

Ветроэнергетические установки (ВЭУ)

Цель работы: изучить устройство и принцип действия ветроэнергетических установок.

Порядок выполнения работы:

- 1) изучить назначение, классификацию, устройство и принцип действия ВЭУ;
- 2) составить отчет о выполненной работе.

Общие сведения

Энергия ветра может быть использована в следующих целях:

- водоснабжение и электроснабжение индивидуальных хозяйств;
- водоснабжение животноводческих ферм и пастбищ.

Первичным и основным рабочим органом ВЭУ, непосредственно принимающим на себя энергию ветра и, как правило, преобразующим ее в кинетическую энергию своего вращения, является ветроколесо.

Вращение ветроколеса под действием ветра обуславливается тем, что в принципе на любое тело, обтекаемое потоком газа, действует сила F , которую можно разложить на две составляющие: 1 – вдоль скорости набегающего потока, называемую силой лобового сопротивления F_C , и 2 – в направлении, перпендикулярном скорости набегающего потока, называемую подъемной силой F_{Π} (рис. 3.1).

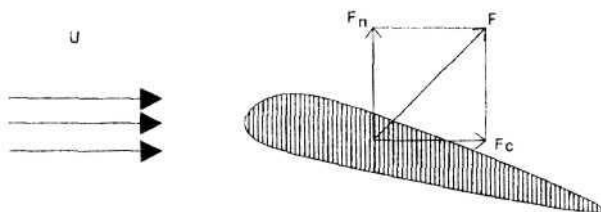


Рис. 3.1. Силы, действующие на тело, обтекаемое потоком газа:
 U – скорость газового потока; F_C – сила лобового сопротивления;
 F_{Π} – подъемная сила; F – результирующая сила

Величины этих сил зависят от формы тела, ориентации его в потоке газа и от скорости газа. Действием этих сил рабочий орган ветроустановки (ветроколесо) приводится во вращение.

Ветроустановки классифицируются по двум основным признакам: геометрии ветроколеса и его положению относительно направления ветра (рис. 3.2 и 3.3).

Если ось вращения ветроколеса параллельна воздушному потоку, то установка называется горизонтально-осевой, если перпендикулярна – вертикально-осевой.

Установки, использующие силу лобового сопротивления (драг - машины), как правило, вращаются с линейной скоростью, меньшей скорости ветра, а установки, использующие подъемную силу (лифт - машины), имеют линейную скорость концов лопастей, существенно большую скорости ветра.

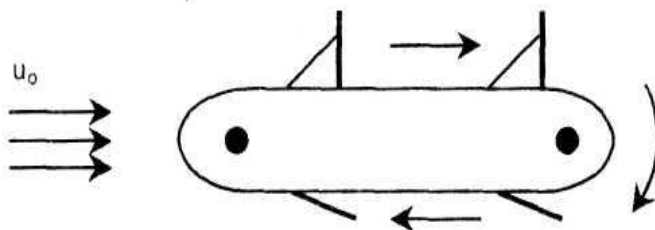


Рис. 3.2. Принципиальная схема ветроустановки, использующей силу лобового сопротивления и состоящей из укрепленных на перемещающемся ремне откидывающихся пластин

Каждое ветроколесо характеризуется:

–ометаемой площадью S , т.е. площадью, покрываемой его лопастями при вращении и равной $S = \pi D^2/4$, где D – диаметр ветроколеса;

–геометрическим заполнением, равным отношению площади проекции лопастей на плоскость, перпендикулярную потоку, к ометаемой площади (так, например, при одинаковых лопастях четырехлопастное колесо имеет вдвое большее геометрическое заполнение, чем двухлопастное);

–коэффициентом мощности C_p , характеризующим эффективность использования ветроколесом энергии ветрового потока и зависящим от конструкции ветроколеса;

–коэффициентом быстротходности Z , представляющим собой отношение скорости конца лопасти к скорости ветра.

