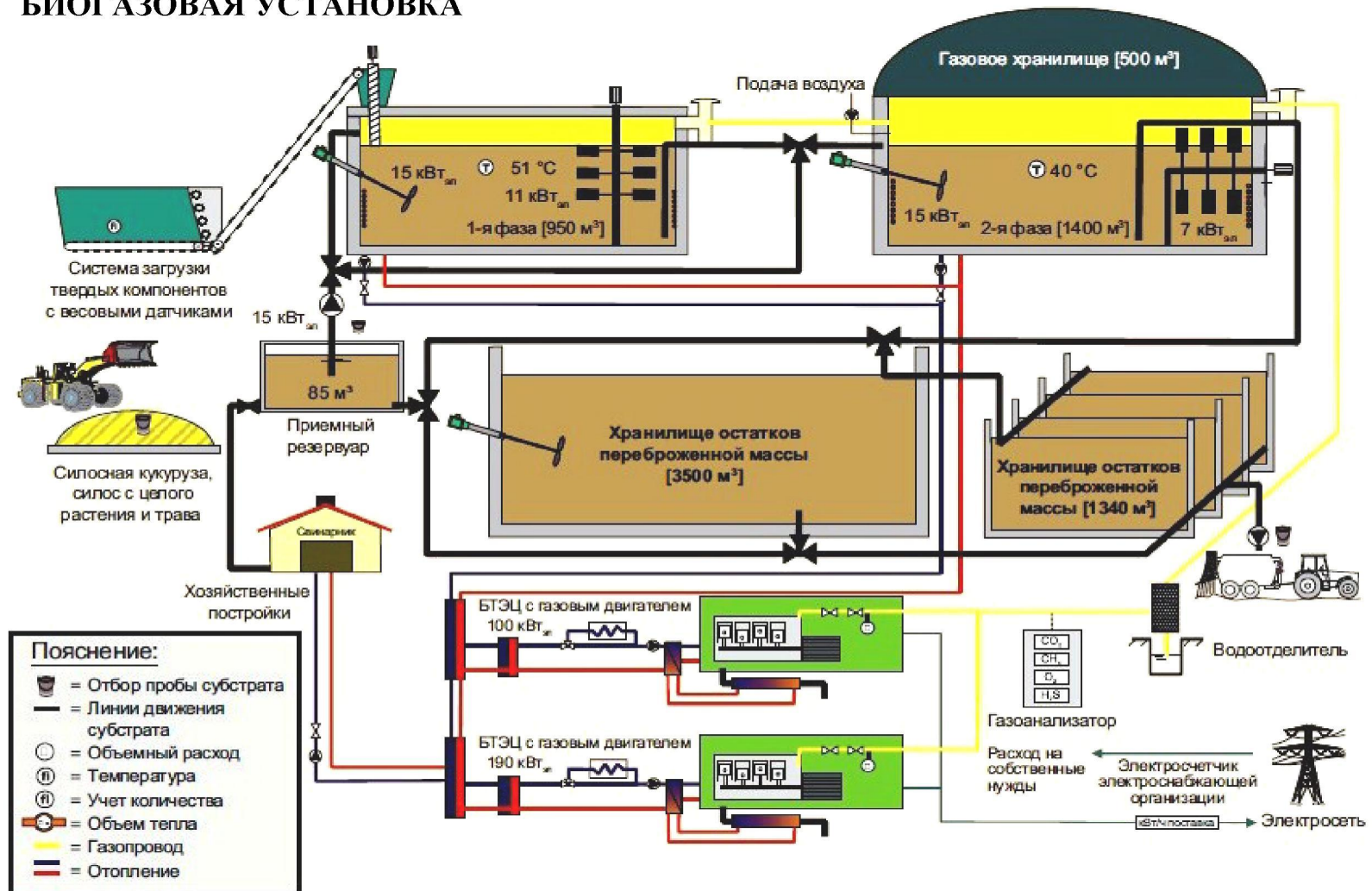


Рис. III.7. Технологическая схема работы биогазовой установки мощностью 290 кВА



# БИОГАЗОВАЯ УСТАНОВКА

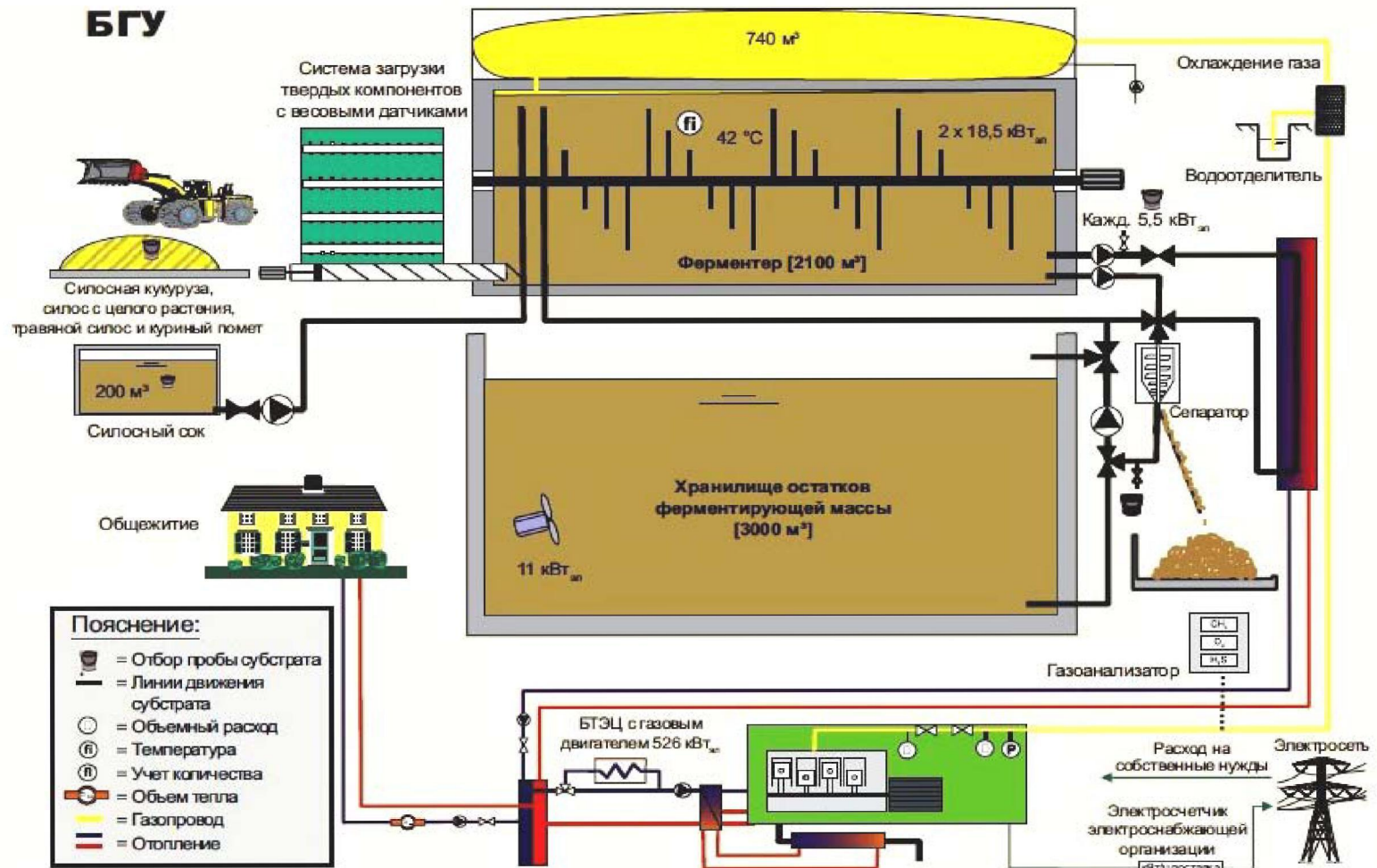


Рис. П1.8. Технологическая схема работы биогазовой установки мощностью 526 кВт

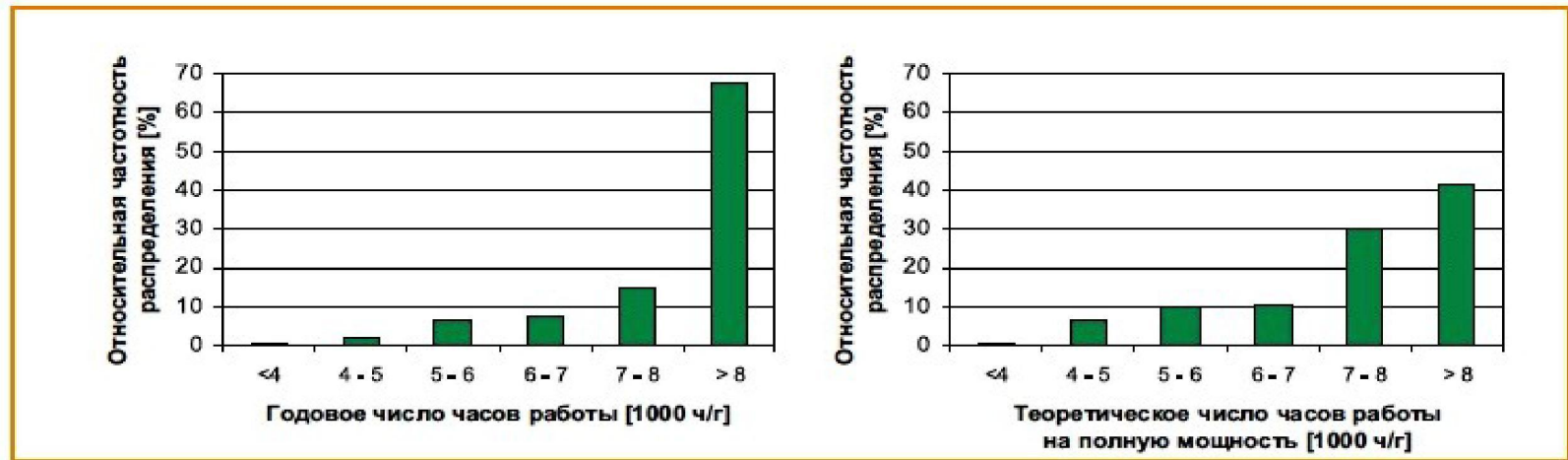


Рис. III.9. Относительное статистическое распределение годового числа часов работы установки

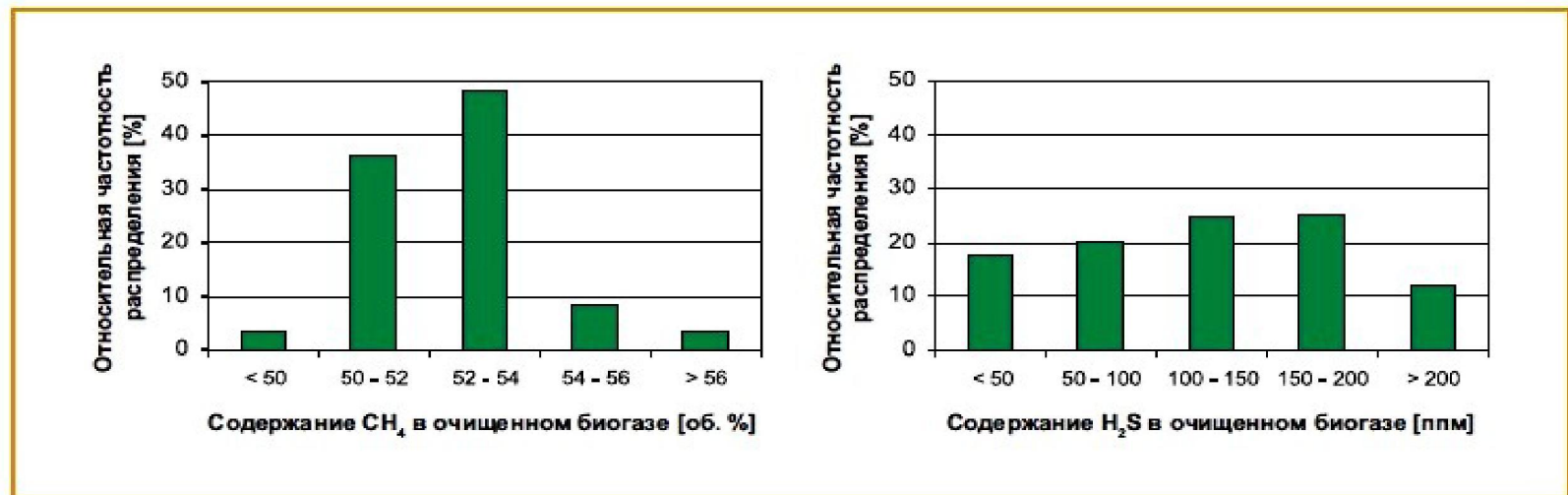


Рис. III.10. Относительное статистическое распределение величины содержания CH<sub>4</sub> и H<sub>2</sub>S





Рис. III.11. Относительное статистическое распределение размеров реактора и установленной мощности

