



621.03

У-74

В. М. Усаковский.

+ 631.3

# ВОЗОБНОВЛЯЮЩИЕСЯ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

21  
У  
а - 94421 ✓  
03  
80  
95

87

МОСКВА  
РОССЕЛЬХОЗИЗДАТ  
1986

Оренбургская областная  
библиотека им. Н. К. Крупской

ным подвод тепла практически любого источника. При работе на водороде повышаются КПД, масса двигателя уменьшается на 30% по сравнению с двигателем внутреннего сгорания.

Перспективным устройством автономной водородной энергетики является электрохимический генератор (ЭХГ) — топливный элемент, в котором осуществляется прямое преобразование энергии топлива в электрическую, при высоком КПД (до 80 %). Топливные элементы обеспечивают продолжительную непрерывную работу, определяемую запасом топлива; способны к значительным и продолжительным перегрузкам без снижения напряжения, бесшумности в работе; не выделяют вредных веществ и т. д.

Водородно-кислородный (воздушный) ЭХГ имеет высокий тепловой КПД при минимальном расходе (0,042 водорода и 0,33 кислорода, кг/кВт·ч). ЭХГ перспективен не только для автомобильного транспорта, но и для энергоснабжения удаленных сельскохозяйственных потребителей. Однако при применении водорода необходимо учитывать и ряд особенностей. Нельзя применять традиционные горелки и предотвращать распространение огня в обратном направлении с помощью обычного предохранительного клапана; существует вероятность возникновения опасных концентраций окиси азота; трудно измерить температуру и обеспечить безопасное регулирование пламени, которое может быть слабо заметным; разреженный водород плохо горит.

## Установки для преобразования отходов производства в энергию

Наиболее распространенный способ получения энергии из биомассы — анаэробное (без доступа кислорода) сбраживание отходов сельскохозяйственного производства и получение биогаза и перебродившей массы — органического удобрения. При этом значительно уменьшается загрязнение окружающей среды. К отходам сельскохозяйственного производства относят навоз (экскременты) животных и продукты растениеводства (солому, ботву и т. д.), которые не ис-



используют на корм животным. Отходы растениеводства общей массе сухого вещества имеют долю органической массы 95...98% при теплоте сгорания 16...19 МДж/кг сухого вещества, навоз крупного рогатого скота соответственно 77 % и 18...19 МДж/кг сухого вещества, навоз свиней 88 % и 18...19 МДж/кг сухого вещества, помет кур 77% и 14...16 МДж/кг сухого вещества.

В зависимости от температуры процесса анаэробное сбраживание разделяют на психрофильное (температура до 30°C), мезофильное (35...40°C) и термофильное (более 50°C).

Отходы сельскохозяйственного производства сжигают в теплогенераторах или газифицируют для получения генераторного газа и работы двигателей внутреннего сгорания.

Биогаз состоит из 50...80 % метана и 50...20 % углекислого газа, теплотворная способность биогаза равна 5...7 тыс. ккал/м<sup>3</sup>, 1 м<sup>3</sup> эквивалентен 0,7...0,8 кг жидкого топлива. В результате брожения из 1 т органического вещества (по сухому весу) получается 100...600 м<sup>3</sup> биогаза. КПД превращения энергии органических веществ в биогаз достигает 80...90 %.

В сброженном навозе увеличивается усвояемость фосфора и калия, а также появляются вещества, благоприятно влияющие на рост растений. Сброженный навоз разлагается медленно и в незначительной степени.

Сброженный жидкий навоз можно использовать для подкормки лугов и пастбищ даже в засушливый период. После подкормки сброженным жидким навозом ценные компоненты травостоя (злаковые и бобовые) вытесняют широколистные сорняки.

Использование жидкой фракции сброженного навоза в качестве питательной среды для выращивания водорослей целесообразно из-за наличия в ней небольшого количества патогенных микроорганизмов. На 1 л сброженного жидкого птичьего помета можно получить 20 г водорослей, что соответствует 1 кг белка с 10 кг сухого птичьего помета. Таким образом, метановое сбраживание отходов сельскохозяйственного производства должно рассматриваться как одно из перспективных направлений в охране окружающей среды и энергоснабжения отдельных объектов.

При производстве биогаза происходит эффективная



очистка сточных вод, снижается содержание органических веществ, которые превращаются в топливо. Анаэробная переработка отходов животноводства, растениеводства и активного ила приводит к минерализации азота и фосфора — основных слагаемых удобрений и их сохранению. При традиционном же способе приготовления органических удобрений методами компостирования теряется до 30...40 % азота.

В СССР ежегодно накапливается более 500 млн. т органических отходов: из них в животноводстве — 230, в растениеводстве — 160, лесо- и деревообработке — 70 млн. т. Отходы городов составляют 67 млн. т. Переработка их в биогаз позволит получить до 200 млрд. м<sup>3</sup> газа или заменить органическое топливо до 150...200 млн. т условного топлива и до 20 млн. т органических и минеральных удобрений. Для этого общий объем биоэнергетических реакторов должен составить 110 млн. м<sup>3</sup>. Получение биогаза только на животноводческих фермах может заменить 10...15 млн. т условного топлива.

