

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКАЯ ОРДЕНА «ЗНАК ПОЧЕТА» ГОСУДАРСТВЕННАЯ
АКАДЕМИЯ ВЕТЕРИНАРНОЙ МЕДИЦИНЫ»

И. В. Пилецкий, А. В. Гончаров, А. М. Карпеня

**БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
ЧЕЛОВЕКА.
БИОГАЗОВЫЕ И
ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ**

Учебно-методическое пособие

для студентов по специальностям:
«Ветеринарная медицина»,
«Ветеринарная санитария и экспертиза»,
«Ветеринарная фармация»

Витебск
ВГАВМ
2023

УДК 631.158:658.382.3

ББК 65.9(2)248

ПЗ2

Рекомендовано к изданию методическими комиссиями факультета ветеринарной медицины и биотехнологического факультета УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины» от 21.03.2023 г. (протокол № 3) и от 24.03.2023 г. (протокол № 3)

Авторы:

кандидат технических наук, доцент *И. В. Пилецкий*;

кандидат технических наук, доцент *А. В. Гончаров*;

кандидат технических наук, доцент *А. М. Карпеня*

Рецензенты:

кандидат ветеринарных наук, доцент *А. М. Курилович*;

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *В. В. Линьков*

Пилецкий, И. В.

ПЗ2 Безопасность жизнедеятельности человека. Биогазовые и ветроэнергетические установки : учеб.-метод. пособие для студентов по специальностям: «Ветеринарная медицина», «Ветеринарная санитария и экспертиза», «Ветеринарная фармация» / И. В. Пилецкий, А. В. Гончаров, А. М. Карпеня. – Витебск : ВГАВМ, 2023. – 32 с.

Учебно-методическое пособие подготовлено в соответствии с учебной программой для проведения практических занятий по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности человека» для студентов высших с.-х. учебных заведений по специальностям: 7-07-0841-01 «Ветеринарная медицина», 6-05-0841-01 «Ветеринарная санитария и экспертиза», 6-05-0841-02 «Ветеринарная фармация».

В пособии изложены основные сведения о назначении, устройстве и принципе работы биогазовых и ветроэнергетических установок.

УДК 631.158:658.382.3

ББК 65.9(2)248

© УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕМА: НАЗНАЧЕНИЕ, УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК	4
1. Теоретические сведения по теме	4
1.1. Условия анаэробного брожения биомассы	4
1.2. Особенности получения биогаза	5
2. Практические сведения по теме	6
2.1. Использование биогазовых установок	6
2.2. Устройство и принцип работы биогазовых установок	8
2.3. Расчет размера метантенка (реактора) биогазовой установки	12
ТЕМА: НАЗНАЧЕНИЕ, УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	15
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ	15
1.1. Особенности использования энергии ветра	15
1.2. Характеристики ветрового потока	16
2. ПРАКТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ	19
2.1. Преобразование энергии ветра с помощью ВЭУ	19
2.2. Конструктивные элементы ВЭУ	20
2.2.1. Основные и дополнительные компоненты ВЭУ	20
2.2.2. Особенности работы ветроэнергетических установок	21
2.2.3. Конструктивные особенности ветрогенераторов	24
2.2.4. Расчет мощности ветрогенератора	26
ПРИЛОЖЕНИЯ	30

ТЕМА: НАЗНАЧЕНИЕ, УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

Цель занятия:

- изучить назначение, устройство и принцип действия основных узлов и вспомогательных элементов биогазовых установок;
- получить практические навыки по расчету размеров метантенка биогазовой установки.

Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретические сведения по теме:
 - 1.1. Условия анаэробного брожения биомассы.
 - 1.2. Экологические особенности получения биогаза.
 - 1.3. Использование биогазовых установок.
 - 1.4. Устройство и принцип работы биогазовых установок.
2. Приобрести практические навыки по расчету биогазовых установок:
 - 2.1. Методика расчета размера метантенка биогазовой установки.
 - 2.2. Согласно выданному преподавателем индивидуальному заданию рассчитать размеры метантенка биогазовой установки.
3. Составить отчет по занятию.