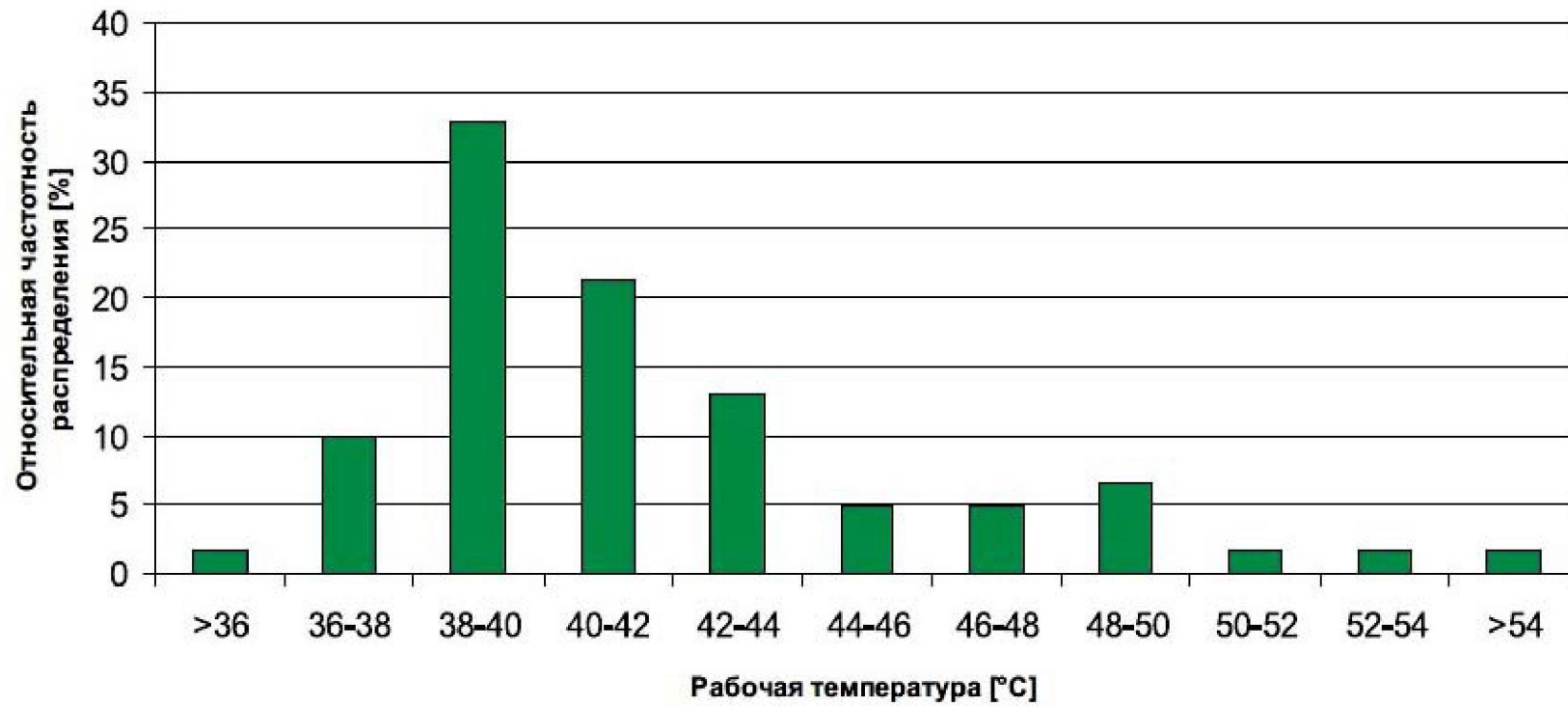


Рис. П1.12. Относительное статистическое распределение величин рабочей температуры биогазовых установок

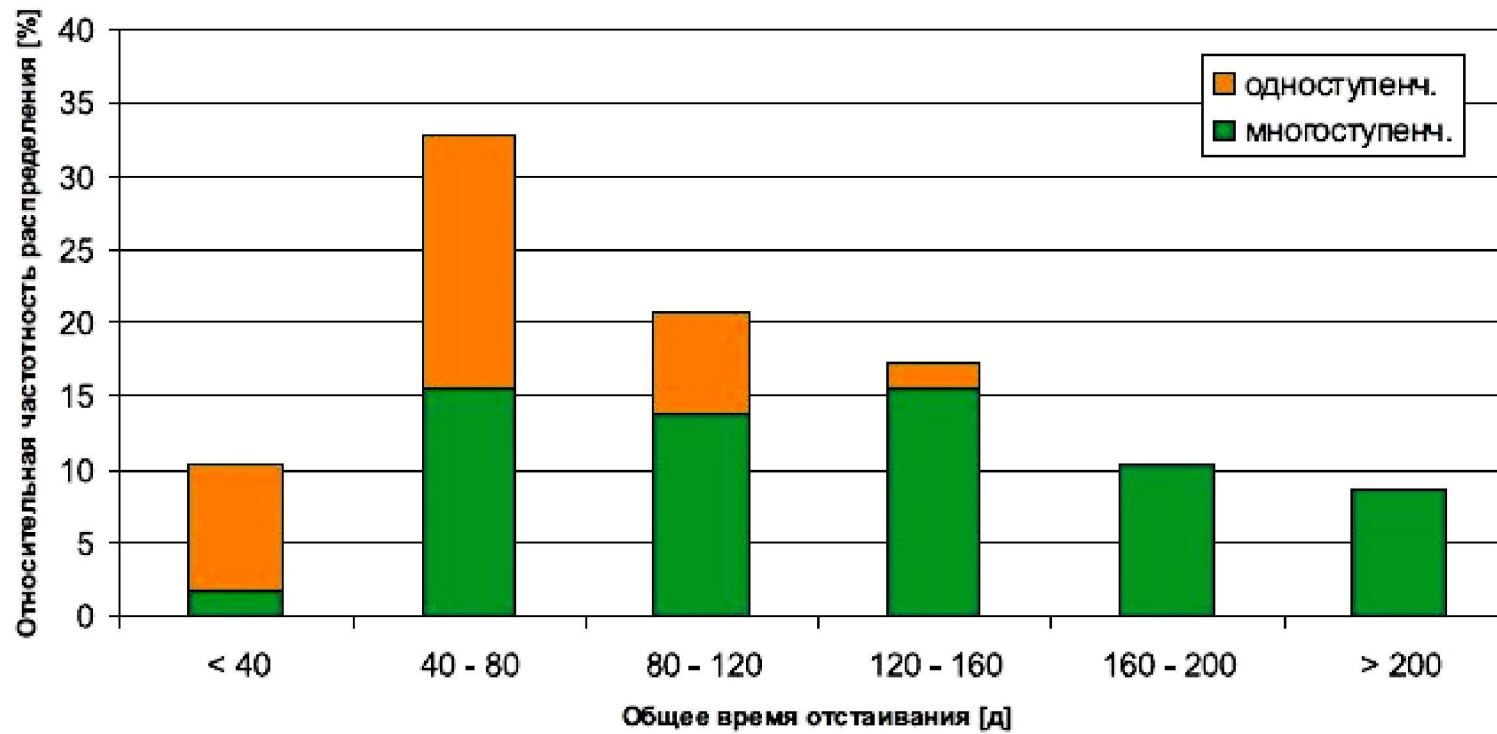


Рис. III.13. Относительное статистическое распределение величин общего времени отставания субстрата



Рис. П1.14. Относительная частотность использования возобновляемого сырья и органических удобрений

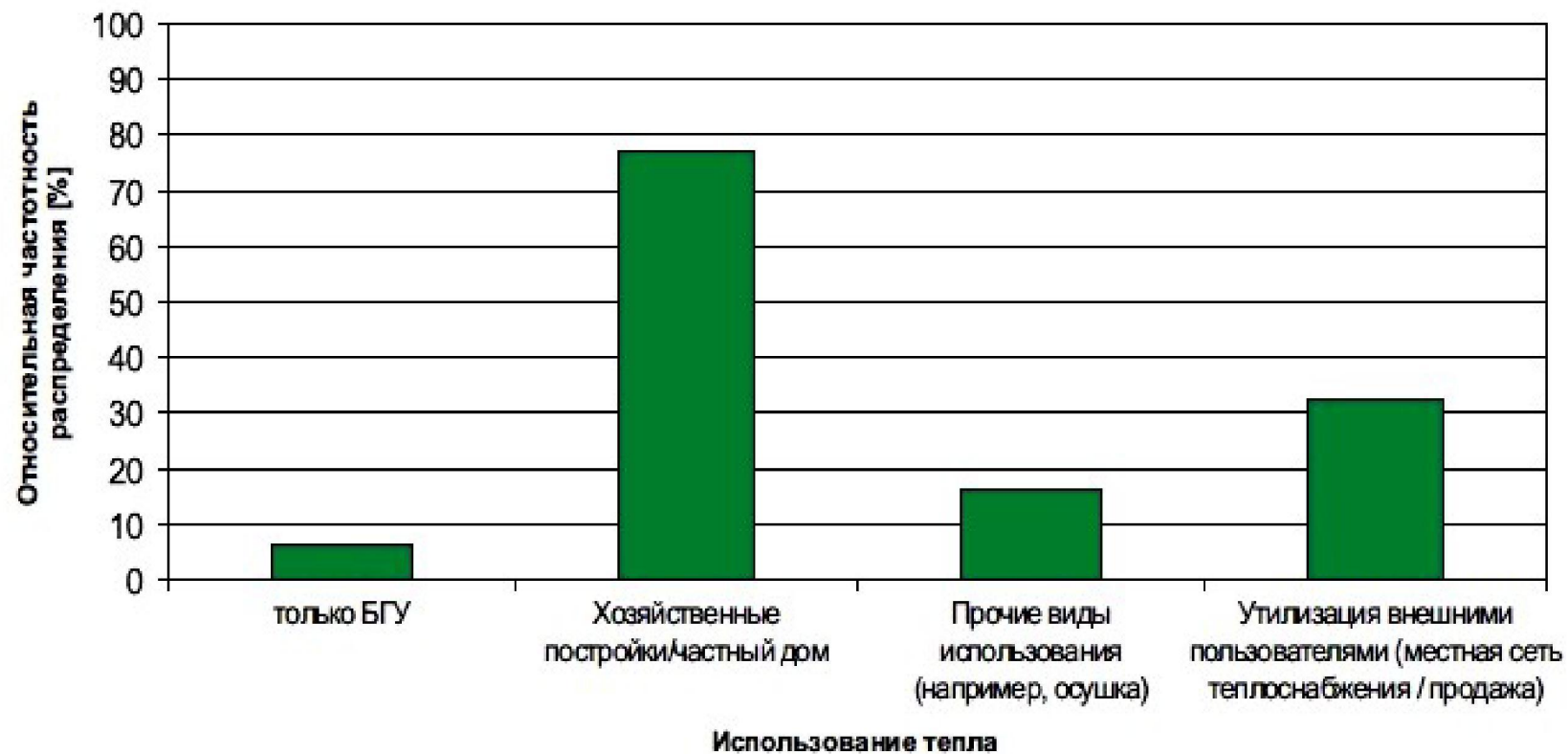


Рис. III.15. Относительное статистическое распределение по использованию тепловой энергии установки



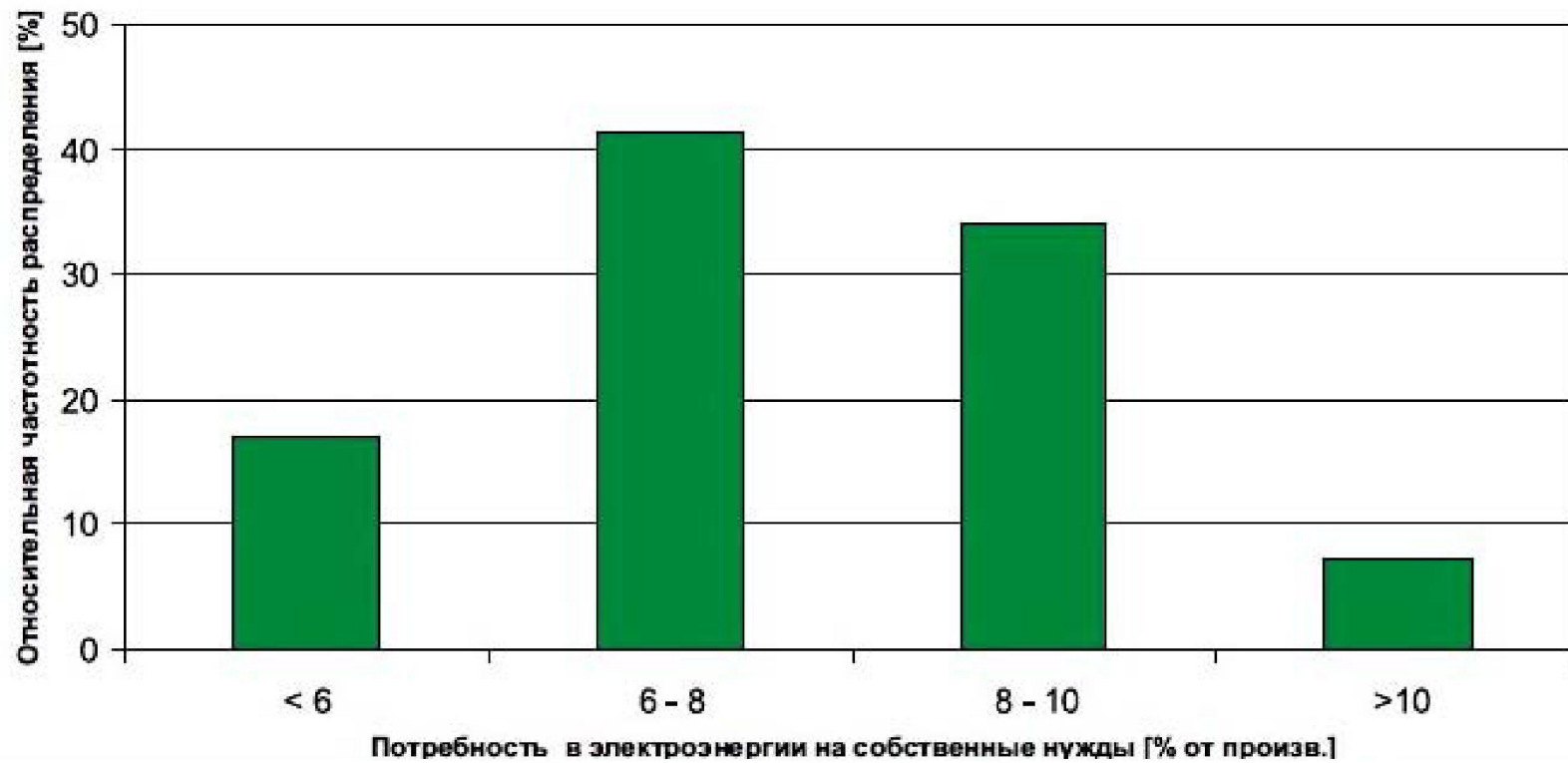


Рис. III.16. Относительное статистическое распределение потребности в электроэнергии на собственные нужды