Определенные перспективы открывает бактериальная газификация торфа, остаточной нефти, современные методы анаэробной деструкции лингина до метана, твердофазная метангенерация, создание специальных плантаций быстрорастущих сортов деревьев и кустарников, многолетних трав, морских и пресноводных макро- и микроводорослей и растений для получения биогаза или других видов топлива. К перспективным направлениям относится также развитие метода фотокаталитического образования водорода и метана, или возможность прямой конверсии солнечной энергии в водород и метан.

При введении сухого органического остатка в рацион питания животных экономия кормов для крупнорогатого скота может достигнуть 25 %. В таблице 5 показан возможный вклад анаэробной ферментации в энергетический баланс страны.

В аэробных условиях биотермические процессы происходят с образованием аммиака, который улетучивается, а стекающая с бурта жижа уносит растворимые соединения фосфора и калия. При штабельном хранении навоза теряется до 50 % от энергии исходного сырья, а при анаэробном способе не более 10 %. Из 1 т навоза получают 30...60 м<sup>3</sup> газа.

При анаэробном сбраживании органических ве-

## Энергетические возможности использования отходов

Источник отходов	Время экспозиции, сут.	Распад органического вещества, %	Энергия биогаза, получаемого из отходов, млн. т у. т.	Возможный вклад в энергетический баланс СССР, млн. т у. т. при охвате		
				5%	25%	50%
Крупный рогатый скот	9	25,9	16,9	0,85	4,2	8,5
	7	28,4	15,9	0,8	4,0	8,0
Свины	8	45,9	2,5	0,13	0,63	1,3
	6	49,3	2,1	0,11	0,53	1,1
Птица	43	44,0	7,4	0,37	1,85	3,7
	32	48,8	7,4	0,37	1,85	3,7
Итого по животноводству	—	—	26,8	1,35	6,7	13,5
	—	—	25,4	1,28	6,38	12,8
Сточные воды	8	48,8	0,53	0,02	0,1	0,2
	6	48,8	0,39	0,01	0,05	0,1
Бытовые отходы	10	24,4	0,02	0,04	0,2	0,4
	8	24,4	0,72	0,03	0,15	0,3
Итого по коммунально-бытовому хозяйству	—	—	1,45	0,06	0,30	0,6
	—	—	1,1	0,04	0,20	0,4
Полеводство	12	14,3	11,0	0,55	2,75	5,5
	10	15,4	6,8	0,34	1,7	3,4
Всего по всем отходам	—	—	39,3	1,96	9,8	19,6
	—	—	33,3	1,67	8,3	16,6
Капитальные вложения, млрд. руб.	—	—	35,5	1,77	8,85	17,7
	—	—	28,1	1,4	7,0	14,0
Чистый эффект, млрд. руб./год	—	—	21,7	1,1	5,4	10,8
	—	—	20,6	1,0	5,2	10,3

Примечания: 1. В числителе даны значения для мезофильного (37°C), а в знаменателе — для термофильного (45°C) режимов ферментации.  
2. Чистый эффект определен по мировым ценам.

ществ путем биологического расщепления (гидролиза) происходит разложение высокомолекулярных соединений (углеводов, жиров, белковых веществ) на низкомолекулярные органические соединения, а затем при участии кислотообразующих бактерий происходит разложение с образованием органических кислот и их солей, а также спиртов. После этого происходит метановое брожение с образованием горючего газа. Мета-



болическая активность и репродуктивная способность микроорганизмов зависят от температуры, которая имеет два предела (37 и 55° С) и влияет на содержание горючего газа.

Из отходов сельскохозяйственного производства для метанового сбраживания наиболее целесообразен навоз животных. Выход газа из навоза жвачных животных ниже, чем из навоза свиней и кур.

Выход газа при температуре 32°С к количеству разложившейся органической массы составляет 0,8...1 м<sup>3</sup> на 1 кг, а к единице закладываемой массы 0,4...0,6 м<sup>3</sup> на 1 кг, т. е. разлагается лишь 40...50% всей органической массы. Соотношение количества газа, которое может быть выделено из органических веществ жидкого навоза дойных коров (Д), бычков на откорме (Б), свиней (С) и кур (К) в процессе брожения при температуре 33°С, составляет Д:Б:С:К = 5:7:8:10. На выход газа помимо температуры значительное влияние оказывает количество загружаемой массы по времени и объему реактора (метантенка), время цикла брожения, интенсивность перемешивания. Количество добавляемого вещества в реактор должно соответствовать разложившемуся органическому веществу для температуры брожения 33°С. Оптимальные показатели приведены в таблице 6.

Продолжительность брожения в условиях прерывистого производства газа на 20...25 % больше при непрерывном производстве. Интенсивное перемешивание увеличивает контакт бактерий с субстратом и препятствует образованию осадка.

Основными компонентами биогаза являются СН<sub>4</sub> и СО<sub>2</sub>, сжижение которых ввиду разности критических значений давления и температуры нецелесообразно.