Место проведения: аудитория для практических занятий.

Время выполнения задания – 2 часа.

Теоретические сведения по теме

1.1. Условия анаэробного брожения биомассы

Биомассой принято называть совокупную массу растительных, животных и прочих организмов, присутствующих в экосистеме. Биогаз – это продукт анаэробного разложения (без доступа кислорода) метановыми бактериями веществ растительного и животного происхождения. Основным сырьем для получения биогаза является навоз, птичий помет, кукуруза, трава, овощные отходы. Биогаз состоит из метана (65%), углекислого газа (30%), водорода (1%) и небольшого количества азота, кислорода. 1 м³ биогаза по теплоте эквивалентен 4 кВт/час электроэнергии, 3,5 кг дров, 1,5 кг каменного угля.

Выделяют три режима анаэробного процесса в зависимости от температуры и времени брожения, при котором эффективность действия метановых бактерий наиболее высока:

- психрофильный – около 20-25 °С (40-30 суток);
- мезофильный – 30-35 °С (20-10 суток);
- термофильный – 50-60 °С (8-3 суток).

В теплое время года (при уровне температур 15-25 °С) развивается психрофильная группа метановых бактерий. Примером психрофильного брожения может служить разложение биомассы в трясине болот с образованием «болотного газа», который есть не что иное, как биогаз.

При среднем уровне температур 30-35 °С развивается мезофильная группа бактерий. Оптимальным считается значение температуры 32-34 °С.

Высокий (50–60 °С) уровень температур обуславливает термофильное брожение. Оптимальной здесь считается температура в пределах 52-55 °С.

Мезофильное и термофильное брожение не может идти без дополнительных затрат энергии на поддержание заданной температуры процесса. Анаэробные бактерии очень чувствительны как к величине, так и резкому изменению температуры. Повышение температуры приводит к увеличению скорости выхода биогаза, следовательно, к уменьшению времени полного разложения биомассы. Так, увеличение температуры процесса на 5 °С удваивает скорость выхода биогаза.

При анаэробном метановом сбраживании навоза решаются три важные задачи. Первая состоит в том, что производится хороший энергоноситель – биогаз. Второй полезный эффект – экологический, заключается в том, что после анаэробной обработки получается высокоэффективное органическое удобрение повышенной биологической активности. В сброженной массе обезвреживаются семена сорняков и ликвидируются болезнетворные микроорганизмы. Третий выигрыш – экономический, получение дешевого топлива и органического удобрения дает экономию материальных ресурсов.

1.2. Особенности получения биогаза

Проведенные учеными исследования показывают, что на производство продуктов питания приходится 26% от всех мировых выбросов парниковых газов. По расчетам Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO) на животноводство приходится 14,5% от всех мировых парниковых газов. Метан среди парниковых газов занимает второе место после CO₂ по степени влияния на тепловой баланс Земли. Полное время жизни метана в соответствии с данными Шестого оценочного доклада МГЭИК составляет 9,7±1,1 года. Но, несмотря на сравнительно короткий период жизни и небольшую концентрацию в сравнении с углекислым газом, эффект от метана примерно в 25 раз сильнее.

Развитие животноводства сопряжено с серьезной проблемой – утилизация отходов ферм. На животноводческих фермах загрязнение атмосферы происходит от двух источников. Первым источником загрязнения является кишечная ферментация животных, в результате которой в атмосферу поступает метан (CH₄). Вторым источником выбросов метана и закиси азота (N₂O) являются системы уборки и хранения биомассы.

Метан образуется в результате разложения биомассы. Это могут быть животноводческие и птицеводческие фермы при ее хранении или в результате переработки системами, создающими анаэробные условия. Оборудование для биогазовой установки вырабатывает биогаз и биоудобрения из органических отходов аграрного хозяйства путем бескислородного брожения (рисунок 1).