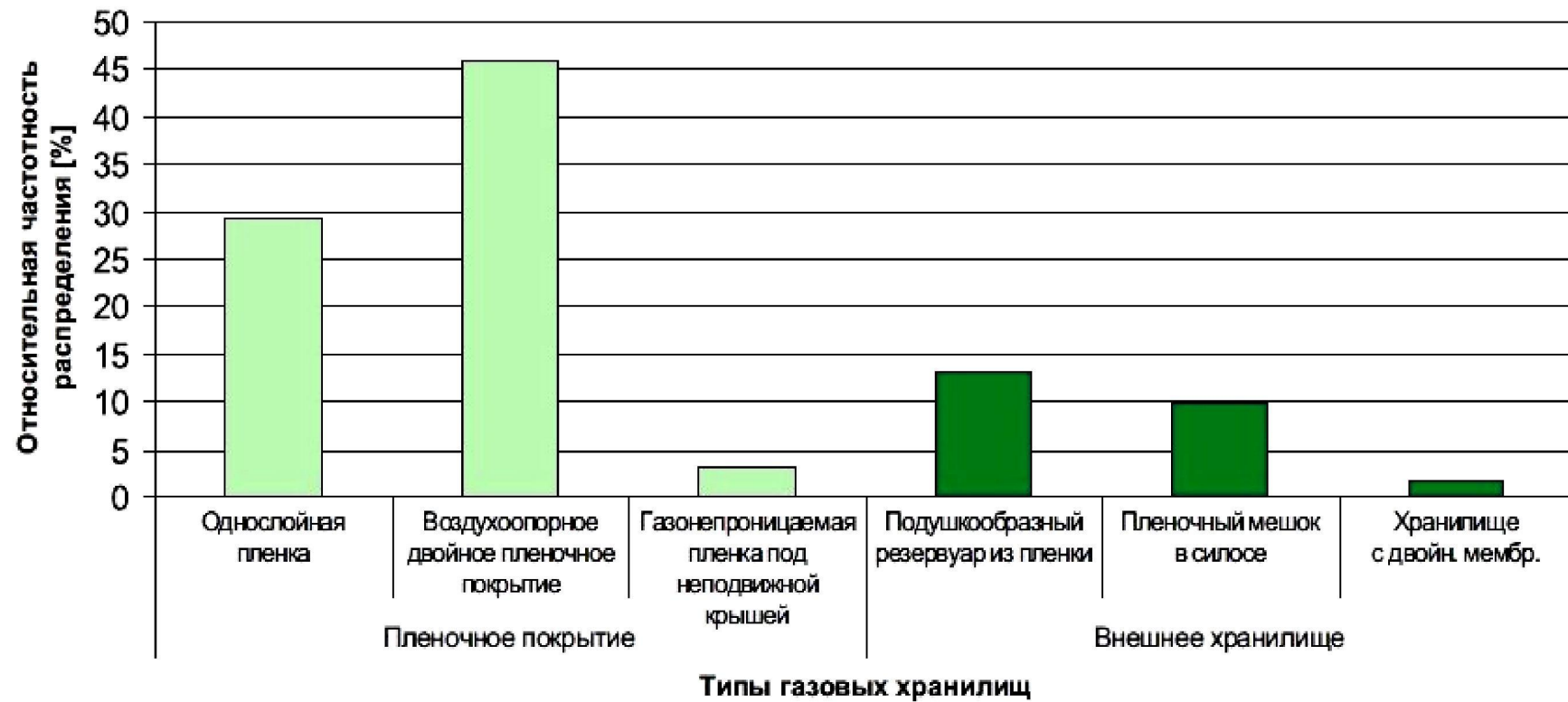


Рис. III.17. Относительное статистическое распределение биоустановок относительно типа газового хранилища

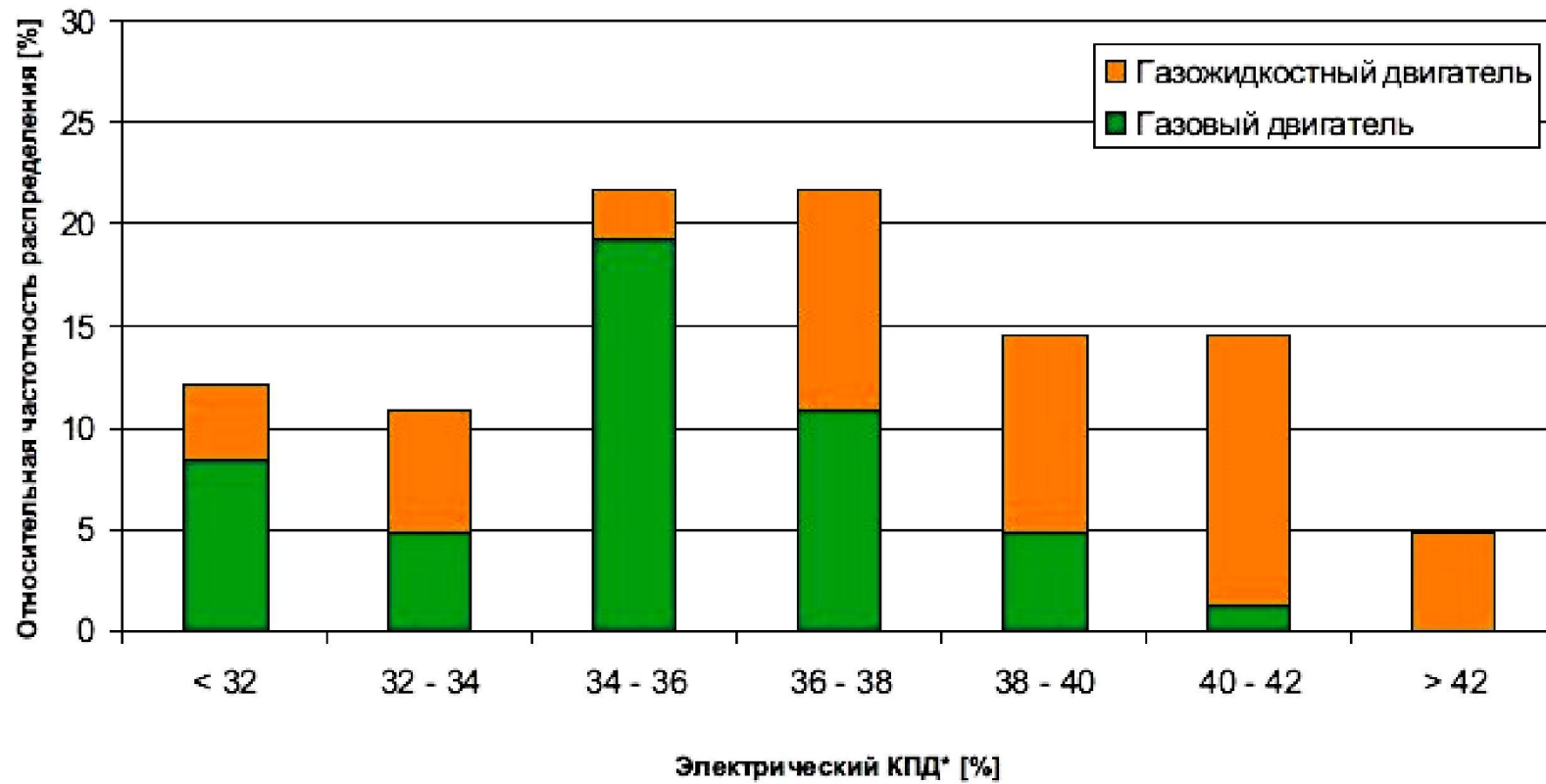


Рис. III.18. Относительное статистическое распределение значений электрического КПД биоустановок

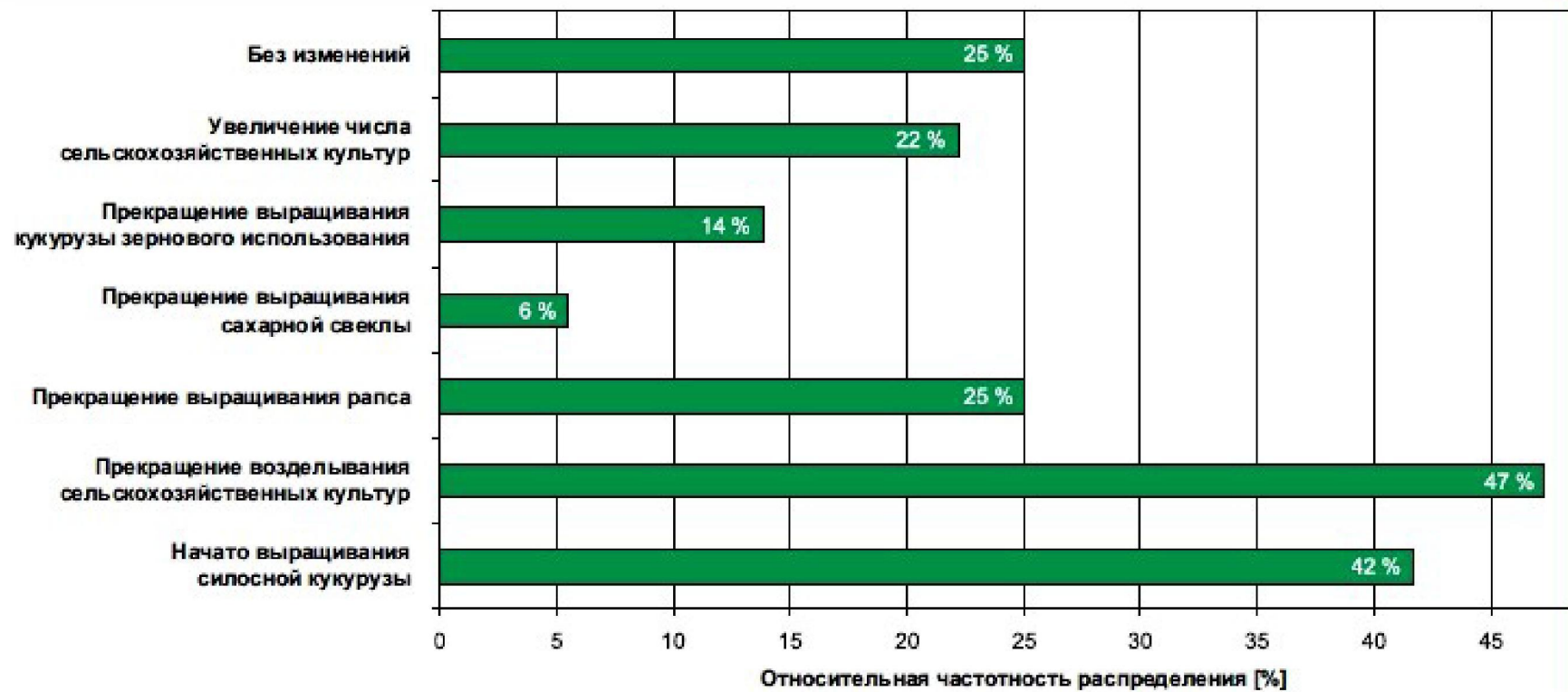


Рис. III.19. Относительная частота изменений в севообороте

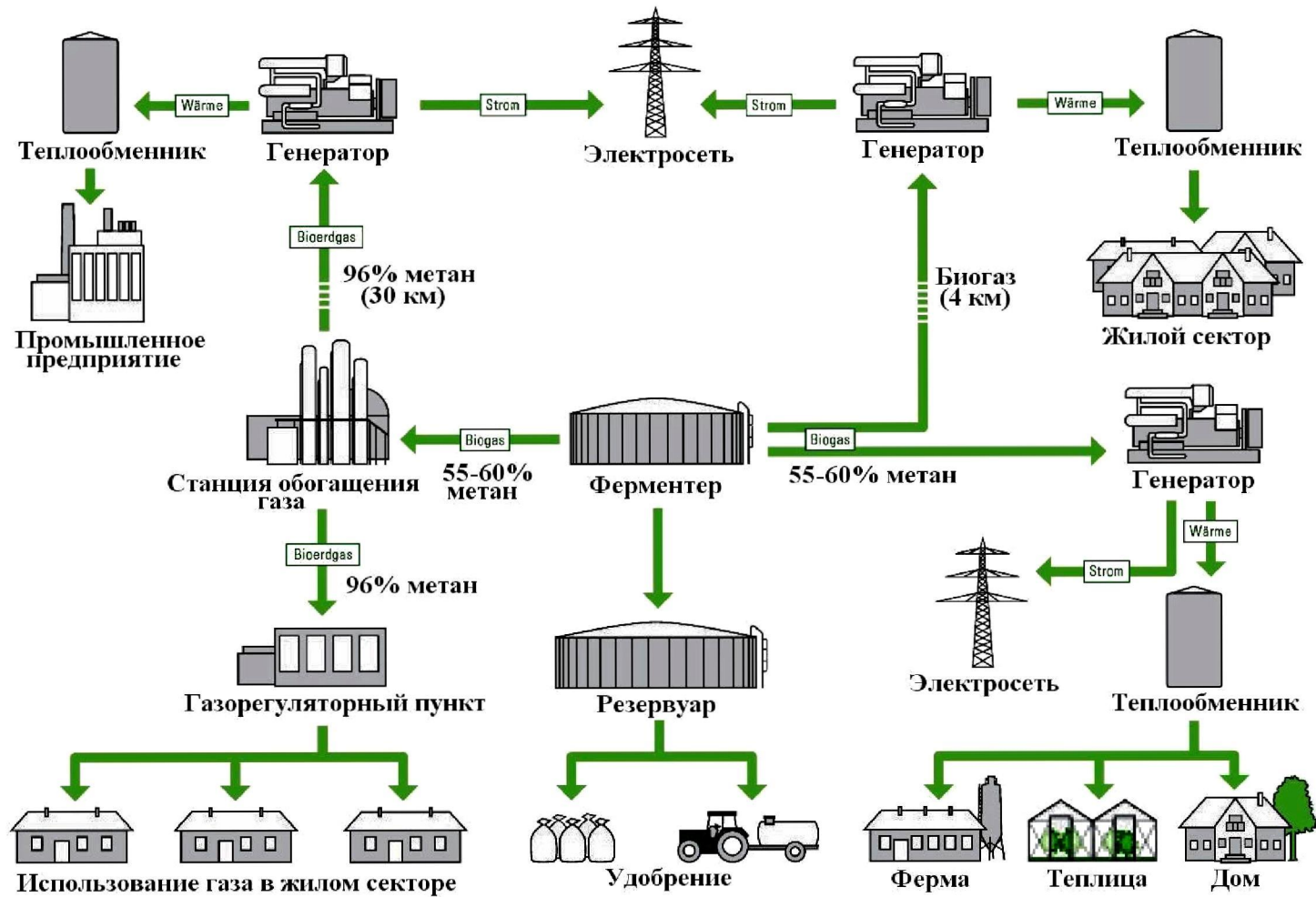


Рис. III.20. Схема использования мощной биогазовой установки (более 1000 МВт)



Таблица П 1.5

Технические характеристики биогазовой станции на навозных стоках (влажность 92 %)

Характеристики		Размер-ность	Значения						
1	Производительность по переработке сырья	т/сутки	30	60	90	120	150	300	450
2	Выход биогаза	м <sup>3</sup> /сутки*	1200	2400	3600	4800	6000	12000	18000
3	Потребляемая электр. мощность	кВт	10	15	20	25	30	50	70
4	Потребляемая тепловая мощность (T=-20С°)	кВт	50	70	100	140	175	350	500
5	Обслуживающий персонал	человек	1	1	1	1	1	1	1
6	Занимаемая площадь	га	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2
7	Выход твердых биоудобрений	т/сутки	3,8	7,6	11,4	15,2	19	38	57
8	Выход жидких биоудобрений	м <sup>3</sup> /сутки	25	50	75	100	125	250	375

\* - выход биогаза из свежего навоза.