Таблица 6

Показатели работы реактора для сбраживания навоза

Навоз животных	Загрузка реактора, кг/м <sup>3</sup> , сут	Время пребывания массы в реакторе, сут	Степень разложения массы, %
Дойные коровы	6,0	15	40
Бычки на откорме	4,5	10	40
Свиньи	3,0	10	50
Куры-несушки	1,5	50	55



ри сбраживании происходит распад биологически не-  
абильных органических веществ, благодаря чему  
асса лишается запаха, свойственного исходному суб-  
рату — питательной среде для анаэробных бакте-  
рий.

Технологические схемы биогазовых установок раз-  
деляются на проточные с переменным использованием  
реакторов (метантенков) и однореакторные.

В проточной системе субстрат загружают в реак-  
тор непрерывно или через определенное время (напри-  
мер, сутки), удаляя соответствующий объем шлама.  
Это позволяет получить максимальный выход газа при  
непрерывном процессе газообразования. В системах  
с попеременным использованием двух или более оди-  
наковых реакторов опорожнение производят полностью  
с исключением заправочного шлама. Такая система  
требует газгольдера (газового аккумулятора), и ее по-  
тенциальная производительность используется не пол-  
ностью. Однореакторные системы с накоплением га-  
за и шлама содержат шлам до вывозки в поле и пол-  
ностью не опорожняются. Газовый потенциал в таких  
системах используется частично.

Реактор должен иметь герметичные коррозионно-  
стойкие стенки, надежную теплоизоляцию, надежные  
устройства загрузки и опорожнения. Наиболее распро-  
страненная форма реактора цилиндрическая, однако  
для улучшения статической прочности, снижения зат-  
рат энергии на перемешивание, отвода осадков и раз-  
рушение плавающей корки предпочтение отдается яй-  
цеобразной форме. В странах Восточной Азии распро-  
странены реакторы из эластичных материалов, имею-  
щие форму пузыря. Плотные прорезиненные или пла-  
стмассовые оболочки усиливают тканевыми прослой-  
ками. Реактор заглубляют в полусферическую выемку  
в грунте или помещают внутри жесткого ограждения  
на поверхности.

Для поддержания температуры, необходимой для  
брожения, теплоту к субстрату подводят в рабочем  
пространстве реактора или в питающем его устройст-  
ве. Подвод теплоты целесообразно сочетать с интен-  
сивным перемешиванием. Подогревают субстрат в ра-  
бочем пространстве теплообменными нагревательными  
аппаратами, нагревателями, встроенными в стенки  
реактора, горячей водой и паром под давлением. По-  
вышение влажности газа требует дополнительных мер

при подготовке газа к использованию. Обязательным условием является принудительная циркуляция субстрата, что обеспечивает регулирование температуры брожения и минимальную разность температур поступающего и имеющегося в камере субстрата.

Для эффективного протекания процесса брожения предназначены механические, гидравлические и газовые перемешивающие устройства. Механические мешалки используют в основном в небольших реакторах, гидравлические мешалки с подвижным или неподвижным соплами — в крупных реакторах, особенно цилиндрической формы. С помощью газовых мешалок в жидкий субстрат нагнетают газ в процессе брожения.

Для подогрева субстрата до температуры брожения и компенсации теплотеря, а также для подогрева воды теплообменника, в двигателе внутреннего сгорания и привода электрогенератора используют биогаз. Отбросную теплоту газового двигателя можно использовать в теплообменнике. Удаляемый из реактора шлам служит источником дополнительной энергии для подогрева загружаемого субстрата и компенсации тепловых потерь в реакторе.

При использовании в качестве субстратов для метанового брожения отходов, содержащих хорошо растворимые органические соединения, цикл ферментации можно сократить с 5 суток до 15 ч.

Для увеличения концентрации метанообразующих бактерий в реакторе и интенсификации метанообразования используют способность микроорганизмов хорошо адсорбироваться на поверхностях твердого тела. В качестве иммобилизующих поверхностей служат стекловолокно, капроновые нитки, активированный уголь и другие материалы, причем выход биогаза увеличивается в два раза. Выделение биогаза интенсифицируют добавлением к свиному навозу отходов переработки зеленой массы, а в случае переработки отходов с большим содержанием соломы, навоза крупного рогатого скота. При наличии в одном комплексе линий фракционирования зеленой массы, химической обработки соломы и биоэнергетической установки можно обеспечить производство сухого белкового концентрата, пригодного для длительного хранения. При комплексной биоконверсии растительного сырья биогаз можно рационально использовать в течение года летом для переработки зеленой массы, зимой для термо-