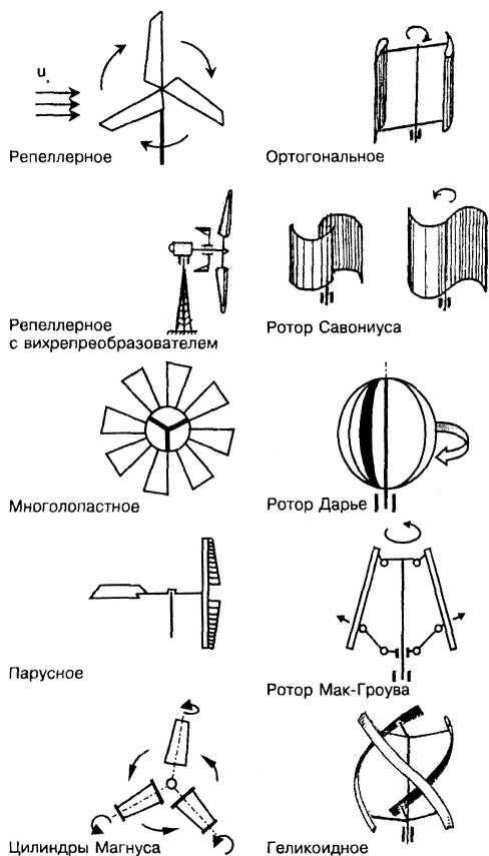


Рис. 3.3. Классификация ветроколес
(левый столбец – ветроколеса с горизонтальной осью, правый – с вертикальной)

Для применения на ВЭУ возможны следующие типы генераторов:

- 1) асинхронные генераторы с к.з. ротором;
- 2) синхронные генераторы с электромагнитным возбуждением;
- 3) асинхронизированный синхронный генератор;
- 4) асинхронные генераторы с фазным ротором;
- 5) синхронные генераторы (СГ) с магнитоэлектрическим возбуждением, т.е. с возбуждением от постоянных магнитов.

На территории республики выявлено 1840 площадок для размещения ветроустановок с теоретически возможным энергетическим потенциалом 1600 МВт и годовой выработкой электроэнергии 6,5 млрд. кВт·ч. Технически возможное и экономически целесообразное использование потенциала ветра не превысит 5% от установленной мощности электростанций энергосистемы и может составить 300 – 350 МВт (1,0 – 1,5 млрд. кВт·ч).

При правильном выборе места установки ветроагрегата (на возвышенностях открытой местности, на берегах водных массивов и т.п.) среднегодовая скорость ветра может достигать 6–7 м/с.

Наиболее эффективно можно применять ВЭУ на возвышенностях большей части севера и северо-запада Беларуси и в центральной части Минской области, включая прилегающие к ней районы с запада.

Расчеты, выполненные специалистами НАН РБ показали, что энергия ветра позволит ежегодно производить 6,6-7 млрд. кВт ч, что эквивалентно использованию около 2 млн. т у.т. в год.

В настоящий момент на территории Беларуси действует 23 ветроустановки. ВЭУ установлены в Гродненской, Минской, Витебской, Могилевской областях.

Самая крупная ветроэнергетическая установка в Беларуси действует в посёлке Грабники, Новогрудского района, Гродненской области: её мощность составляет 1,5 МВт. Ветряк под Новогрудком до сих пор остается самым большим и мощным в Беларуси, а также единственным государственным.

По заверениям специалистов ветроустановки окупятся в течении пяти лет при среднегодовой скорости 6–8 м/с.

Методика выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией и техническими характеристиками ветроэнергетических установок.
2. Согласно выбранного варианта (табл. 3.1) провести расчет.
3. Определить суточную выработку ВЭУ и определить количество человек обеспеченное в течении суток электроэнергией.

Таблица 3.1. Данные для расчетов

| Параметры | Варианты | | | | | | | | | |
|-----------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| U, м/с | 6 | 6,1 | 6,2 | 6,3 | 6,4 | 6,5 | 6,6 | 6,7 | 6,8 | 6,9 |
| D, м | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 13 |

При скорости ветра U и плотности воздуха ветроколесо с ометаемой площадью S развивает мощность, (Bm)

$$P = C_p S \rho U^3 / 2, \quad (3.1)$$

где U – скорость ветра (равна от 6 до 7 м/с);

S – ометаемая площадь, т.е. площадь покрываемая его лопастями при вращении;

C_p – коэффициент мощности, характеризующим эффективность использования ветроколесом энергии ветрового потока и зависящим от конструкции ветроколеса (0,25);

ρ – плотность воздуха (1 кг/м³).

Ометаемая площадь определяется по формуле, (m^2)

$$S = \pi D^2 / 4, \quad (3.2)$$

где D – диаметр ветроколеса.