Биогазовые конструкции для производства биогаза служат не только альтернативным источником энергии, но и как станции утилизации навоза

(помета) и изготовления недорогого удобрения как для фермерских хозяйств, так и для сельскохозяйственных организаций. Следует отметить, что станции по изготовлению биогаза уместны там, где достаточно сырья.

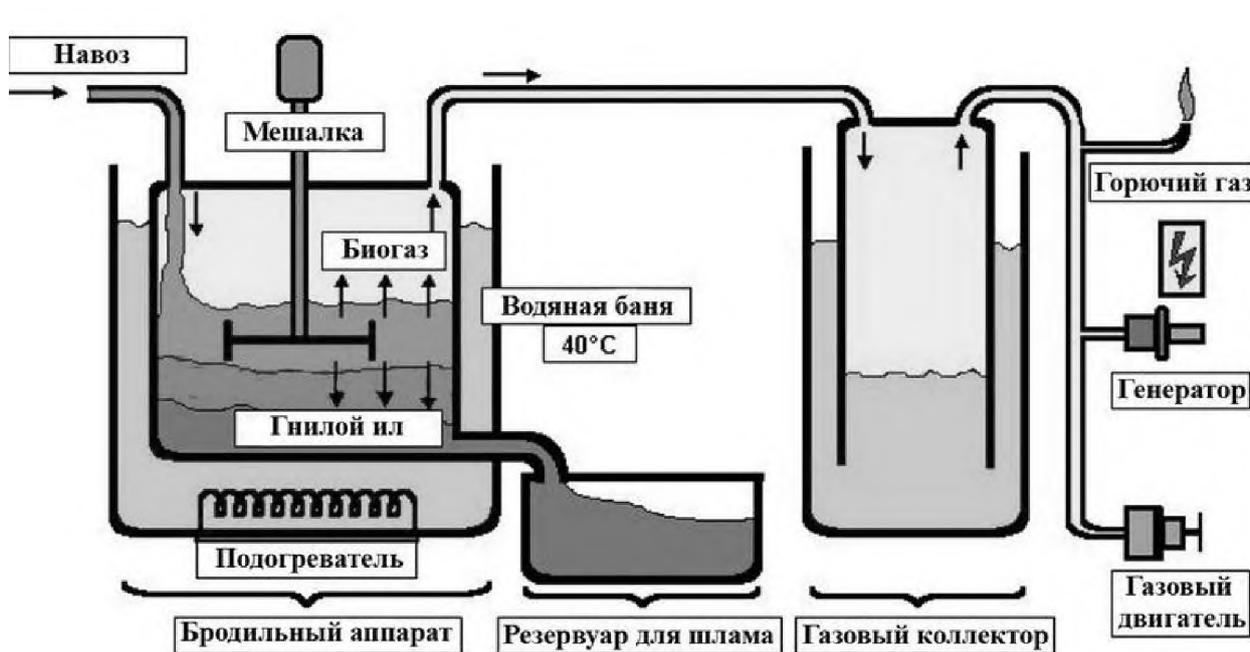


Рисунок 1 – Принципиальная схема биогазовой установки [6]

Производительность биогазовой установки по выработке газа зависит преимущественно от свойств субстрата. Количество газа из смеси субстрата составляет примерно $3520 \text{ м}^3 / \text{сут}$. Энергоспособность биогаза для расчетов принята $6,0 \text{ кВтч/м}^3$.

В аспекте удорожания добычи и транспортировки природных энергоносителей, таких как природный газ и нефть, решение этой проблемы приобретает особое значение, так как органические отходы ферм являются потенциальным сырьем для биотехнологии метанового сбраживания. Биотехнологии предусматривают несколько стадий разложения органических веществ (ОВ) с дальнейшим производством биотоплива (биогаза). После очистки от примесей до состояния биометана им можно частично заменить природный газ, без перенастройки газосжигающего оборудования.

2. ПРАКТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

2.1. Использование биогазовых установок

Технология получения биогаза путем переработки органических отходов (биомассы) в анаэробных условиях давно известна человечеству. Она успешно применяется в ряде стран с развитой сферой сельского хозяйства. США, ЕС, Китай, Индия, Бразилия являются лидерами по производству биогаза (БГ).

На сегодняшний день возобновляемые источники энергии занимают значительное место в энергетическом балансе стран мира.

Использование электроэнергии и тепла, производимого с помощью анаэробной переработки биомассы, в Европе сосредоточено в основном в Австрии, Финляндии, Германии, Дании и Великобритании. Германия является лидером по производству биогаза в Европе. В Германии в 1992 году насчитывалось 139 биогазовых установок, а в настоящий момент работает более 7000 больших установок анаэробного сбраживания сельскохозяйственных отходов. Крупнейшая биогазовая установка (БГУ) расположена на юге Германии, позволяющая перерабатывать до 120 т отходов животноводческой фермы в месяц. Площадь, занимаемая биогазовой установкой, составляет 3 га. Корпус метантенка выполнен из кислотостойкого железобетона диаметром 15 м и высотой 6 м. Получаемый биогаз сжигают для получения электрической энергии и теплоты.

В Австрии в настоящее время работает около 120 биогазовых установок, с объемами реакторов каждой более 2000 м³. Около 5 установок находится в стадии проектирования и строительства.

В США первая БГУ по переработке животноводческих отходов была построена в 1939 году и успешно работала в течение более 30 лет. В 1954 г. был построен первый завод по переработке коммунальных отходов с получением биогаза в Форт-Додже, штат Айова.

Среди развивающихся стран распространено производство энергии и тепла с помощью переработки отходов на небольших биогазовых установках. Около 16 миллионов хозяйств по всему миру используют энергию, производимую в биогазовых установках, для освещения, обогрева и приготовления пищи. Это 12 млн хозяйств в Китае, 3,7 млн хозяйств в Индии и 140 тыс. хозяйств в Непале.

В Китае в конце 90-х годов эксплуатировалось более 10 млн. малых биогазовых установок. Они производили около 7 млрд м³ биогаза в год. В сельских районах Китая в 2006 году действовало 17 млн биогазовых установок, что позволило заменять около 10 млн т условного топлива, при этом более 50 миллионов человек пользуются биогазом в качестве топлива. Типичная БГУ имеет объем реактора 6-8 м³; производит 300 тыс. м³ биогаза в год; работает ежегодно 3-8 месяцев; в зависимости от провинции, стоит около \$200-250. Большинство установок очень просты и, после определенного обучения, фермеры строят и эксплуатируют установки самостоятельно.

На Украине существуют единичные примеры внедрения биогазовых технологий. Первая из ныне работающих на отходах животноводства БГУ промышленного типа была построена в 1993 г. на свиноферме (8000-10000 поголовья) комбината «Запорожсталь» в г. Запорожье по технологиям BigadanLtd (Дания). Объем метантенка составляет 595 м³, принятый температурный режим – мезофильный.

В России первый реактор был запущен в 2009 г. в деревне Дошино Калужской области. Позднее в Белгородской области запустили биогазовые станции «Байнцуры» на базе свиноводческого комплекса, а затем «Лучки». «Лучки» является первой в России биогазовой станцией промышленного масштаба. В июне 2012 г. передала в сеть первую электроэнергию, а в июле 2012 г. вышла на проектную мощность – 2,4 МВт.

В настоящее время в странах СНГ возрос интерес к получению энергии и биоудобрений путем переработки сельскохозяйственных отходов. Этому способствуют высокая стоимость энергоресурсов и удобрений, а также ухудшающееся состояние окружающей среды. Однако из-за высокой начальной стоимости биогазовых установок их общее число в странах СНГ не превышает трех сотен.