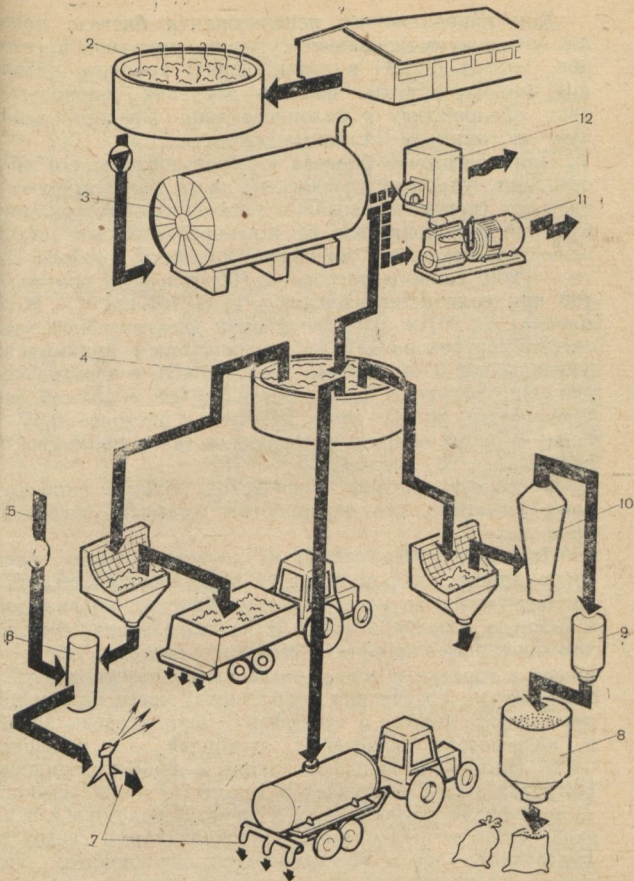


Рис. 22. Схема использования отходов на ферме:

1 — ферма; 2 — навозосборник; 3 — биогазовый реактор; 4 — резервуар отработанного навоза; 5 — водопровод; 6 — смеситель; 7 — машина для внесения удобрений; 8 — загрузочный бункер; 9 — гранулятор; 10 — сушилка; 11 — электрогенератор; 12 — теплогенератор

химической обработки и в тепловых установках. Схема использования отходов на ферме приведена на рисунке 22.



Для рационального использования биогаза проводят его аккумуляцию: суточное, декадное и сезонное. Хранят биогаз в газгольдерах: высокого давления, мокрых и сухих низкого давления колокольного типа, оболочковых и балонного типа низкого давления, а также в складных емкостях.

При подготовке биогаза к использованию его обезсеривают, удаляют углекислый газ, компрессируют и сжигают (при использовании взамен жидкого топлива). Средний выход биогаза из 1 кг органического сухого вещества составляет: из навоза крупного рогатого скота — 200, свиного навоза — 700, птичьего помета — 400 при количестве энергии в 1 м<sup>3</sup> биогаза (~ 60 % метана) 22 МДж. При получении электрической энергии от генератора с газовым двигателем принимается соотношение: 1 м<sup>3</sup> биогаза дает 1,6 кВт·ч электроэнергии. При переводе на газ уменьшается мощность двигателя до 30 % при удельном расходе 0,65 м<sup>3</sup> (кВт·ч) · 1 м<sup>3</sup> биогаза, что соответствует примерно 0,5 кг дизельного топлива.

В совхозе «Истра» Московской области смонтирована установка для переработки отходов животных (рис. 23).

Исходная масса навоза из двухсекционного навозохранилища насосом подается в установку контактного нагрева 2, где нагревается от биогаза, подаваемого в газовую горелку 3 топки 4 из газгольдера. Высокотемпературные продукты сгорания биогаза, образующиеся в горелке и топке, нагнетаются воздуходувкой в слой навоза, интенсивно барботируют через него и выходят через цикладу в атмосферу. Если уровень навоза в нагревателе превышает заданный, то излишняя часть самотеком поступает снова в навозохранилище. Нагретая масса поступает в промежуточную емкость 7, а затем по трубопроводу 9 насосом подается в верхнюю часть метантенка 10. Суточная норма загрузки (выгрузки) навоза обеспечивается специальным устройством, которое в автоматическом режиме управляет работой насосов. В метантенке циркулирует горячая вода температурой 55°C от теплогенератора 12. Периодически весь объем сбрасываемой массы перемешивается мешалкой 11, которая работает и при выгрузке навоза. Сброженный навоз из метантенка по трубопроводу 14 насосом выгружается во вторую секцию хранилища или мобильные транспортные средства.

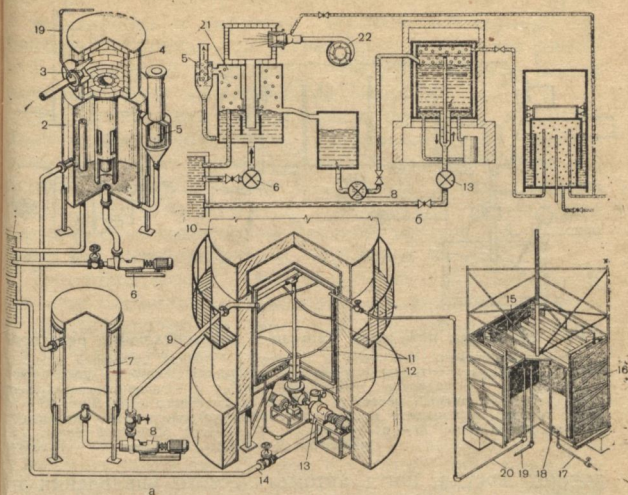


Рис. 23. Схема биогазовой установки:

— конструктивная схема; б — технологическая схема; 1 — резервуар; 2 — установка контактного нагрева; 3 — газовая горелка; 4 — топка; 5 — циклон; — насос для подачи исходного навоза; 7 — промежуточная емкость; 8 — насос для подачи подогретого навоза в метантенк; 9, 14, 17, 18, 19, 20 — трубопроводы; 10 — метантенк; 11 — мешалка; 12 — теплогенератор; 13 — насос для выгрузки навоза; 15 — колпак; 16 — газгольдер