Таблица П 1.6

Прайс-лист на биогазовые станции на навозных стоках

Производительность по сырью, т/сутки	Стоимость, €			
	Проектная документация	Ш еф-монтаж оборудования, пуско-наладка, обучение	Оборудование	Строительство
30	27.000	17.000	190.000	160.000
60	35.000	17.000	250.000	180.000
90	47.000	17.000	280.000	210.000
120	52.000	17.000	310.000	240.000
150	65.000	17.000	350.000	270.000
300	72.000	17.000	520.000	380.000
450	89.000	17.000	800.000	590.000

Таблица П1.7 Технические характеристики биогазовой станции на навозе  
(влажность 80%)

Характеристики		Размерности	Значения						
1	Производительность по переработке сырья	т/сутки	20	40	60	80	100	200	300
2	Выход биогаза	м <sup>3</sup> /сутки*	1200	2400	3600	4800	6000	12000	18000
3	Потребляемая электр. мощность	кВт	10	15	20	25	30	50	70
4	Потребляемая тепловая мощность (Т=-20С°)	кВт	50	70	100	140	175	350	500
5	Обслуживающий персонал	человек	1	1	1	1	1	1	1
6	Занимаемая площадь	га	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2
7	Выход твердых биоудобрений	т/сутки	5,6	11,2	16,8	22,4	28	56	84
8	Выход жидких биоудобрений	м <sup>3</sup> /сутки	13	16	24	32	43	86	129

\* - выход биогаза из свежего навоза.

Таблица П1.8 Прайс-лист на биогазовые станции на навозе

Производительность по сырью, т/сутки	Стоимость, €			
	Проектная документация	Шеф-монтаж оборудования, пуско-наладка, обучение	Оборудование	Строительство
20	27.000	17.000	190.000	160.000
40	35.000	17.000	250.000	180.000
60	47.000	17.000	280.000	210.000
80	52.000	17.000	310.000	240.000
100	65.000	17.000	350.000	270.000
200	72.000	17.000	520.000	380.000
300	89.000	17.000	800.000	590.000

Таблица П1.9 Технические характеристики биогазовой станции на помете  
(влажность 62%)

Характеристики		Размерности	Значения						
1	Производительность по переработке сырья	т/сутки	20	40	60	80	100	200	400
2	Выход биогаза	м <sup>3</sup> /сутки*	2600	5200	7800	10400	13000	26000	52000
3	Потребляемая электр. мощность	кВт	20	40	50	70	90	120	200
4	Потребляемая тепл. мощность (T=-20С°)	кВт	80	160	240	320	400	750	1200
5	Обслуживающий персонал	человек	1	1	1	1	2	2	2
6	Занимаемая площадь	га	0,3	0,5	0,7	0,9	1,5	1,8	3,5
7	Выход твердых биоудобрений	т/сутки	16,5	33	49,5	66	82,5	165	330
8	Выход жидких биоудобрений	м <sup>3</sup> /сутки	1	2	3	4	5	10	20

\* - выход биогаза из свежего помета.

Таблица П1.10 Прайс-лист на биогазовые станции на помете

Производительность по сырью, т/сутки	Стоимость, €			
	Проектная документация	Шеф-монтаж оборудования, пуско-наладка, обучение	Оборудование	Строительство
20	25.000	20.000	270.000	190.000
40	40.000	20.000	410.000	290.000
60	50.000	20.000	500.000	340.000
80	62.000	20.000	570.000	420.000
100	70.000	20.000	690.000	490.000
200	75.000	20.000	1.350.000	970.000
400	80.000	20.000	2.500.000	1.950.000

Таблица П1.11 Технические характеристики биогазовой станции на силосе  
(влажность 70%)

Характеристики		Размерности	Значения						
1	Производительность по переработке сырья	т/сутки	10	20	40	60	80	100	120
2	Выход биогаза	м <sup>3</sup> /сутки*	2000	4000	8000	12000	16000	20000	24000
3	Потребляемая электр. мощность	кВт	12	20	40	55	70	85	100
4	Потребляемая тепловая мощность	кВт	40	80	120	160	220	300	350
5	Обслуживающий персонал	человек	1	1	1	1	1	1	1
6	Занимаемая площадь	га	0,3	0,4	0,6	0,9	1,2	1,4	1,5
7	Выход твердых биоудобрений	т/сутки	3	6	12	18	24	30	36
8	Выход жидких биоудобрений	м <sup>3</sup> /сутки	5	10	20	30	40	50	60

\* - выход биогаза из свежего силоса.



Таблица П1.12 Прайс-лист на биогазовые станции на силосе

Производительность по сырью, т/сутки	Стоимость, €			
	Проектная документация	Шеф-монтаж оборудования, пуско-наладка, обучение	Оборудование	Строительство
10	27.000	20.000	220.000	170.000
20	35.000	20.000	320.000	230.000
40	40.000	20.000	440.000	300.000
60	47.000	20.000	530.000	390.000
80	52.000	20.000	630.000	450.000
100	60.000	20.000	700.000	520.000
120	70.000	20.000	820.000	590.000

**Таблица П1.13 Технические характеристики биогазовой станции на  
пищевых отходах**

Характеристики		Размерности	Значения					
1	Производительность по переработке сырья	т/сутки	40	60	80	160	240	320
2	Выход биогаза	м <sup>3</sup> /сутки*	8000	12000	16000	32000	48000	64000
3	Потребляемая электр. мощность	кВт	50	75	100	150	200	250
4	Потребляемая тепловая мощность (Т= -20°С)	кВт	150	200	250	500	600	900
5	Обслуживающий персонал	человек	1	1	1	2	2	3
6	Занимаемая площадь	га	0,35	0,45	0,55	0,75	0,9	1,2
7	Выход твердых биоудобрений	т/сутки	24	36	48	96	144	192
8	Выход жидких биоудобрений	м <sup>3</sup> /сутки	6	9	12	24	36	48

\* - выход биогаза из пищевых отходов.

Таблица П1.14 Прайс-лист на биогазовые станции на пищевых отходах

Производительность по сырью, т/сутки	Стоимость, €			
	Проектная документация	Шеф-монтаж оборудования, пуско-наладка, обучение	Оборудование	Строительство
40	47.000	30.000	690.000	490.000
60	59.000	30.000	970.000	640.000
80	72.000	30.000	1.150.000	750.000
160	85.000	30.000	2.200.000	1.600.000
240	110.000	30.000	2.700.000	1.950.000
320	130.000	30.000	3.200.000	2.300.000

## ПРОИЗВОДСТВО БИОТОПЛИВА В СТРАНАХ ЕС

Таблица П 2.1

Сырье, применяемое в странах ЕС, для производства биоэтанола

Сырье	Выход, т/га	Выход биотоплива, л/га	Необходимое количество биомассы на литр топлива, кг/л
Кукуруза	9,2	3520	2,6
Пшеница	7,2	2760	2,6
Рожь	4,9	2030	2,4
Тритикале	5,6	2230	2,5
Картофель	43,0	3550	12,1
Сахарная свекла	58,0	6240	9,3
Сахарный тростник	73,8	6460	11,4

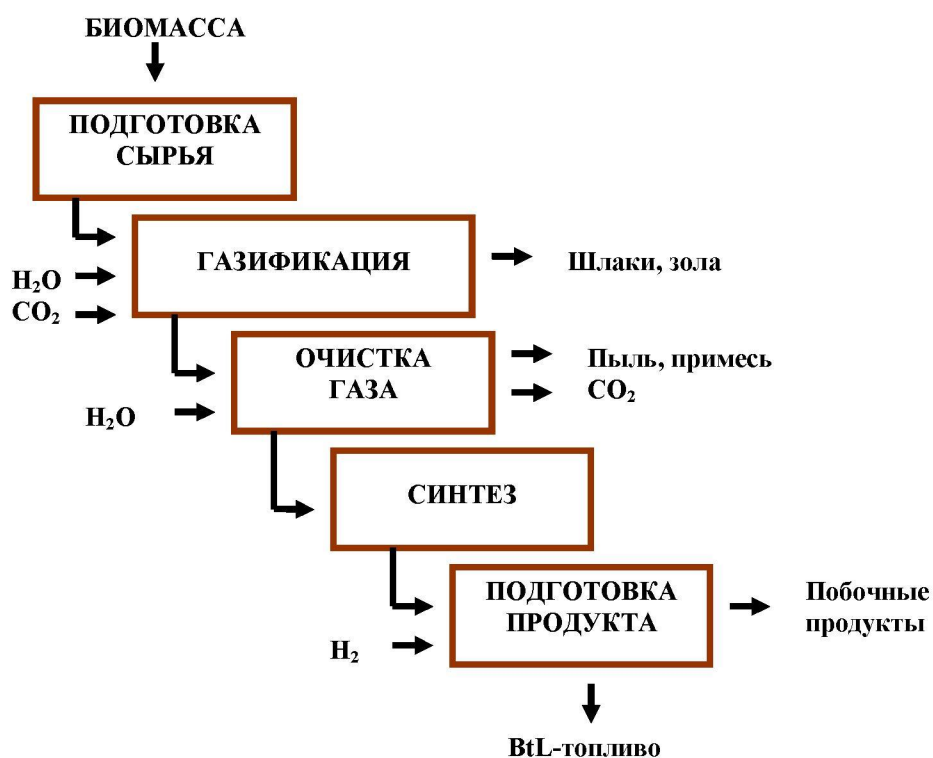


Рис. П 2.1. Технологическая цепочка производства синтетического топлива:

BtL обозначает Biomass to liquid и принадлежит как и GtL (gas to liquid) и CtL (coal to liquid) к синтетическим видам топлива, составляющие которого соответствуют требованиям современных двигателей. Для производства используются различные виды сырья, начиная от таких отходов сельского хозяйства, как солома и древесные отходы, и заканчивая энергетическими растениями

Сравнение видов топлива: свойства биотоплива

Вид топлива	Плотность, кг/л	Теплотворная способность, МДж/кг	Вязкость при температуре 20°C, мм <sup>2</sup> /с	Цетановое число	Октановое число	Температура возгорания, °С	Эквивалент топлива, л
Дизельное топливо	0,83	43,1	5,0	50	-	80	1
Рапсовое масло	0,92	37,6	74,0	40	-	317	0,96
Биодизель	0,88	37,1	7,5	56	-	120	0,91
Biomass-to-liquid	0,76	43,9	4,0	>70	-	88	0,97
Бензин	0,74	43,9	0,6	-	92	<21	1
Биоэтанол	0,79	26,7	1,5	8	>100	<21	0,65
Этил-терциер-бутил-этер (ЭТБЭ)	0,74	36,4	1,5	-	102	<22	0,83
Биометанол	0,79	19,7	-	3	>110	-	0,48
Метил-терциер-бутил-этер (МТБЭ)	0,74	35,0	0,7	-	102	28	0,80
Диметилэтер (ДМЭ)	0,67 <sup>1</sup>	28,4	-	60	-	-	0,59
Биометан	0,72 <sup>2</sup>	50,0	-	-	130	-	1,4
Водород Н <sub>2</sub>	0,016	120,0	-	-	<88	-	2,8

<sup>1</sup> При 20 °С.<sup>2</sup> Размерность в кг/м<sup>3</sup>.

Свойства растительных масел

Вид топлива	Плотность при 15 °С, кг/дм <sup>3</sup>	Теплотворная способность, МДж/кг	Вязкость при температуре 20 °С, мм <sup>2</sup> /с	Цетановое число	Температура затвердевания, °С	Температура возгорания, °С	Йодное число
Рапсовое масло	0,92	37,6	74,0	40	0...15	317	94...113
Подсолнечное масло	0,93	37,1	68,9	36	-16...-18	316	118...144
Соевое масло	0,93	37,1	63,5	39	-8...-18	350	114...138
Льняное масло	0,93	37,0	51,0	52	-18...-27	-	169...192
Оливковое масло	0,92	37,8	83,8	37	-5...-9	-	76...90
Хлопковое масло	0,93	36,8	89,4	41	-6...-14	320	90...117
Масло ятрофа	0,91	40,7	71,0	51	2...3	240	103
Кокосовое масло	0,87	35,3	21,7 <sup>3</sup>	-	14...25	-	7...10
Пальмовое масло	0,92	37,0	29,4 <sup>4</sup>	42	27...43	267	34...61
Пальмоядровое масло	-	35,5	21,5 <sup>5</sup>	-	20...24	-	14...22

<sup>3</sup> Кинематическая вязкость при 50 °С.<sup>4</sup> Кинематическая вязкость при 50 °С.<sup>5</sup> Кинематическая вязкость при 50 °С.