Количество электроэнергии, получаемой с помощью ветроустановки, рассчитывается по формуле, ($kBm \cdot ч$)

$$W = P t, \quad (3.3)$$

где t – среднее время работы с установленной мощностью (18 ч).

Количество электроэнергии, которая необходима для нормального существования 1 человека в течение суток принимается в среднем равной 4 кВт·ч.

Содержание отчета

1. Цель работы;
2. Основные технические характеристики ВЭУ;
3. Ветроэнергетических потенциал Республики Беларусь;
4. Расчетные формулы;
5. Результаты расчетов.

Контрольные вопросы

1. На какие типы классифицируются ветроколеса?
2. Как влияет место установки ВЭУ на мощность?
3. Какие основные недостатки ВЭУ?
4. Из каких элементов состоит ВЭУ?
5. Перспективы использования ВЭУ в Беларуси?

Биогазовые установки

Цель работы: изучить устройство и принцип действия биогазовой установки.

Порядок выполнения работы:

- 1) изучить назначение, классификацию, устройство и принцип действия биогазовой установки;
- 2) составить отчет о выполненной работе.

Общие сведения

Биомасса по способу получения подразделяется на следующие группы:

– продукты естественной вегетации (древесина и отходы ее переработки). В Беларуси примерно $\frac{1}{3}$ территории покрыта лесами, кустарниками и прочими насаждениями. При правильном использовании древесины и древесных отходов и быстрорастущих древесных насаждений может быть покрыто до 15% потребности в топливе;

– отходы жизнедеятельности людей (твердые бытовые отходы и др.) перерабатываются на мусороперерабатывающих предприятиях, сконцентрированных главным образом около крупных городов. Процесс переработки заключается в сортировке, кондиционировании и сжигании с получением тепловой энергии;

– отходы сельскохозяйственного производства (навоз, помет, ботва и др.) нуждаются в переработке не только с целью получения энергии (биогаз), но и для их обеззараживания, получения качественных органических удобрений, предотвращения загрязнения окружающей среды;

– специально выращенные агрокультуры (водоросли ламинария, макроцистис, эхлония) рассматриваются как источник продуктов питания, сырья для промышленности, газообразного топлива – метана или жидких веществ, похожих на нефть. Общее количество энергии, содержащейся в водорослях, составляет 25% от количества энергии в таком же количестве нефти;

– использование сахарного тростника для производства автомобильного топлива практикуется в Южной Америке. Более 10% автомобилей в Бразилии заправляются этиловым спиртом. Доказана

перспективность использования рапсового масла для использования в качестве добавки к дизельному топливу.

Получение биогаза. При производстве 1 кг молока образуется 5 кг навоза, при производстве 1 кг говядины – 25 кг навоза. Сбраживание осуществляется несколькими видами бактерий, в результате из 1 м³ навоза можно получить 5 – 15 м³ газа.

Отходы животноводства и птицеводства являются ценным энергетическим сырьем, на базе которого в специальных установках (рис. 4.1) может быть произведен биогаз с теплотой сгорания 5500 ккал/кг (23045 кДж/кг). Состав биогаза следующий: метан – 55 – 80%, углекислый газ – 20 – 45%, сероводород – 1 – 1,3%. Энергосодержание 1 м³ эквивалентно 0,72 кг дизтоплива, 0,62 м³ природного газа или 1 кг каменного угля.

Навоз на фермах транспортируется в сборники, откуда с помощью помпы поступает в реактор. Если одновременно в процессе участвует несколько хозяйств, то сырье с ферм поставляется на грузовиках. Растительные отходы тоже доставляются на грузовиках, перемещаются в закрытые сборники, дробятся и смешиваются с навозом.

Жидкие биологические отходы перекачиваются на биогазовую установку с помощью насосов, предварительно попадая в емкость, в которой масса гомогенизируется и подогревается до нужных температур, иногда охлаждается. Доставка твердых отходов осуществляется по транспортерной ленте, на грузовой технике или другим способом. Их могут добавлять к жидкой массе, смешивая с ней, или помещать в шнековый загрузчик.