Полученный биогаз по газопроводу 20 поступает в газгольдер 16, который состоит из подвижной и неподвижной емкостей. Подвижная емкость (колпак 15) обеспечивает постоянство давления в камере сбраживания и в линии утилизации биогаза, неподвижная перед запуском заполняется водой по трубопроводу 17. При подъеме колпака 15 до предельного уровня вода сливается по трубопроводу 18. Биогаз по трубопроводу 19 подается в установку контактного нагрева 2 и устройства для утилизации. Вместимость метантенка 18 м<sup>2</sup>, газгольдера — 20 м<sup>3</sup>; производительность по навозу 3 т/сут, по биогазу — 60 м<sup>3</sup>/сут, установленная мощность 53 кВт.

На рисунке 24 приведена схема биогазовой установки с горизонтальным реактором. Реактор АВЕ состоит из реакторного сосуда, смесителя и питающего насоса с общим рабочим циклом, нагревательных элементов, батарей системы водяного отопления реак-



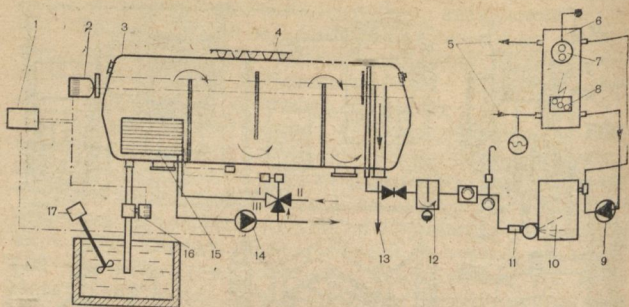


Рис. 24. Схема получения биогаза с горизонтальным реактором:  
 1 — пульт управления смесителя и насоса; 2 — привод смесителя ила; 3 — реакторный сосуд; 4 — теплоизоляция; 5 — контур отопления; 6 — водосборник-аккумулятор; 7 — радиатор технической воды; 8 — электронагревательные элементы; 9 — газовая горелка и комплект предохранительных устройств; 10 — котел центрального отопления; 11 — газовый предохранительный клапан; 12 — автоматический водоотделитель; 13 — выход взвеси; 14 — насос оборотной воды; 15 — радиатор; 16 — насос для взвеси; 17 — смеситель

торного сосуда, щита автоматического управления подачей взвеси и регулирования температуры.

Реактор представляет собой находящийся под давлением сосуд цилиндрической формы вместимостью 170, 120 или 65 м<sup>3</sup>, горизонтально расположенный на двух опорах. Пятая часть объема сосуда предназначена для хранения биогаза, получаемого при переработке, а четыре пятых для переработки массы. Емкость для массы разделена на четыре секции в поперечном направлении относительно направления подачи ила и продольной оси цилиндра.

Котел сообщается с аккумулятором-водосборником вместимостью 2...5 м<sup>3</sup>. В аккумуляторе находится батарея теплой технологической воды.

Работает установка следующим образом. Сырая масса насосом периодически подается в емкость реактора, а оставшаяся после переработки стекает в бассейн для хранения. Реактор оснащен жидкостным затвором, клапаном с электроуправлением для регулирования избыточного давления, люком и смотровым окошком. Теплоизоляция реактора зависит от условий окружающей среды.

Биогаз из верхней части реактора через водоотделитель и комплект предохранительных устройств поступает в газовую горелку. Температуру радиаторов



двигателя регулируют трехходовым клапаном с пульсацией регулировки и датчиком термостата. Помимо использования биогаза на нагрев воды в агрегате двигатель внутреннего сгорания — электрогенератор может вырабатываться электрическая энергия.

Для сокращения потерь тепла метантенк в зимнее время можно использовать как хранилище, а в теплое время для сбраживания. При циклической работе установки, кроме снижения теплопотерь в окружающую среду, повышается степень разложения беззольного органического вещества и увеличивается в 1,8...2 раза выход биологического газа с единицы объема.

Теплогенераторы «Когенераторы» предназначены для использования в тракторах, автомашинах. Составляет теплогенератор из двигателя внутреннего сгорания, работающего на биогазе, генератора и систем утилизации сбросного тепла. Коэффициент использования энергии 90 %. Так, в агрегате, созданном на базе автомобильного двигателя «Жигули», при расходе биогаза 6,1 м<sup>3</sup>/ч (тепловая мощность которого равна 7,8 кВт) получают 15 кВт электрической мощности и 38,1 кВт тепловой мощности при потерях тепловой мощности 4,7 кВт.

На рисунке 25 приведена схема безмоторного насоса, работающего на газе.

В летние месяцы, когда потребление газа промышленностью и населением значительно снижается, частичное использование насоса для нужд орошения является экономически целесообразным. Такие насосы работают на биогазе и жидком топливе.