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ

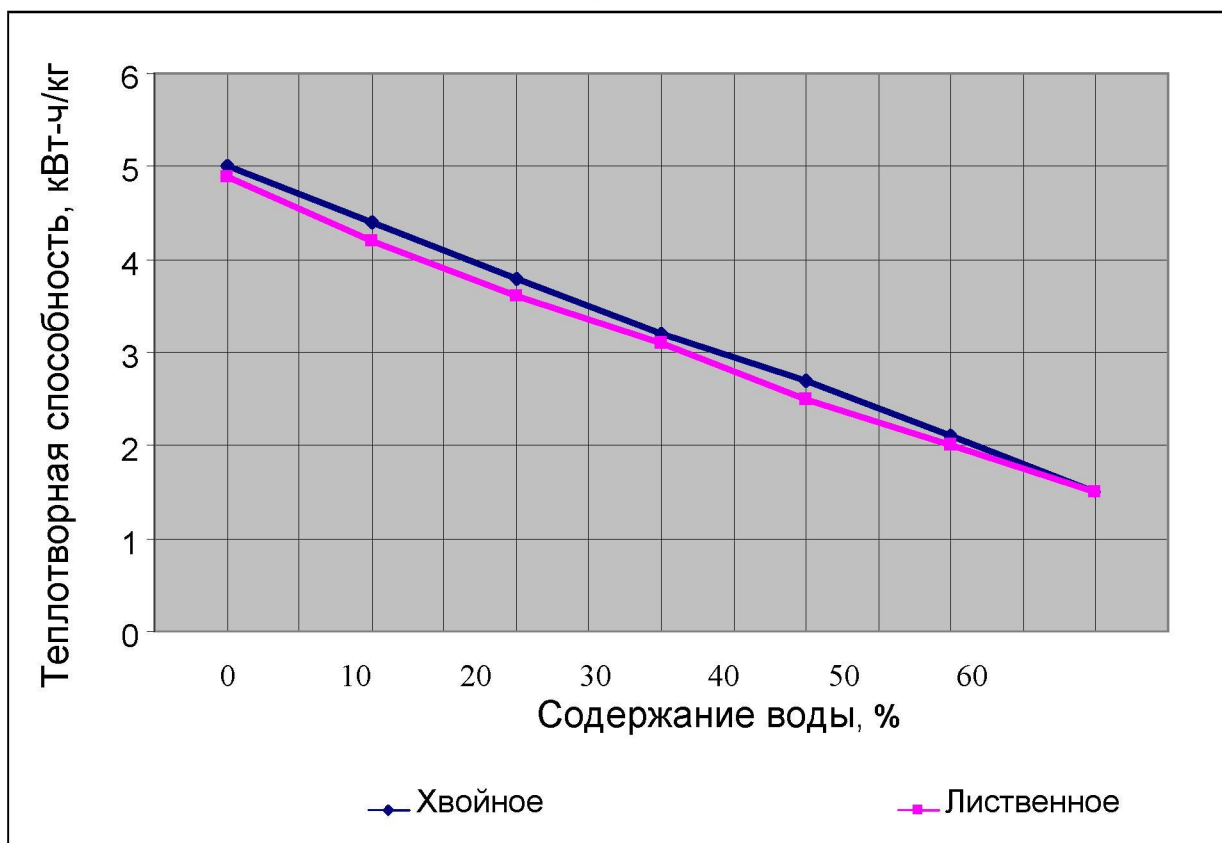


Рис. ПЗ.1. Теплотворная способность дерева в зависимости от влажности

Таблица П 3.1

Типичная урожайность и выход энергии в сельском и лесном хозяйстве Германии

	Исходная урожайность при $\omega = 15\%$ , т/га год	Средняя теплотворная способность, МДж/кг	Годовой выход топлива, МВт-ч/га год	Эквивалент дизельного топлива, л/га год
<b>Отходы</b>				
Древесные	1,0	15,6	4	434
Солома зерновых	6,0	14,3	24	2390
Солома рапса	4,5	14,2	18	1771
Сено	4,5	14,4	18	1803
<b>Энергетические растения</b>				
Тополь, ива	12,0	15,4	51	5120
Зерновые культуры	13,0	14,1	51	5086
Зерно	7,0	14,0	27	2772
Кормовые травы	8,0	13,6	30	3016
Мискантус	15,0	14,6	61	6081

Таблица П 3.2

## Коэффициенты пересчета для древесного топлива

Единица	Тип древеси-ны	Влажность	м <sup>3</sup> навалный	Тонна	Тонна "atro"	Эквивалент, МВт-ч
1 м <sup>3</sup> навалный (объем щепы)	Ель	15 %	1	0,2	0,17	0,876
		30 %	1	0,25	0,17	0,847
		45 %	1	0,31	0,17	0,819
	Береза	15 %	1	0,32	0,27	1,298
		30 %	1	0,39	0,27	1,252
		45 %	1	0,49	0,27	1,18
1 тонна (вес зеленой щепы)	Ель	15 %	5	1	0,85	4,38
		30 %	4	1	0,68	3,338
		45 %	3,2	1	0,55	2,621
	Береза	15 %	3,1	1	0,85	4,024
		30 %	2,6	1	0,69	3,255
		45 %	2,1	1	0,55	2478
1 тонна "atro" (вес сухой щепы)	Ель	15 %	5,88	1,18	1	5,151
		30 %	5,88	1,47	1	4,98
		45 %	5,88	1,82	1	4,816
	Береза	15 %	3,7	1,18	1	4,803
		30 %	3,7	1,44	1	4,632
		45 %	3,7	1,81	1	4,366
1 МВт-ч (эквивалент)	Ель	15 %	1,14	0,228	0,194	1
		30 %	1,18	0,295	0,2	1
		45 %	1,22	0,382	0,208	1
	Береза	15 %	0,77	0,248	0,208	1
		30 %	0,8	0,307	0,215	1
		45 %	0,85	0,403	0,229	1

Таблица П 3.3

## Зависимость плотности древесины от метода штабелирования и влажности (береза)

Влажность	Береза		
	Твердый кубический метр (кг/м <sup>3</sup> )	Штабельный кубический метр (кг/м <sup>3</sup> )	Навалный кубический метр (кг/м <sup>3</sup> )
0 %	558	391	229
20 %	656	460	269
40 %	797	559	327
100 %	1,116	781	458

Таблица П 3.4

Зависимость плотности древесины от метода штабелирования и влажности (ель)

Влажность	Ель		
	Твердый кубический метр (кг/м <sup>3</sup> )	Штабельный кубический метр (кг/м <sup>3</sup> )	Навальный кубический метр (кг/м <sup>3</sup> )
0 %	379	265	155
20 %	446	312	182
40 %	541	379	221
100 %	758	531	311

Таблица П 3.5

Сравнение значений теплоты сгорания топлива

Топливо (энергоноситель)	Теплота сгорания (среднее значение)	Эквивалент, кВт·ч
1 кг древесины (влажность: 20 %), среднее значение	14,4 МДж/кг	4,0 кВт·ч /кг
1 кг печного топлива (сверхлегкого)	42 МДж/кг (36 ДЖМ/л)	11,67 кВт·ч /кг (10 кВт·ч /л)
1 кг печного топлива (легкого)	41 МДж/кг	11,40 кВт·ч /кг
1 кг каменного угля	29 МДж/кг	8,06 кВт·ч /кг
1 кг кокса	29 МДж/кг	8,06 кВт·ч /кг
1 кг бурого угля	15 МДж/кг	4,17 кВт·ч /кг
1 м <sup>3</sup> природного газа	37 МДж/м <sup>3</sup>	10,28 кВт·ч /м <sup>3</sup>
1 кВт·ч электроэнергии	3,6 МДж	1,0 кВт·ч

Таблица П 3.6

Характеристики топлива (стружка, ель)

Водосодержание	0 %	45 %	50 %	55 %	60 %
Увеличение объема		0,05	0,1	0,15	0,15
Вес (навальный), кг/м <sup>3</sup>	120	212,18	228	248,67	282
евро / навальный, м <sup>3</sup>	5,81	5,81	5,81	5,81	5,81
Низшая теплота сгорания кВт·ч /кг	5,22	2,57	2,27	1,98	1,68
Энергия кВт·ч / навальный, м <sup>3</sup>	626,4	544,34	517,67	491,25	473,93
Затраты на производство энергии, евроцент/кВт·ч	0,94	1,09	1,09	1,16	1,24

Таблица П 3.7

Характеристики топлива (опилки, ель)

Водосодержание	0 %	45 %	50 %	55 %	60 %
Увеличение объема		0,05	0,1	0,15	0,15
Вес (навалый), кг/м <sup>3</sup>	100	176,82	190	207,22	235
евро / навалый, м <sup>3</sup>	5,09	5,09	5,09	5,09	5,09
Низшая теплота сгорания кВт·ч / кг	5,22	2,57	2,27	1,98	1,68
Энергия кВт·ч / навалый, м <sup>3</sup>	522	453,62	431,4	409,38	394,94
Затраты на производство энергии, евроцент/кВт·ч	0,94	1,09	1,16	1,24	1,31

Таблица П 3.8

Характеристики топлива (кора, ель)

Водосодержание	0 %	50 %	55 %	60 %	65 %
Увеличение объема		0,05	0,1	0,15	0,15
Вес (навалый), кг/м <sup>3</sup>	160	312	339,56	376	433,14
евро / навалый, м <sup>3</sup>	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63
Низшая теплота сгорания кВт·ч / кг	5,22	2,27	1,98	1,68	1,39
Энергия кВт·ч / навалый, м <sup>3</sup>	835,2	708,4	670,81	631,91	600,18
Затраты на производство энергии, евроцент/кВт·ч	0,44	0,51	0,51	0,58	0,58

Таблица П 3.9

Характеристики топлива (лесная щепа, ель)

Водосодержание	0 %	10 %	30 %	40 %	50 %
Увеличение объема		0,05	0,1	0,15	0,15
Вес (навалый), кг/м <sup>3</sup>	180	191	239,14	273	333
евро / навалый, м <sup>3</sup>	16,71	16,71	16,71	16,71	16,71
Низшая теплота сгорания кВт·ч / кг	5,22	4,63	3,45	2,86	2,27
Энергия кВт·ч / навалый, м <sup>3</sup>	939,6	884,35	825,11	780,89	756,08
Затраты на производство энергии, евроцент/кВт·ч	1,74	1,89	2,03	2,11	2,25

Таблица П 3.10

## Характеристики топлива (промышленная щепа)

Водосодержание	0 %	45 %	50 %	55 %	60 %
Увеличение объема		0,05	0,1	0,15	0,15
Вес (навалый), кг/м <sup>3</sup>	180	318,27	342	373	423
евро / навалый, м <sup>3</sup>	8,72	8,72	8,72	8,72	8,72
Низшая теплота сгорания кВт·ч / кг	5,22	2,57	2,27	1,98	1,68
Энергия кВт·ч / навалый, м <sup>3</sup>	939,6	816,51	776,51	736,88	710,89
Затраты на производство энергии, евроцент/кВт·ч	0,94	1,09	1,09	1,16	1,24

Таблица П 3.11

Низшая теплота сгорания дров на рабочую массу  
(при средней теплоте на горючую часть 19,2 МДж/кг)

Влажность, %	Теплота сгорания кВт·ч/кг, в соответствии с зольностью на рабочую массу				
	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %
25	3,79	3,75	3,71	3,67	3,63
26	3,73	3,69	3,65	3,61	3,57
27	3,67	3,63	3,59	3,55	3,52
28	3,61	3,57	3,54	3,50	3,46
29	3,55	3,51	3,48	3,44	3,40
30	3,49	3,46	3,42	3,38	3,34
31	3,43	3,40	3,36	3,32	3,29
32	3,37	3,34	3,30	3,26	3,23
33	3,31	3,28	3,24	3,21	3,17
34	3,25	3,22	3,18	3,15	3,11
35	3,19	3,16	3,13	3,09	3,06
36	3,14	3,10	3,07	3,03	3,00
37	3,08	3,04	3,01	2,97	2,94
38	3,02	2,98	2,95	2,92	2,88
39	2,96	2,92	2,89	2,86	2,83
40	2,90	2,86	2,83	2,80	2,77
41	2,84	2,81	2,77	2,74	2,71
42	2,78	2,75	2,72	2,68	2,65
43	2,72	2,69	2,66	2,63	2,60
44	2,66	2,63	2,60	2,57	2,54
45	2,60	2,57	2,54	2,51	2,48
46	2,54	2,51	2,48	2,45	2,42

Влажность, %	Теплота сгорания кВт·ч/кг, в соответствии с зольностью на рабочую массу				
	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %
47	2,48	2,45	2,42	2,40	2,37
48	2,42	2,39	2,36	2,34	2,31
49	2,36	2,33	2,31	2,28	2,25
50	2,30	2,27	2,25	2,22	2,19
51	2,24	2,22	2,19	2,16	2,14
52	2,18	2,16	2,13	2,11	2,08
53	2,12	2,10	2,07	2,05	2,02
54	2,06	2,04	2,01	1,99	1,96
55	2,00	1,98	1,96	1,93	1,91
56	1,94	1,92	1,90	1,87	1,85
57	1,88	1,86	1,84	1,82	1,79
58	1,82	1,80	1,78	1,76	1,73
59	1,76	1,74	1,72	1,70	1,68
60	1,71	1,68	1,66	1,64	1,62
61	1,65	1,62	1,60	1,58	1,56
62	1,59	1,57	1,55	1,53	1,51
63	1,53	1,51	1,49	1,47	1,45
64	1,47	1,45	1,43	1,41	1,39
65	1,41	1,39	1,37	1,35	1,33
66	1,35	1,33	1,31	1,29	1,28
67	1,29	1,27	1,25	1,24	1,22
68	1,23	1,21	1,19	1,18	1,16
69	1,17	1,15	1,14	1,12	1,10
70	1,11	1,09	1,08	1,06	1,05

Источник:

Fuel Quality Assurance, prCEN/TS 15234 – Solid biofuels, Working document N117. In Working document N117. January 2005.



## Барабаннныя сушылкі «Prodesa - Swiss Combi (TM)»



Рис. П 3.2. Общий вид сушылкі

Компания «PRODESA Medioambiente» изготавливает сушылкі для биомассы по лицензии швейцарской компании «W. Kunz dryTec AG», лидера европейского рынка промышленного и сельскохозяйственного оборудования для обезвоживания, более известного широкой публике по марочному наименованию «SWISS COMBI». Компания обладает более чем 40-летним опытом в данной сфере и в течение многих лет обладает правом изготавливать и продавать оборудование под брендом «Swiss Combi» для использования в любой стране мира, включая Россию, Украину, Беларусь.

Сушылкі агрегат барабанного типа, как правило, использует для сушки топочные газы в смеси с воздухом. Температура теплоносителя на входе в барабан составляет обычно 400°С, что позволяет минимизировать вредные выбросы в атмосферу и обеспечить максимальное качество высушенной биомассы.

Преимущества технологии сушки в барабане:

- проверенная, надежная, традиционная технология;
- бережная сушка, обеспечивающая сохранность всех свойств материала;
- гибкость при встраивании в технологические процессы заказчика;
- высокая энергоэффективность.