Гомогенизация с навозом идет в реакторе-ферментаторе, оборудованном мощными мешалками. Реактором называется герметичный резервуар, изготовленный из стали или кислотостойкого железобетона, теплоизоляционный для поддержания фиксированной температуры с целью оптимизации условий сбраживания отходов благодаря жизнедеятельности микроорганизмов. В реактор бактерии вводят единожды, только при первом запуске, путем введения концентратов, добавления свежего навоза или части биомассы с другого реактора. Для перемешивания биомассы в крышке аппарата располагают наклонные миксеры или устраивают погруженные мешалки, тем самым устраняя причины появления осадка и плавающих слоев. Материалом всех перемешивающих устройств служит нержавеющая сталь. В отдельных случаях отходы перемешиваются не механически, а гидравлически, когда масса подается насосами по трубкам в среду обитания бактерий. Навоз животных – первостепенный источник микробов. Но эти микроорга-

низмы не приносят вреда, и в силу герметичности системы реакторы могут размещать вблизи от ферм.

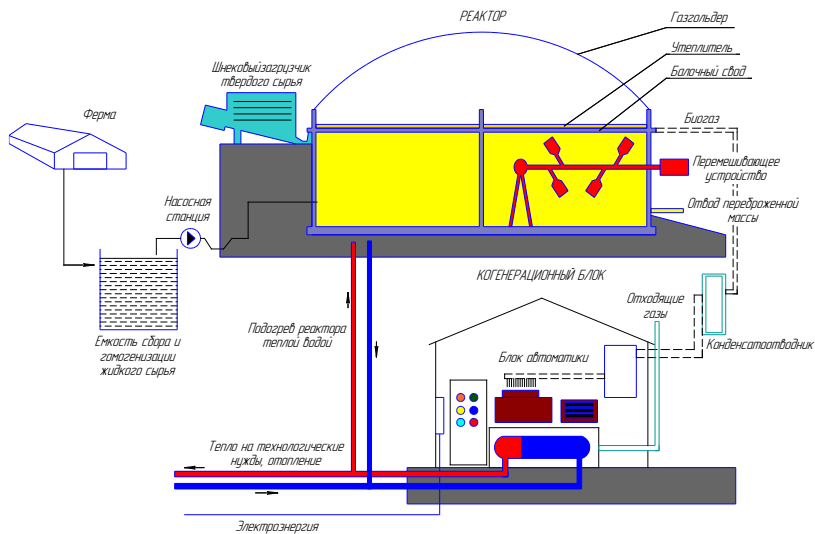


Рис. 4.1. Схема работы биогазовой установки

Реактор подогревается теплой водой. На входе в реактор температура воды должна быть $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, после реактора – около $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Системой подогрева является сеть трубок внутри стенок реактора либо на их внутренней стороне. Если биогазовая установка комплектуется когенерационной установкой, то оставшейся при охлаждении генератора рециркуляционной водой ($90\text{ }^{\circ}\text{C}$) подогревают реактор, изначально доведя ее до нужного уровня ($60\text{ }^{\circ}\text{C}$). В сезон зимы для функционирования биогазовой установки требуется до 70% вторичного тепла, выделенного теплоэлектрогенератором, летом – всего 10% . Если биогазовую установку эксплуатируют только с целью получения газа, теплая вода берется из водогрейного котла.

Процесс гидравлического отстаивания в реакторе в зависимости от субстратов длится по-разному: от 20 до 40 дней. Полученный биогаз или компостированный субстрат далее складировается в танкере для хранения удобрения. Биогаз хранится в специально предназначенной для этого емкости – газгольдере, где выравнивается его состав и давление. Газгольдер дополнительно накрывается тентом, между ними образуется некое пространство, куда закачивается воздух, создавая

давление и теплоизоляцию. В отдельных случаях газгольдер представляет собой многокамерный мешок, который крепится либо поверх бетонного свода ремнями, либо в отведенной бетонной емкости. Затем происходит непрерывное движение газа в газовый или дизель-газовый двигатель. Полученный газ преобразуется в тепло или электричество. Обеспечивая безопасность, крупные биогазовые установки оснащают блоками аварийности на тот случай, если двигатель выходит из строя, а газ нужно сжечь. Газовая система может быть оснащена конденсатоотводчиком, десульфулизатором, вентилятором и др. Работа биогазовой установки протекает с помощью средств контроля и автоматизации.

Вся система полностью автоматизирована. С помощью автоматики контролируется деятельность насосной станции, системы подогрева, мешалок, генератора. Для управления хватит одного человека на пару часов в день, который будет вести наблюдение с компьютера.