Принцип действия насоса следующий. Вода из резервуара 1 заполняет через клапаны 3 камеру 2 и частично трубопровод 4. Через клапан К<sub>2</sub> в камеру 2 поступает горючая смесь, которая воспламеняется от запальной свечи. Когда давление газов достигнет величины атмосферного давления, впускной клапан К<sub>2</sub> закрывается, а выпускной клапан К<sub>1</sub> останется закрытым. Вода под давлением газов, а потом по инерции по трубопроводу 4 будет двигаться к резервуару 5. Давление в камере 2 понизится, и вода из резервуара 1 через клапаны 3 будет поступать в камеру 2. При этом обратный клапан К<sub>3</sub> закрыт и препятствует проникновению воздуха в камеру через выпускной клапан К<sub>1</sub>. Клапаны К<sub>1</sub> и К<sub>2</sub> заблокированы таким образом, что открываются поочередно. При понижении давления

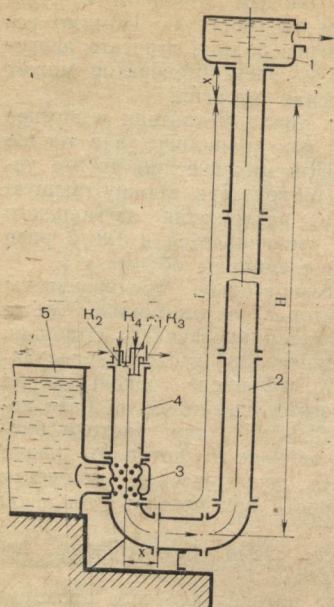


Рис. 25. Схема безмоторного насоса системы Гемфри:

1 — резервуар; 2 — камера; 3 — клапаны; 4 — трубопровод; 5 — резервуар;  $K_1$  — выпускной клапан;  $K_2$  — впускной клапан;  $K_3$  — обратный клапан;  $K_4$  — продувочный клапан

давление понизится, и через клапан  $K_2$  поступит порция рабочей смеси, а через клапаны 3 — вода из резервуара. Когда движение столба жидкости прекратится, камера 2 заполнится горючей смесью и водой. Под действием статического напора столб жидкости изменит направление движения и в камере произойдет сжатие рабочей смеси. При определенном сжатии смесь от системы зажигания воспламеняется. Под давлением продуктов сгорания вода движется в направлении к резервуару 5, и цикл повторяется.

Рабочий процесс в насосе системы Гемфри состоит из четырех тактов: воспламенение рабочей смеси, рас-

открывается продувочный клапан  $K_4$  и верхняя часть камеры 2 заполняется воздухом. Когда кинетическая энергия столба жидкости на подъем будет израсходована, перемещение в трубопроводе прекратится, а затем под действием статического напора и пониженного давления в камере 2 столб жидкости начнет двигаться в обратном направлении. Давление в камере будет увеличиваться, закроются продувочный клапан  $K_4$  и всасывающий клапан  $K_2$ . Продукты сгорания через выпускной клапан  $K_1$  и обратный клапан  $K_3$  будут выбрасываться наружу. Оставшийся в верхней камере воздух будет сжат водой, движение которой прекратится.

Под действием давления сжатого воздуха вода изменит направление движения, т. е. столб вновь будет двигаться к резервуару 5. В камере 2



...ление продуктов сгорания и нагнетание воды; выпуск из рабочей камеры отработавших газов; всасывание рабочей смеси; сжатие рабочей смеси.

С развитием газовой промышленности применение компрессорных насосов значительно упрощается. В настоящее время созданы две конструкции насосов, производительность которых составляет 70 и 350 м<sup>3</sup>/ч при напоре 4...40 м. Более экономичны насосы с небольшим напором (когда волновые процессы в напорном трубопроводе можно не учитывать). Для насосов, расположенных у магистральных газопроводов, приведенные затраты в среднем в три раза ниже, чем у насосных станций с электроприводом. С увеличением мощности станций экономический эффект возрастает.

Поскольку достаточного опыта эксплуатации биогазовых установок еще нет, при экономических расчетах уточняют: потребность энергии на подогрев субстрата; собственные нужды установки; затраты на охрану окружающей среды; возможную удобрительную ценность бишлама, а также нарушение баланса расхода и потребления биогаза. При этом учитывают возможность повышения стоимости энергоносителя, с которым ведется сравнение.

Значительным резервом в получении дополнительной тепловой энергии является использование отходов промышленности. Хотя энергетические ресурсы предприятия в виде тепла охлаждающейся воды, отходов пара, дымовых газов обладают высоким потенциалом, использование их в сельском хозяйстве в ряде случаев затруднено.

Энергия отходящей воды после охлаждения в доменном производстве и тепла шлаков позволяет получить при выплавке 1 т чугуна соответственно 0,419 ГДж и 1 ГДж, а также получить 150 кг пара низкого давления. При выплавке 1 т стали потери тепла с охлаждающей водой составляют 0,92 ГДж, а с отходящими газами 1,81 ГДж, что позволяет получить 500...700 кг пара низкого давления. Для различных нагревательных печей потери тепла с отходящими газами составляют 35...65 % в общем балансе тепла, а удельный расход на 1 т нагреваемого металла достигает 4,9...6,3 ГДж.