Топка оборудована неподвижной колосниковой решеткой, предназначенной для сжигания измельченной биомассы влажностью до 20 %. При необходимости – при использовании более влажного или неизмельченного топлива – мы рекомендуем установить топку с подвижными колосниками.

## ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩАЯ УСТАНОВКА

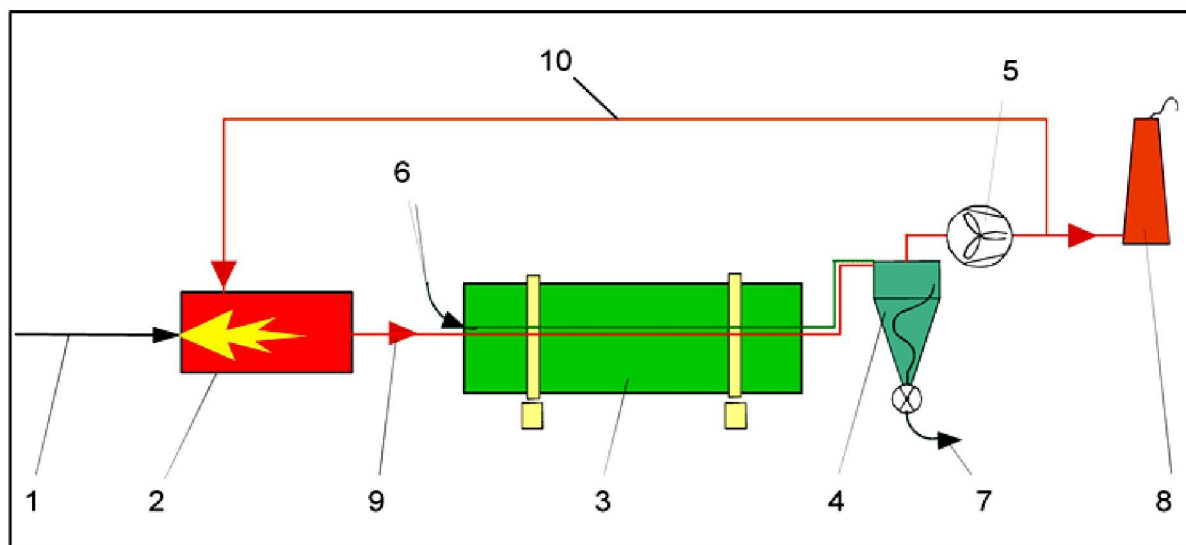


Рис. П 3.3. Принципиальная схема теплогенерирующей установки

### Принцип действия

Влажный материал подается в барабан (6). Теплоноситель (топочные газы в смеси с воздухом)(9), нагретый в теплогенерирующей установке (2), вступает в контакт с материалом внутри барабана (3). Вращение барабана и установленные внутри него перегородки (лопатки) обеспечивают постоянное нахождение материала в потоке теплоносителя, что приводит к интенсивному испарению влаги. Кроме того, такое взаимодействие позволяет эффективно отделять мелкие и легкие частицы материала, которые высыхают быстро, от более крупных, тяжелых, влажных частиц. Мелкая сухая фракция быстро покидает барабан, подхваченная потоком теплоносителя. Крупная фракция остается внутри барабана более продолжительное время, пока не покинет его с должным уровнем влажности.

Теплоноситель с помощью мощного главного вентилятора (5) транспортируется из теплогенерирующей установки через барабан до главного циклона (4) сушильного агрегата. В циклоне высушенный продукт отделяется от потока теплоносителя. Отработанный теплоноситель (воздух, насыщенный водяным паром) выбрасывается в атмосферу через трубу выброса теплоносителя (8). Под циклоном установлен большой шлюзовой затвор (7), который задерживает теплоноситель и выпускает высушенный продукт для дальнейшей переработки.

## ГРАНУЛИРОВАНИЕ И БРИКЕТИРОВАНИЕ ТОРФА

Республика Беларусь располагает огромными запасами торфа, который может быть с успехом использован в качестве:

- экологически чистого возобновляемого местного топлива, способного обеспечить теплом и даже электроэнергией целые регионы республики;
- сырья для производства высокоэффективного рафинированного биотоплива в виде топливных гранул и брикетов.

Производство торфяных гранул и брикетов может быть весьма привлекательным, высокорентабельным и масштабным бизнесом благодаря обширной сырьевой базе, низкой себестоимости и прекрасным потребительским свойствам торфяных гранул.

*Таблица П 3.12*

Особенности торфяных гранул

Энергетическая ценность	Энергетическая ценность торфяных гранул зависит от соответствующих характеристик исходного торфяного сырья. Она может существенно различаться от месторождения к месторождению, а также в зависимости от степени разложения торфа. Низшая теплотворная способность торфяных гранул 10 % влажности, скорее всего, попадет в интервал от 15 до 21 МДж/кг
Зольность	Зольность торфяных гранул также зависит от зольности исходного торфа. Чаще всего, массовая доля золы в торфяных гранулах и брикетах составляет 2-8 %. Этот показатель может быть и выше, однако гранулирование такого торфа будет сопряжено с очень интенсивным износом матриц и роликов и, соответственно, высокими эксплуатационными издержками по оборудованию
Насыпная плотность	650-750 кг/м <sup>3</sup>
Рынок	* Экспорт по цене несколько ниже цены древесных гранул * Внутренний рынок: государственные и частные котельные, отопление индивидуальных домов



## Особенности технологии производства агрогранул

Состав технологической линии	В целом технология схожа с технологией гранулирования древесных отходов естественной влажности. * Очистка и сортировка торфа * Сушка торфа * Тонкое измельчение (по необходимости) * Кондиционирование * Гранулирование * Охлаждение гранул * Сортировка гранул Отличия – в деталях и режимах работы оборудования
Добавки	Обычно не требуются
Энергозатраты	Несколько ниже, чем при гранулировании древесины. 30-35 кВт·ч на одну тонну гранул
Себестоимость	25-30 евро на 1 тонну гранул без учета стоимости сырья (против 30-45 евро на тонну древесных гранул)

- Гранулирование торфа на оборудовании «СРМ Europe»
- Брикетирование торфа на оборудовании «С.F.Nielsen»

Подробнее о технологии гранулирования вы можете прочитать здесь:

<http://www.wood-pellets.com/cgi-bin/cms/index.cgi?ext=content&pid=1183&lang=1>

и здесь:

<http://www.wood-pellets.com/cgi-bin/cms/index.cgi?ext=content&lang=1&pid=986>

## Брикетировочные прессы Б-9027 (Россия)



Рис. П3.4. Общий вид прессы

Прессы серии Б-9027 выпускаются в России еще с 1980-х гг. и предназначены для промышленного брикетирования торфа и др. видов биомассы.

Это – надежное, высокопроизводительное оборудование, испытанное на практике десятками предприятий, эксплуатирующих такие прессы уже несколько десятилетий. Именно на этих прессах в России, Украине и Беларуси до сих пор выпускается большая часть торфяных брикетов.

- Брикетировочный пресс Б-9027 А (до 1400 кг/ч)
- Брикетировочный пресс Б-9027 (до 700 кг/ч)

Таблица П 3.14

Технические характеристики прессов

Наименование модели	Производительность при работе на		Срок изготовления
	древесных опилках, т/ч	Торфе, т/ч	
Пресс брикетировочный универсальный, усилием 460 кН МОДЕЛИ Б-9027	0,35	0,7	2-4 месяца
Пресс брикетировочный универсальный, усилием 460 кН МОДЕЛИ Б-9027А	0,7	1,4	2-4 месяца

<http://www.wood-pellets.com/pe>

### Высокотехнологичные сушильные агрегаты «Atlas Stord»

Барабанные и дисковые контактные сушильные агрегаты «Atlas Stord» (Дания):

- контактная сушка с использованием в качестве теплоносителя пара, горячей водой или термомасла;
- абсолютная взрыво-пожаробезопасность;
- возможность сушки клейких и несыпучих материалов, кормовых и пищевых продуктов (опилки, иловые осадки, торф, рыбная мука и т.д.);
- высокая энергоэффективность, возможность утилизации энергии отработанного теплоносителя;
- простота и экономичность эксплуатации и обслуживания;
- технология Rotadisc (TM);
- традиционные барабанные сушилки.

Компания «ATLAS STORD» (Дания) – один из мировых лидеров рынка сушильного оборудования, применяемого для самых разных целей. В компании разработаны и производятся сушильные агрегаты различного типа, в т.ч. барабанные сушилки с прямым и непрямым нагревом материала, дисковые паровые сушилки, применяемые для обезвоживания "сложных" материалов, сушка которых затруднена или невозможна при использовании традиционной барабанной технологии:

- торф (минимизация взрыво-пожароопасности);
- иловые осадки канализационных стоков (и другие продукты, характеризующиеся высокой степенью адгезии и недостаточной сыпучестью для сушки в барабане);

➤ кормовые и продовольственные продукты (минимизация вредного воздействия топочных газов) и т. п.

Принцип действия дискового сушильного комплекса «Atlas Stord – Rota Disc (TM)» представлен далее.

Таблица П 3.15

Параметры теплоносителя:

Температура пара на входе	179,9 °С
Давление пара на входе	9 атмосфер
Количество пара (при сушке торфа с 45 % до 10 %)	около 1 тонны пара на одну тонну высушенного торфа
Температура конденсата на выходе	около 160 °С

В комплект поставки не входит источник пара. При отсутствии пара от стороннего источника можно использовать паровой котел любого типа.

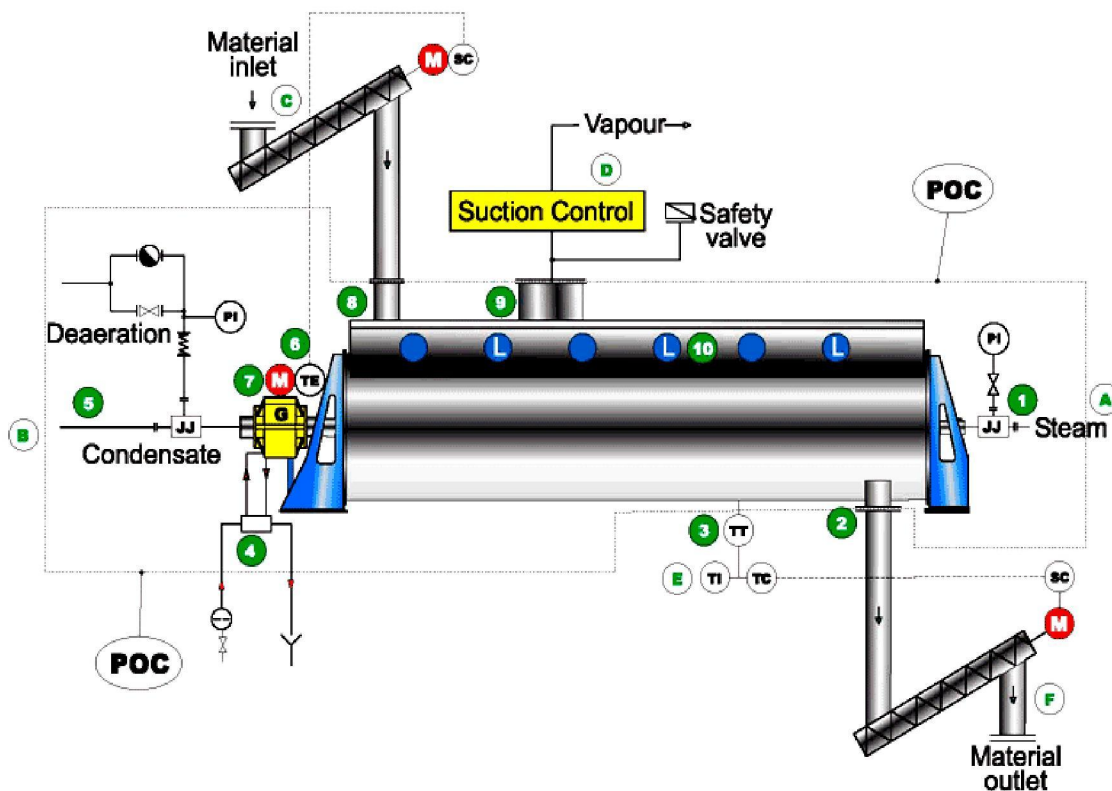


Рис. П 3.5. Принципиальная схема

дискового сушильного комплекса «Atlas Stord - Rota Disc (TM)»:

1 – паровая арматура и датчик давления («Johnson Unit»); 2 – устройство нижней выгрузки сухого продукта в стационарной части агрегата (конструкция в соответствии с особенностями продукта); 3 – изолятор теплоносителя; 4 – водяная система охлаждения редуктора; 5 – арматура для сбора и деаэрации конденсата («Johnson Unit» – часто в единой системе с поз. 1); 6 – тепловой датчик с выходом на аварийную сигнализацию; 7 – электромотор, гидравлическое соединение, редуктор; 8 – питатель продукта с фланцем; 9 – вытяжной канал; 10 – смотровое окошко в каждом втором инспекционном лючке



## ОПЦИИ

- A. Паровой регулятор с датчиками давления и температуры
  - B. Танк для деаэрации конденсата с датчиком уровня, датчиком давления, паросепаратором и клапанами.
  - C. Питатель с регулируемой скоростью подачи.
  - D. Устройство контроля вытяжки с шиберной заслонкой и предохранительным клапаном.
  - E. Датчик температуры на выходе.
  - F. Конвейер для отвода сухого продукта с регулируемой производительностью.
- POC = Point of Connection = Точка присоединения к прочему оборудованию – отражает типовой объем поставки.