Общий потенциал потребления полученного в качестве топлива биогаза с использованием стоков канализационно-насосных станций составляет около 66,4 млн. м³ (53,1 тыс. т) с расчетной установленной электрической мощностью когенерационных установок около 22 МВт.

На данный момент введена в эксплуатацию самая мощная в Беларуси и вторая по мощности в Европе биогазовая установка в СПК «Рассвет» Могилевской области.

Её мощность составляет 4,8 Мвт, мощность же самого крупного биогазового комплекса в Пенкуне (Германия) составляет 20 МВт.

Методика выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией и техническими характеристиками биогазовых установок.
2. Согласно выбранного варианта (табл. 4.1) провести расчет.
3. Определить суточную выработку биогазовой установки.

Таблица 4.1. Данные для расчетов

| Параметры | Варианты | | | | | | | | | |
|---------------|----------|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Поголовье КРС | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 |

Общие данные. Способ содержания животных беспривязно-боксовый. Условия работы установки: мезофильное брожение с температурой процесса 32°C, продолжительность процесса 20 суток, загрузка навоза непрерывная с ежедневной заменой 1/15 сбраживаемой

массы. Метантенк бетонный, с толщиной стенок 0,15 м, цилиндрический. Теплоизоляция - шлакобетон (0,3 м), шлаковая засыпка (0,5 м) и земляной вал (1 м). Сбраживаемая масса до температуры процесса нагревается за счет водяных теплообменников. Перемешивание массы механическое за счет электрического привода.

Для расчёта основных параметров биогазовой установки необходимо найти значения следующих показателей

1. Суточный выход экскрементов, (кг)

$$m_{\text{сутэк}} = N_{\text{ж}} \cdot m_{\text{уд}}, \quad (4.1)$$

где $N_{\text{ж}}$ – количество животных, гол;

$m_{\text{уд}}$ – удельный выход экскрементов в сутки, для КРС 50 кг.

Если навоз загружается с подстилкой, необходимо применять поправочный коэффициент K , учитывающий органическую массу подстилки. Тогда

$$m'_{\text{сутэк}} = m_{\text{сутэк}} \cdot K, \quad (4.2)$$

2. Определяют долю сухого вещества (СВ) в загружаемом материале, (кг)

$$m_{\text{св}} = m_{\text{сутэк}} \cdot \left[1 - \frac{W_{\text{эк}}}{100} \right], \quad (4.3)$$

где $W_{\text{эк}}$ – влажность массы экскрементов, %.

В расчетах можно принять, что средняя влажность навоза КРС составляет 85...90%.

3. Определяют долю сухого органического вещества (СОВ) в навозе, (кг)

$$m_{\text{сов}} = m_{\text{св}} \cdot \frac{P_{\text{сов}}}{100}, \quad (4.4)$$

где $P_{\text{сов}}$ – доля СОВ в сухом веществе навоза, для дойных коров равна 80%.

4. Определяют выход биогаза при полном разложении СОВ навоза, (м^3)

$$V_{\text{пол}} = n_{\text{эк}} \cdot m_{\text{сов}}, \quad (4.5)$$

где $n_{эк}$ – выход биогаза из 1 кг СОВ различного исходного материала, м³/кг. Для навоза КРС выход газа, отнесённый к массе составляет 0,315 м³/кг.

5. Определяют объем полученного биогаза при выбранной продолжительности метанового брожения, (м³)

$$V_{б} = V_{пол} \cdot \frac{n_t}{100}, \quad (4.6)$$

где n_t – доля выхода биогаза от исходного материала при данной продолжительности метанового процесса – 40 %.

6. Если объем метантенка предварительно не определен, то расчет продолжается в следующем направлении.

Находят объем метантенка, (м³)

$$V_M = \frac{m_{св}}{n_v}, \quad (4.7)$$

где n_v – рекомендуемый объем загрузки СВ в сутки, 6 кг/м³.

Объем метантенка V_M необходимо согласовывать с объемом полной загрузки, (м³)

$$V_{полз} = \frac{m_{сутэк} \cdot t_{сут}}{\rho_n}, \quad (4.8)$$

где $m_{сутэк}$ – суточная загрузка метантенка, кг/сут;

$t_{сут}$ – продолжительность процесса брожения, для КРС 20 суток;

ρ_n – удельная плотность сбраживаемой массы, кг/м³.

Удельную плотность навоза можно считать равной удельной плотности воды (1000 кг/м³), так как влажность навоза обычно более 90%.