Теплую воду целесообразно использовать для обогрева. Обогрев утепленного грунта тепловыми отходами металлургических предприятий в 12...15 раз дешевле



ле строительства зимних теплиц, и в 4...5 раз дешевле строительства парников. Трубы почвенного обогрева для воды с температурой 35...40°C укладываются на глубину 300...400 мм с расстоянием между осями 700...800 мм. При этом создаются оптимальные условия для равномерного прогревания воздуха и почвы в теплице, а также равномерного нагрева стен и кровли.

В качестве теплоносителя на крупных животноводческих фермах используют горячую воду (85 %) и пар низкого давления (12 %). Для потребления тепла отходящих газов у шлама предусматривают теплоаккумулирующие устройства. При орошении раскаленного кокса в специальной сушильной башне он охлаждается с 1000°C до температуры 100°C с расходом воды 3...5 т на 1 т кокса. Паром низкого давления нагревают сетевую воду в бойлере до температуры 90°C для обогрева теплиц и других сооружений.

На нефтеперерабатывающих заводах отходы производства в виде горячей воды и отработанного пара составляют до 60 % тепла сжигаемого топлива. При этом 10 % перерабатываемого топлива расходуется на нагрев нефтепродуктов, которые охлаждаются в конденсаторах водой. Расход воды составляет 200...1200 % от количества перерабатываемого сырья.

Тепло уходящих газов котельных агрегатов тепловых электростанций используют для нагрева воды в экономайзерах, что увеличивает тепловую мощность ТЭЦ без увеличения расхода топлива. При расположении тепловых электростанций вблизи больших водоемов, в которые сбрасывают воду с температурой 30° С, обеспечивается постоянное поступление теплой и свежей воды, что создает благоприятные условия для искусственного разведения рыб.

Расстояние от источников тепла до потребителей при централизованном теплоснабжении не должно превышать 10...15 км. При этом себестоимость тепла зависит от режима работы теплоснабжающей установки, т. е. от степени использования оборудования, а вид теплоносителя зависит от потребителя. Повышение температуры теплоносителя позволяет снизить капитальные затраты и увеличить расстояние транспортирования тепла. При периодической потребности в перегретом паре на технологические нужды его получают, используя перегретую воду, и тем самым исключают местные установки по производству пара. Для эффективного ис-

пользования энергетических отходов применяют однотрубные системы теплоснабжения.

Температура отработавших газов четырехтактных двигателей равна  $375^{\circ}\text{C}$ , двухтактных  $250^{\circ}\text{C}$ . При этом снижение температуры отработавших газов в утилизационных аппаратах ниже  $50^{\circ}\text{C}$  не допускается, так как может произойти конденсация пара, смол и коррозия металла. Выходящую из двигателя охлаждающую воду, предназначенную для обогрева культурационных сооружений, подогревают в утилизационных аппаратах за счет тепла отработавших газов.

Вода от двигателя направляется к теплообменнику, где передает тепло воде второго контура, которая циркулирует в системе теплоиспользования. Температура воды первого контура терморегулятором системы охлаждения регулируется на входе в двигатель. В стационарных двигателях внутреннего сгорания используют умягченную воду.

В конденсационных системах, работающих по прямоточному циклу, воду забирают из открытых водоемов, нагревают в конденсаторах и сбрасывают обратно. При циркуляционном способе воду используют многократно и для охлаждения воды в системе конденсации устраивают водоемы-охладители, или градирни. Поскольку при повышенных температурных режимах происходит сильное зарастание водоема, нарушение циркуляции воды и снижение охлаждающей способности, в водоеме создаются благоприятные условия для развития рыбы.

Тепло промышленных предприятий можно также использовать для получения холода. В состав установки для получения холода входят турбоагрегат, испаритель, нагреватель и конденсатор. При подводе тепла с температурой  $60\text{...}250^{\circ}\text{C}$  в нагревателе происходит испарение холодильного агента. Полученный пар (повышенного давления) поступает в турбину, которая служит приводом компрессора. Отработавший пар поступает в конденсатор. Пары, образовавшиеся при низком давлении в испарителе, засасываются турбокомпрессором и затем, сжимаясь, направляются в конденсатор. Из конденсатора агент поступает для питания испарителя и нагревателя, а потом в циркуляционную систему. В качестве греющего агента используют горячую воду, пар, отработавшие газы и т. п., холодильного агента — фреон.



Отработавшие газы теплотехнического оборудования следует использовать на фермах для охлаждения молока. Схемы теплофикации, рассчитанные на работу от вторичных энергоисточников, снижают капитальные затраты в два-три раза по сравнению со схемами от собственных котельных. Эксплуатационные затраты при выращивании овощей в теплицах при использовании вторичных энергоресурсов снижаются на 20...40 %.

В племзаводе-колхозе «Завет Ильича» Московской области действуют две установки для охлаждения молока с использованием секционного аккумулятора естественного холода вертикального типа. Для охлаждения молока в молочных ваннах предназначен горизонтальный аккумулятор, который является приемником и накопителем естественного холода. В зависимости от температуры окружающего воздуха используют различные способы подачи воды на охлаждение. Эксплуатация установок показала, что ежегодно на одну корову экономится 120 кВт·ч, повышается рентабельность от продажи охлажденного молока и увеличивается ресурс работы холодильных машин.