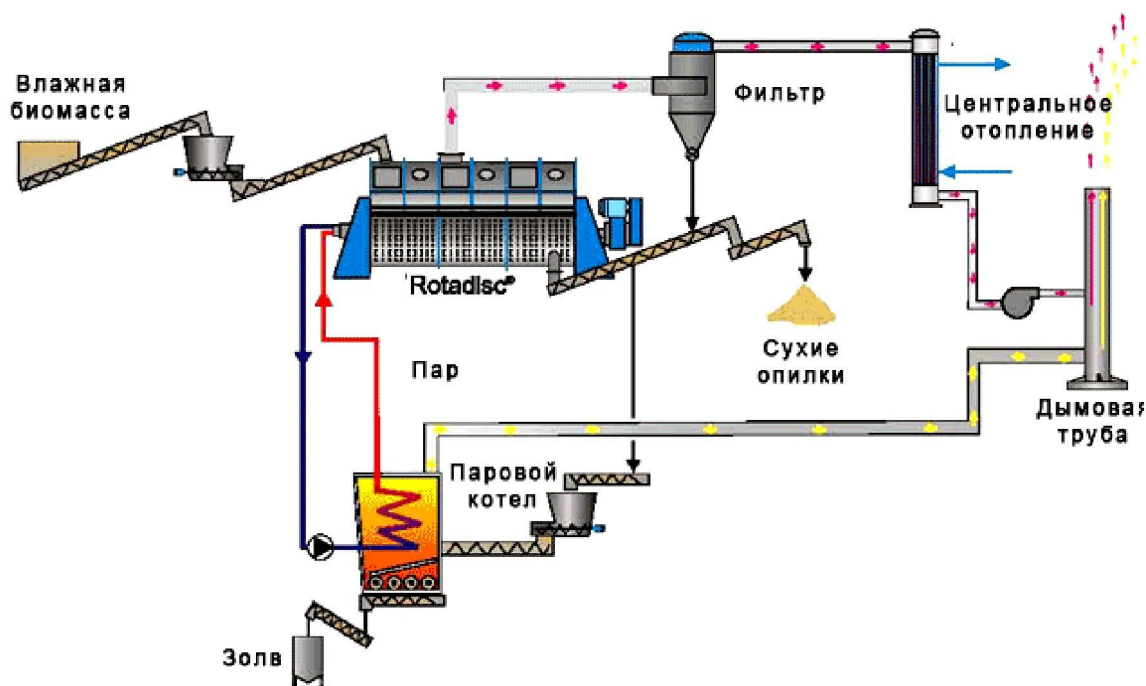


Рис. П 3.6. Принципиальная технологическая схема сушильного комплекса

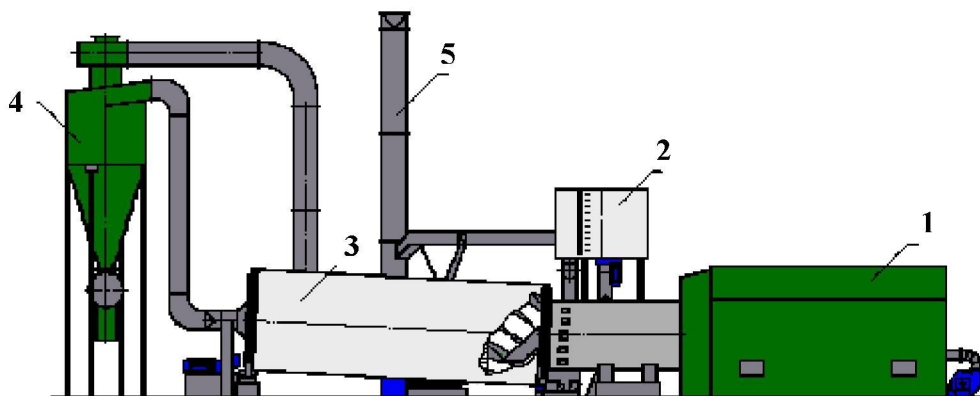
### Сушильный комплекс на базе агрегата АВМ 1,5

В отечественной биотопливной отрасли большое распространение получили сушильные комплексы на базе реконструированных сушильных барабанов АВМ 1,5. Согласно результатам мониторинга, проводимого специалистами Биотопливного портала <http://www.wood-pellets.com/pe> около половины всех производителей топливных гранул и брикетов, перерабатывающих влажное сырье, используют именно эти агрегаты и их аналоги. Модель сушильного агрегата АВМ 1,5, разработанная еще в Советском Союзе для комбикормовой промышленности, оказалась на редкость удачной. Она сочетает в себе оптимальные габариты, простоту и надежность ходовой части, высочайшую прочность и выносливость конструкции. Но самое главное, реконструи-

рованный АВМ 1,5 оказался во многих случаях самым экономичным решением для сушки измельченной биомассы с лучшим соотношением цена/надежность. С помощью АВМ 1.5 лучше всего сушить:

- опилки или щепу;
- фрезерный торф;
- траву;
- биомассу, обладающую достаточной сыпучестью и подходящей насыпной плотностью.

### Устройство сушильного комплекса АВМ 1,5



*Рис. П 3.7.* Принципиальная технологическая схема сушильного комплекса:  
1 – теплогенератор; 2 – бункер-дозатор; 3 – барабан сушильный; 4 – циклонная установка для разгрузки сухого материала; 5 – дымовая труба

Типовая спецификация: [BudgetProp\\_AVM1.5\\_2tph.pdf](#)

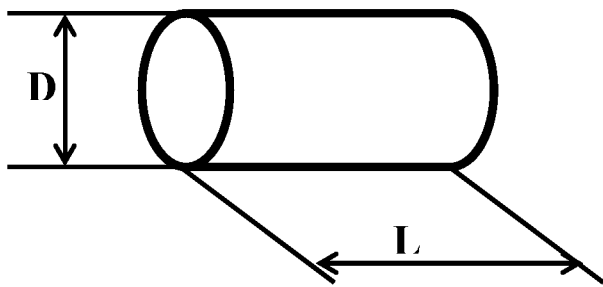
2,0-2,5 т / ч по сухому продукту.

Исходная влажность – не более 55 %.

Конечная влажность – 10 %.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕЛЛЕТ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Согласно Техническим условиям и классам качества твердых биотоплив и торфа, применяемых в странах Балтийского региона (табл. П 3.16) пеллеты представляют собой цилиндры диаметром 6...25 мм, длиной 30...100 мм, спрессованные из высушенных опилок. В качестве сырья применяются: древесная биомасса, травяная биомасса, торф [43].



При сжигании 1 т пеллет выделяется столько тепловой энергии, как при сжигании 1,6 т древесины (дрова), 475 м<sup>3</sup> газа, 500 л дизельного топлива или 685 л мазута [41, 42].

Преимущества при использовании древесных гранул (пеллет) для получения тепловой энергии:

- оборудование может монтироваться в специальных контейнерах (рис. П 3.11) или в зданиях котельных;
- экологические показатели пеллет вне конкуренции (зольность не превышает 1 %, гранулы производятся (рис. П 3.8 и П 3.9) без использования химических закрепителей);
- зола является отличным удобрением для почвы;
- при хранении пеллеты не воспламеняются при повышении температуры, так как не содержат скрытых пор;
- не взрывоопасны;
- не имеют запаха, в отличие от стандартных видов топлива, что воспринимается при сжигании более комфортно, чем от сжигания газа или солярки;
- не впитывают влагу из воздуха (теплотворная способность не снижается);
- не содержат пыли и спор, вызывающих аллергию у людей;
- имеют хорошую сыпучесть, поэтому легко поддаются автоматизации, что делает их удобными к использованию в частном секторе (например, в агрогородках);
- обладают высокой насыпной массой (до 700 кг/м<sup>3</sup>), поэтому занимают меньше места при транспортировке и хранении, чем другие виды древесного топлива;
- при сжигании пеллет в специальных котлах (рис. П 3.10) нет необходимости ежедневно удалять золу и добавлять топливо; при этом пыли, сажи или грязи нет.



Рис. П 3.8. Прессы для производства пеллет на технологическом участке: производительность прессы 3-8 т/ч; энергоемкость операции 20-60 кВт·ч/т при плотности получаемых пеллет 400-700 кг/м<sup>3</sup>

Таблица П 3.16

Основные нормативные условия на биотопливо «Пеллеты»

Обозначение	Основная фракция, более 80% по весу	Примечание
<i>Основные размеры</i>		
D06	$D \leq 6 \pm 0,5 \text{ мм}$ и $L \leq 5 \cdot D$	
D08	$D \leq 8 \pm 0,5 \text{ мм}$ и $L \leq 4 \cdot D$	
D10	$D \leq 10 \pm 0,5 \text{ мм}$ и $L \leq 4 \cdot D$	
D12	$D \leq 12 \pm 0,5 \text{ мм}$ и $L \leq 4 \cdot D$	
D25	$D \leq 25 \pm 0,5 \text{ мм}$ и $L \leq 4 \cdot D$	
<i>Влажность (% на рабочую массу)</i>		
M10	$W \leq 10\%$	Рекомендуется приводить при розничной торговле
M15	$W \leq 15\%$	
M20	$W \leq 20\%$	
<i>Зольность (массовый % на сухую часть)</i>		
A0.7	$A \leq 0,7\%$	Рекомендуется приводить при розничной торговле
A1.5	$A \leq 1,5\%$	
A3.0	$A \leq 3,0\%$	
A6.0	$A \leq 6,0\%$	

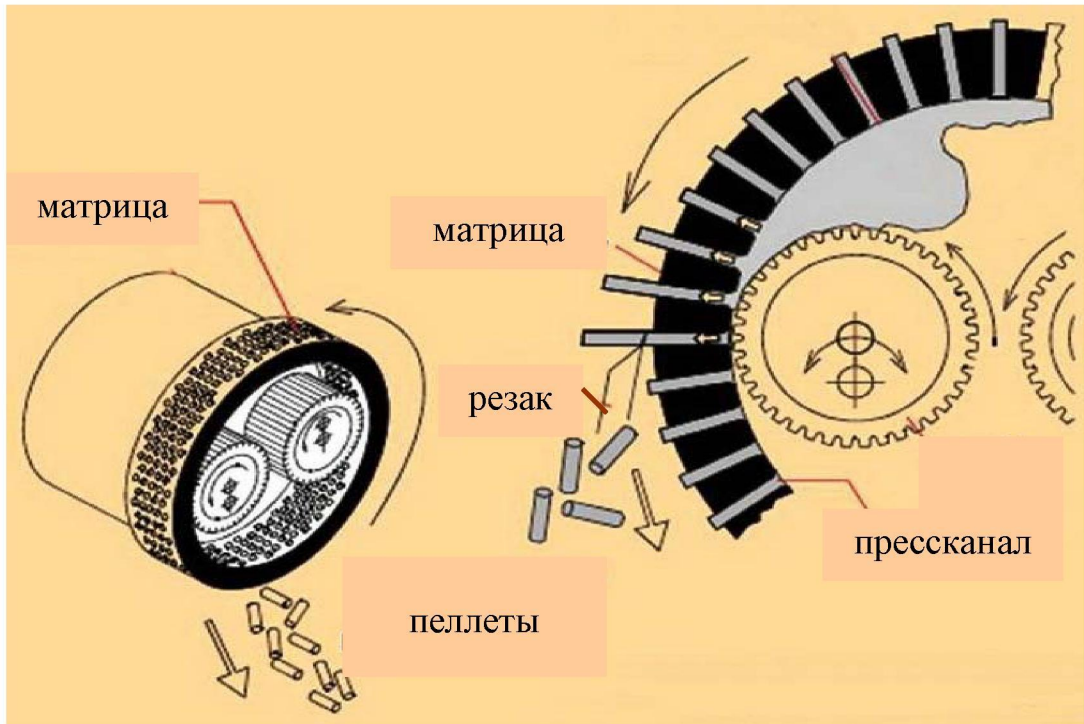




1

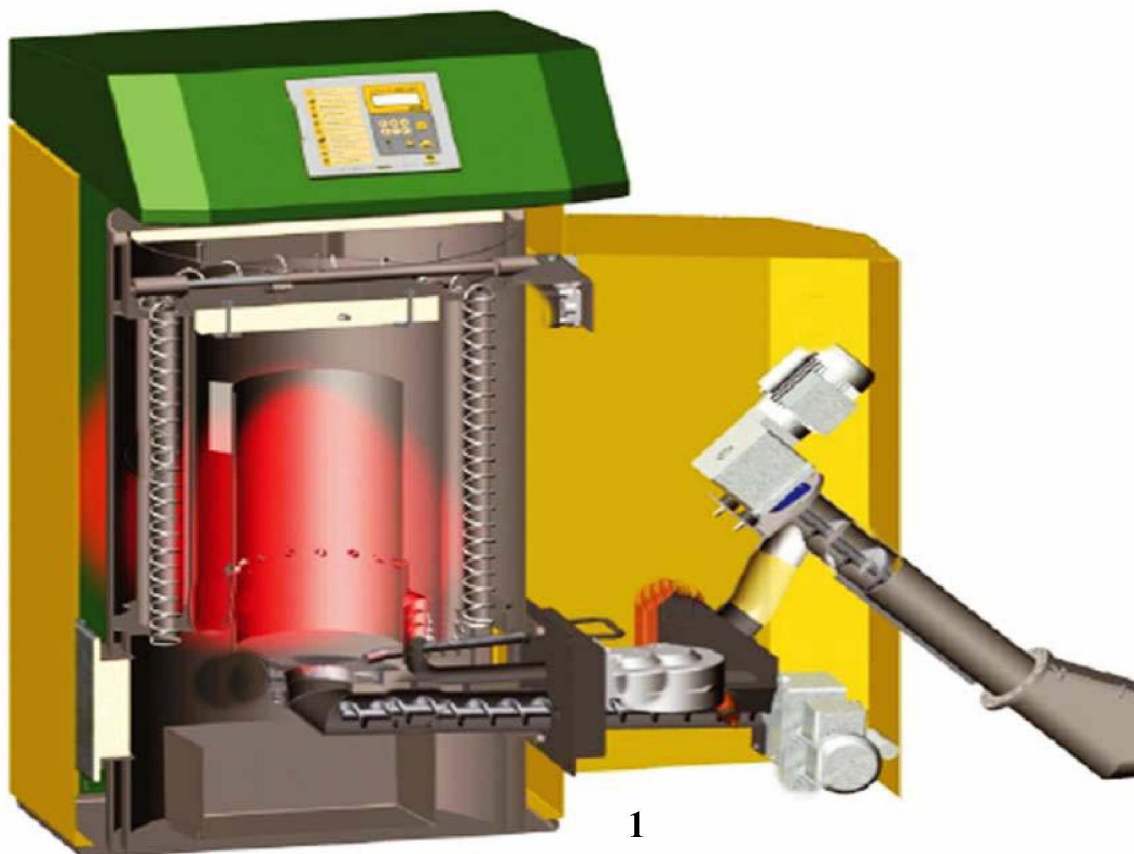


2



3

Рис. П 3.9. Оборудование для получения пеллет:  
1, 2 – матрица; 3 – технологический принцип получения пеллет



*Рис. П 3.10.* Стандартное оборудование для сжигания пеллет:  
1 – котел; 2 – горелочное устройство; 3 – дозатор.