Если $V_{полз} \ll V_M$, то значительная часть метантенка использоваться не будет. Метантенк – наиболее капиталоемкий элемент биогазовой установки, и понятно, что такой вариант экономически будет проигрывать.

При $V_{полз} = V_M$ могут возникнуть проблемы со сбором биогаза, так как пена, образующаяся в процессе брожения, будет забивать канал сбора биогаза. Желательно, чтобы соотношение $V_{полз} / V_M$ составляло 1,1...1,3.

Если собираются применять стандартный метантенк, то останавливаются на ближайшем большем его объеме; для индивидуального метантенка проводят соответствующие расчеты. Рекомендуется выбирать метантенк цилиндрической формы. Для удобства сбора шлама и биогаза верхнюю и нижнюю части метантенка выполняют в виде усеченного конуса с горловиной в верхней части. Определяется способ перемешивания сбраживаемой массы (механическое перемешивание, барботаж).

Далее проводится тепловой расчет метантенка

6. Количество теплоты, необходимое для подогрева загружаемой массы до температуры брожения в сутки, (МДж)

$$Q_{под} = t_{сут} \cdot C_c \cdot (T_{пр} - T_{заг}) \frac{1}{\eta}, \quad (4.9)$$

где C_c – средняя теплоемкость субстрата, МДж/кг·°К;

$T_{пр}$ – температура процесса брожения, °К;

$T_{заг}$ – температура загружаемого субстрата, °К;

η – коэффициент полезного действия процесса;

Температура загружаемой массы зависит от способа загрузки навоза в метантенк: если масса поступает непосредственно из животноводческого помещения, то температура ее будет такой же, как внутри помещения; если массу берут из навозохранилища, то ее температура зависит от наружного воздуха. Для расчетов можно принять $T_{заг}=288^\circ\text{К}$, среднюю теплоемкость навоза $4,18 \cdot 10^{-3}$ МДж/кг·°К, коэффициент полезного действия процесса – 0,7.

7. Количество теплоты, теряемое субстратом в процессе теплоотдачи через стенку реактора в окружающую среду за час, (МДж)

$$Q_{пот} = \frac{1}{0,278} \cdot k \cdot F \cdot (T_{пр} - T_{сред}), \quad (4.10)$$

где k – коэффициент теплоотдачи, принимаем равным $0,3 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°К}$;

$T_{сред}$ – температура окружающего воздуха, °К;

F – площадь поверхности теплообмена метантенка, м²;

9 Определяют затраты энергии на перемешивание биомассы $Q_{мех}$. На основании экспериментальных данных затраты энергии на перемешивание механическими мешалками можно принять равными 30...60 Вт/м³ при режиме 4 ч работы и 7 ч паузы.

Учитывая время протекания процесса получим, что мешалка работает 100 часов. Тогда, механические потери можно определить по формуле, (МДж)

$$Q_{\text{мех}} = \frac{1}{0,278} \cdot 100 \cdot V_{\text{полз}}, \quad (4.11)$$

10. Общие затраты энергии на поддержание процесса в сутки, (МДж)

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{под}} + Q_{\text{пот}} + Q_{\text{мех}}, \quad (4.12)$$

11. Потенциальные запасы энергии биогаза, выработанного в сутки, (МДж)

$$Q_{\text{выр}} = V_{\text{б}} \cdot C_{\text{б}}, \quad (4.13)$$

где $C_{\text{б}}$ – теплотворная способность биогаза, 23 МДж/м³.

12. Энергетический эффект установки, (МДж)

$$\mathcal{E}_{\text{б}} = Q_{\text{выр}} - Q_{\text{общ}}, \quad (4.14)$$

13. Коэффициент товарности биогазовой установки

$$K_{\text{тов}} = \frac{Q_{\text{выр}} - Q_{\text{общ}}}{Q_{\text{выр}}} \cdot 100\%, \quad (4.15)$$

Содержание отчета

1. Цель работы;
2. Основные технические характеристики биогазовых установок;
3. Схема биогазовой установки (рис. 4.1);
4. Расчетные формулы;
5. Результаты расчетов.

Контрольные вопросы

1. Какие бывают способы сбраживания сырья в биогазовых установках?
2. Достоинства и недостатки биогазовых установок?
3. Биогазовый потенциал Республики Беларусь.
4. Анализ проведенных расчетов.