Автоматизированная система микроклимата «Агро-вент» на базе теплообменников с промежуточным теплоносителем предназначена для создания микроклимата в животноводческих помещениях с высокими тепло-влажновыделениями. Система обеспечивает автоматическое поддержание температурно-влажностного режима, утилизацию тепла, осушение воздуха и нормативные параметры микроклимата в помещении при температуре наружной среды до  $-30^{\circ}\text{C}$  без дополнительного расхода энергии на нагрев приточного воздуха. Система неметаллоемка и имеет высокий коэффициент утилизации тепла, достигающий при низких температурах наружного воздуха 70...75 %.

Комплект оборудования «Агровент» состоит из унифицированных вентиляционных установок с утилизацией тепла, количество которых определяется объемом помещений и поголовьем животных. Каждая установка включает приточный и вытяжной вентиляторы, теплообменник, промежуточный теплоноситель которого переносит тепло из удаляемого воздуха в приточный, а также частично изолированный корпус, выполненный из пластика и стекловолокна. В устройстве предусмотрена самоочистка вытяжной батареи теплообменника от пы-



ли. Воздухообмен помещения осуществляется без воздухопроводов, не требуется применения дополнительных подогревателей приточного воздуха при температуре наружного воздуха до  $-30^{\circ}\text{C}$ . Установка легко монтируется в стенах или оконных проемах помещений.

Одна установка обслуживает зону размещения до 35 коров. Для коровника на 200 голов система, состоящая из шести установок, обеспечивает приточно-вытяжную вентиляцию и температуру в помещении  $+15^{\circ}\text{C}$  при наружной температуре воздуха  $-30^{\circ}\text{C}$ . При этом для условий Московской области экономится до 510 тыс. кВт·ч/год на одном коровнике. Повышение температуры внутри помещения и понижение влажности уменьшают тепловыделение животных и расходы кормов, удлиняют срок службы здания и технологического оборудования, улучшают условия для животных и обслуживающего персонала.

В страны—члены СЭВ комбинат «ИЛКА» ГДР представляет оборудование для энергосбережения в сельском хозяйстве. Пластинчатые рекуперативные теплообменники «ИЛКА» предназначены для рекуперации тепла и холода из удаляемого воздуха. В пластинчатых рекуперативных теплообменниках, в которых разделяются воздушные потоки, исключается обмен запахами, происходит незначительная потеря давления. Теплообменные пластины расположены с интервалом. Энергия передается через пластины, расположенные вертикально.

Тепловые насосы можно использовать для утилизации вторичной энергии низкой температуры и использования энергии окружающей среды, в том числе сточных вод с температурой  $18^{\circ}\text{C}$ .

Тепловой насос, имея высокий коэффициент преобразования энергии, за счет использования низкопотенциального тепла окружающей среды на ферме (вентиляционных выбросов, технологических отходов и др.) обеспечивает выработку на 1 кВт·ч затраченной энергии втрое большее количество тепла (10 800 кДж) и одновременно до 5000 кДж искусственного холода.

Применение на молочной ферме на 1000 голов теплонасосной установки на 75 кВт позволит сэкономить в год около 100 т природного топлива и 350 000 кВт·ч электроэнергии.

Малый тепловой насос «ИЛКА» имеет номинальную производительность по нагреву 12 кВт. Значения тем-

пературы источника тепла от  $-15$  до  $+25^{\circ}\text{C}$ . Это позволяет эксплуатировать агрегат круглогодично, независимо от температуры окружающей среды. В качестве источника энергии используют тепло грунтовых и поверхностных вод, геотермальное тепло, солнечное излучение и отходящее тепло производства.

Один насос полностью снабжает теплом помещение площадью  $150\text{ м}^2$ . При эксплуатации теплового насоса отсутствует загрязнение окружающей среды, на  $\frac{2}{3}$  снижается расход электроэнергии, в течение всего года обеспечивается автоматизация выходных параметров.

## Использование низкопотенциальной гидравлической энергии и тепла земли

Большое количество мелких рек и ручьев, самонизливающихся скважин создает условия для использования гидравлической энергии в сельскохозяйственном производстве. В то же время излишний напор можно было бы использовать для выработки электрической энергии. Таким образом может вырабатываться электрическая энергия на магистральных водопроводах. Газ из магистральных газопроводов, расположенных в зонах пастбищ, можно использовать для подъема воды в безмоторных насосах без промежуточной выработки электрической энергии.

Для подачи воды из открытых водоисточников служат гидравлические тараны (рис. 26).

Работа гидравлического тарана основана на использовании явлений, протекающих при гидравлическом ударе в трубопроводе. При этом используется энергия движущейся с некоторым перепадом воды. Установка состоит из питательной трубы, ударного клапана, нагнетательного клапана, воздушного колпака, напорного трубопровода.

Работает водоподъемник следующим образом. Вода из источника по питательной трубе поступает в воздуш-

## Содержание

Основные направления использования возобновляющихся источников энергии	5
Использование возобновляющихся источников энергии в сельском хозяйстве	8
Солнечные установки	19
Ветроэнергетические установки	66
Установки для преобразования отходов производства в энергию	92
Использование низкопотенциальной гидравлической энергии и тепла земли	110
Приложение	124