*Рис. П 3.11.* Теплоэнергетическая установка мощностью 300 кВт фирмы КОВ (Австрия), использующая в качестве топлива пеллеты

В табл. П 3.17–П 3.25 приведены основные технические характеристики зарубежных котельных установок, использующих для получения тепловой энергии в качестве топлива пеллеты [41]. Установки можно применить при отоплении индивидуальных домов, включая постройки в агрогородках.

Таблица П 3.17

## Котельные установки фирмы «CSI» (Италия)

Модель котла	Комплектация	Мощность, кВт	Стоимость, евро
CSI 18	Котел, горелка, бункер 130 л	20,9	6168
CSI 25	Котел, горелка, бункер 130 л	29	6365
CSI 40	Котел, горелка, бункер 130 л	46,5	6667
CSI 60	Котел, горелка, бункер 170 л	69,7	7306
CSI 80	Котел, горелка, бункер 170 л	93	8073
CSI 99	Котел, горелка, бункер 170 л	115,1	8900

Таблица П 3.18

## Котельные установки фирмы «ECO» (Италия)

Модель котла	Комплектация	Мощность, кВт	Стоимость, евро
ECO 2	Котел, горелка, бункер 200 л	33	6529
ECO 3	Котел, горелка, бункер 200 л	42	6766
ECO 4	Котел, горелка, бункер 200 л	56	6995
ECO 5	Котел, горелка, бункер 200 л	77	7279
ECO 7	Котел, горелка, бункер 200 л	105	7902
ECO 10	Котел, горелка, бункер 200 л	152	9258

Таблица П 3.19

## Котельные установки фирмы «ARITERM» (Финляндия)

Модель котла	Комплектация	Мощность, кВт	Стоимость, евро
Biomatic 20+	Котел, горелка, топливоподача	20	5080
Arimax 25	Котел, горелка, топливоподача	25	6400
Biomatic 30+	Котел, горелка, топливоподача	30	7876
Arimax 45	Котел, горелка, топливоподача	45	7720
Biomatic 50+	Котел, горелка, топливоподача	50	6190

Таблица П 3.20

## Котельные установки фирмы «CS» (Италия)

Модель котла	Комплектация	Мощность, кВт	Стоимость, евро
CS 25	Котел, горелка, бункер 170 л	29	6789
CS 40	Котел, горелка, бункер 170 л	46,5	7119
CS 60	Котел, горелка, бункер 170 л	69,7	7822
CS 80	Котел, горелка, бункер 170 л	93	8593
CS 99	Котел, горелка, бункер 170 л	115,1	9563

Таблица П 3.21

## Котельные установки фирмы «CSA» (Италия)

Модель котла	Комплектация	Мощность, кВт	Стоимость, евро
CSA 40	Котел, горелка, бункер 450 л	46,5	11339
CSA 60	Котел, горелка, бункер 450 л	69,7	12553
CSA 80	Котел, горелка, бункер 450 л	93	13751
CSA 99	Котел, горелка, бункер 450 л	115,1	14953

Таблица П 3.22

## Котельные установки фирмы «FACI» (Италия)

Модель котла	Комплектация	Мощность, кВт	Стоимость, евро
FACI 3	Котел, горелка, бункер 200 л	42	6986
FACI 4	Котел, горелка, бункер 200 л	56	7334
FACI 5	Котел, горелка, бункер 200 л	77	7563
FACI 7	Котел, горелка, бункер 200 л	105	8131

Таблица П 3.23

## Котельные установки фирмы «ECO PERFEKT» (Чехия)

Модель котла	Комплектация	Мощность, кВт	Стоимость, евро
ECO PERFEKT 35/VP	Котел, горелка, бункер 240 л	35	6645
ECO PERFEKT 42/VP	Котел, горелка, бункер 240 л	42	7182
ECO PERFEKT 49/VP	Котел, горелка, бункер 240 л	49	7582

Таблица П 3.24

## Котельные установки фирмы «GRANDEG» (Литва)

Модель котла	Комплектация	Мощность, кВт	Стоимость, евро
GD-WB 15	Котел, горелка, бункер 200 л	15	4552
GD-WB 25	Котел, горелка, бункер 260 л	25	5288
GD-WB 40	Котел, горелка, бункер 310 л	40	6124

Таблица П 3.25

## Котельные установки фирмы «BENECOV» (Чехия)

Модель котла	Комплектация	Мощность, кВт	Стоимость, евро
V-Ling25	Котел, горелка, бункер 280 л	22	4617
Pelling 27	Котел, горелка, бункер 260 л	25	5723
V-Ling50	Котел, горелка, бункер 310 л	42	5370

**ПЕРЕРАБОТКА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ**

Таблица П4.1

Характеристики твердых бытовых отходов

Параметр	Вид твердых бытовых отходов			
	Пищевые отходы	Макулатура	Изделия из тканей	Деревянные изделия
Материал	коммунально-го хозяйства, пищевой и перерабатывающей промышленности	бумага, иногда пропитанная воском и покрытая различными красками	написанное ниже, относится к натуральным тканям	древесина, опилки, стружка, листва, лигнин
Ущерб природе	практически не наносят; используются для питания различными организмами	краска, которой покрыта бумага, может выделять ядовитые газы	не наносят	не наносят
Вред человеку	гниющие пищевые отходы – рассадник микробов	краска может выделять при разложении ядовитые вещества	не наносят	могут вызвать травмы
Пути разложения	используются в пищу различными микроорганизмами	используются в пищу различными микроорганизмами	используются в пищу некоторыми микроорганизмами	используются в пищу некоторыми микроорганизмами
Конечный продукт разложения	тела организмов, углекислый газ и вода	перегной, тела различных организмов, углекислый газ и вода	перегной, тела организмов, углекислый газ и вода	перегной, тела организмов, углекислый газ и вода
Способ вторичного использования	компостирование	переработка на оборотную бумагу	компостирование	переработка на бумагу или древесно-стружечный материал
Время разложения	1 – 2 недели	2 – 3 года	2 – 3 года	несколько десятков лет

Параметр	Вид твердых бытовых отходов			
	Пищевые отходы	Макулатура	Изделия из тканей	Деревянные изделия
Наименее опасный способ обезвреживания	компостирование	компостирование	сжигание в условиях, обеспечивающих полноту сгорания	сжигание
Продукты, образующиеся при обезвреживании	-	углекислый газ, вода, зола	углекислый газ, вода и зола	углекислый газ и вода

## БИОТЕРМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ТБО

➔ **Vicom International БИКОМ Интернэйшнл**

Процесс состоит из следующих основных модулей:

- модуль предварительной обработки – сортировка ТБО;
- модуль получения биогаза для переработки органической фракции ТБО;
- модуль газификации для переработки горючей фракции ТБО;
- генераторы для производства теплоты и электричества из получаемого газа.

Отходы поступают в модуль предварительной обработки, где они измельчаются и сортируются на четыре фракции: металлы, горючие отходы, органические отходы и инертные материалы. По требованию заказчика и в зависимости от потребностей местного рынка могут быть установлены дополнительные модули сортировки для выборки специальных видов отходов.

Используется только автоматическая сортировка.

Далее – органические отходы поступают в модуль получения биогаза, а горючие отходы – в модуль газификации. Горючий газ, образующийся в результате этих двух процессов, перерабатывается в генераторе в теплоту и, при необходимости, электроэнергию, для использования на сопутствующих производствах или для продажи.

Комбинации указанных технологических модулей устанавливаются на нескольких площадках в регионе так, чтобы обеспечить минимальную транспортировку отходов к месту переработки и непосредственную поставку ценных конечных продуктов на сопутствующие производства. Полный завод по переработке ТБО состоит из модулей всех четырех видов и может включать сопутствующие производства. Количество технологических линий в каждом модуле определяется требованиями к производительности завода. Минимальное оптимальное соотношение достигается для завода производительностью 90000 т ТБО в год.



## ГИДРОМЕХАНИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ

Процесс ВТА® является оригинальной гидромеханической обработкой отходов. Он состоит из гидромеханической предварительной обработки и последующего биологического анаэробного сбраживания.



*Рис. П4.1.* Технологический участок гидромеханической переработки отходов (компания «ВТА International GmbH», Германия)

Отходы подают в разделитель сырья, предварительно заполненный технической водой, с целью разделения смеси отходов на фракции за счет использования природных плавучести и сил осаждения. Таким образом, они эффективно разделены на три фракции:

- органические материалы;
- легкие материалы: пластмасса, фольга, ткань, дерево и т. д.;
- тяжелые материалы: камень, кость, аккумуляторы и т. д.

Гидромеханическая предварительная обработка является наиболее эффективным и успешным способом переработки отходов до анаэробного производства биогаза.

Органическая фракция переваривается в ферментере (рис. 51), в мезофильных условиях от 35 до 38 °С.



## ИЗРАИЛЬСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СОРТИРОВКИ ТБО С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ АНАЭРОБНОЙ ПЕРЕРАБОТКОЙ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

На завод поступают несортированные отходы и при этом утилизируются около 85 % отходов - существенно сокращаются эксплуатационные расходы на использование биозаводов, производится компост самого высокого качества. Технология дешевле, чем на мусоросжигательных заводах, при очень быстром развертывании.

«ArrowEcology» процесс интегрирует инновационные технологии на основе жидкого разделения материалов и высоко эффективной анаэробной переработки органических отходов. Метод устраняет необходимость предварительного разделения или классификации несортированных ТБО.

**ArrowEcology** = Гидромеханическая сортировка + жидкая анаэробная  
= Утилизация Твердых Бытовых Отходов.

Преимущества:

- использование несортированных отходов;
- захоронение на свалке только 10-20 % не переработанных отходов;
- существенное увеличение процента переработки (80-90 %);
- уменьшение загрязнения (земли, воды, воздуха);
- снижение высоких издержек утилизации отходов;
- сокращение эксплуатационных расходов на использование биозаводов и стабилизацию компостирувания;
- производство электроэнергии из биоотходов;
- производство сельскохозяйственных удобрений высокого качества;
- быстрое развертывание;
- создание новых рабочих мест в «зеленых» технологиях.

Процесс «ArrowEcology» представляет собой интегрированное решение, которое получает несортированные твердые бытовые отходы в качестве входных. В процессе гидромеханического разделения отходы очищаются и сортируются на перерабатываемые материалы (вторсырье), а органические отходы (биоотходы) с помощью уникальных биометодов, разлагаются на биогаз (газ-метан & CO<sub>2</sub>) и высококачественный компост.

Метод гидросепарации имеет целый ряд преимуществ:

во-первых, вода считается отличным нейтрализатором запахов, таким образом. Отходы, проходящие процесс сортировки, не выделяют в окружающую среду неприятного запаха;

во-вторых, при сортировке и последующей переработке не наносится вреда окружающей среде, соответственно, строительство мусороперерабатывающих заводов позволяет сохранить экологическую чистоту близлежащего региона;

в-третьих, вторичная переработка мусора, отсортированного в процессе гидросепарации, позволяет экономить сырье, так как в производстве используются вторичные материалы. Кроме того, гидросепарация требует значи-

тельно меньших затрат энергии, в качестве источников которой могут использоваться органические отходы.



Рис. П4.2. Завод в Сиднее (Австралия, 2008)

Прогрессивный метод переработки ТБО – это метод сортировки с последующей переработкой ТБО. Органические отходы ТБО перерабатывают в биореакторах с помощью анаэробных, метанобразующих бактерий. В результате деятельности бактерий вырабатывается метан, который служит топливом для производства энергии, и органическое удобрение – компост. Пластик, бумагу, картон, металл, отсортированные на первом этапе, пускают на вторичную переработку.

До недавнего времени проблему утилизации отходом составляла именно сортировка мусора. Но [израильская компания](#) нашла очень элегантное и эффективное решение этой задачи, разработав технологию гидромеханического разделения отходов. Технология позволяет разделять ТБО на фракции – продукты в дальнейшем перерабатываемые на вторсырье. Процент переработки доходит до 90 %. Технология универсальна, можно использовать одно и то же оборудование для различного состава ТБО. [Технология гидро-сепарации](#) работает по всему миру с 2002 г., потому что:

1. Гидро-механическая технология автоматизирована. На заводе производительностью 300 т/сут трудятся всего 20 человек (включая администрацию и менеджмент). Ручной труд применяется только на сортировке крупногабаритных отходов: аккумуляторов, телевизоров и т. д. Автоматизация дает огромный выигрыш в себестоимости переработки ТБО.



2. На ферментацию попадают чистые биоотходы, без пластика (включая маленьких частичек), без батареек и других ядовитых составляющих. Все неорганические отходы отсортировываются на первом этапе, с помощью гидросепарации. Подробнее читайте в <http://www.new-garbage.com/?id=13184>.

3. Биореактор оптимально работает при температуре 30-35°C. В Минске, да и в большинстве городов Беларуси понадобится обогрев, поэтому переработка ТБО будет дороже, чем в Израиле, но намного дешевле, чем при сжигании.

4. Завод получает прибыль от: продажи вторсырья, от продажи излишков электричества (или газа), от высококачественного компоста, за утилизацию мусора и полностью окупается за 5-7 лет.



*Рис. П4.3. Завод в Калифорнии (США, 2009)*

**ДЛЯ ЗАМЕТОК**

**ДЛЯ ЗАМЕТОК**

Учебное издание

# БИОЭНЕРГЕТИКА

*Пособие*

Составители:

**Коротинский Виктор Андреевич,  
Гаркуша Карина Эдуардовна**

Ответственный за выпуск *В. А. Коротинский*  
Редактор *В. М. Воронович*  
Компьютерная верстка *А. И. Стебуля*

Подписано в печать 26.10.2011 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.  
Ризография. Усл. печ. л. 8,6. Уч.-изд. л. 6,72. Тираж 100 экз. Заказ 954.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования  
«Белорусский государственный аграрный технический университет».  
ЛИ № 02330/0552984 от 14.04.2010.  
ЛП № 02330/0552743 от 02.02.2010.  
Пр-т Независимости, 99-2, 220023, Минск.