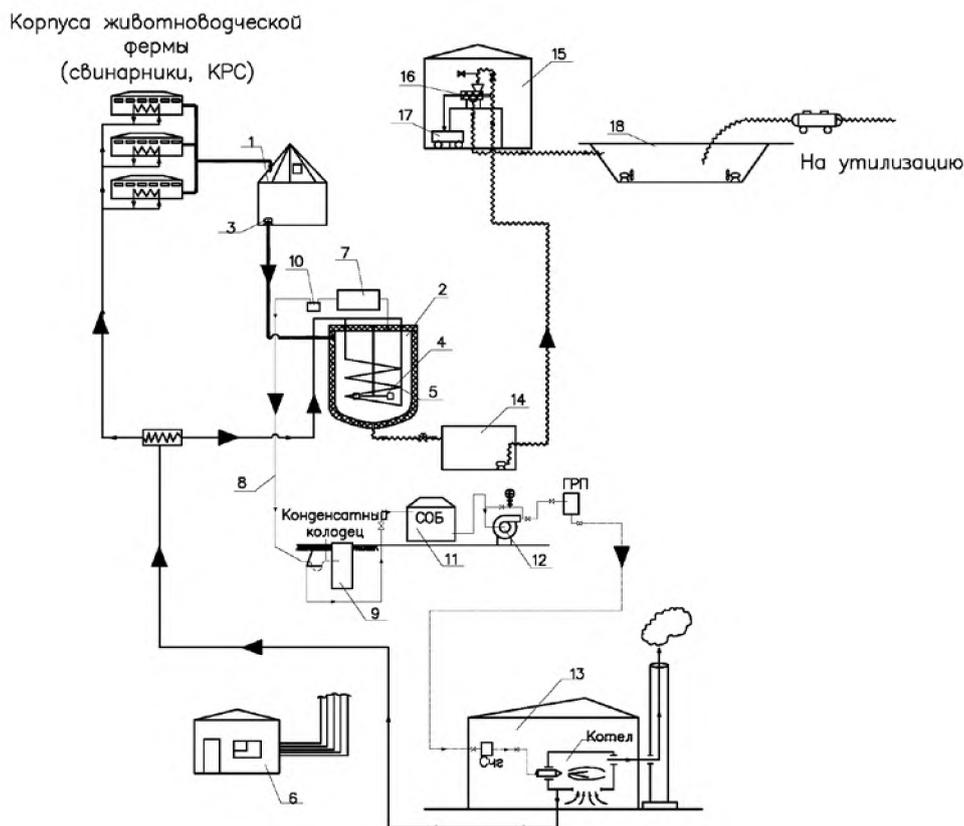
В Республике Беларусь вводятся в действие три БГУ – в РУСП СГЦ «Западный» Брестского района, племптицефабрике «Белорусский» Минского района и ОАО «Гомельская птицефабрика». В качестве исходного субстрата используются навоз от содержания крупного рогатого скота, свиней и помет. Поставщиком технологического оборудования для этих организаций является австрийская фирма «ААТ Gmb & Co», которая широко известна по поставкам БГУ не только в Австрии, но и в Германии, Польше и других странах Евросоюза. Мощность установок от 330 до 500 кВт.

В ОАО «Гомельская птицефабрика» для переработки используется: помет от 250 тыс. кур-несушек с содержанием сухого вещества (СВ) 20% - 37,5 т/день; помет от 250 тыс. кур-несушек, удаляемый водой с содержанием СВ 4%, - 50 т/день; навоз от крупного рогатого скота с содержанием СВ 10% - 5 т/день. Вода для увлажнения сырья в данной технологии не требуется. В состав установки входит два метантенка по 1350 м³ с механическими смесителями. Метантенки имеют цилиндрическую форму; стенки выполнены из бетона, диаметр – 18,0 м, высота – 6,0 м, заполняемая высота – 5,3 м. Температура процесса – 38 °С.

2.2. Устройство и принцип работы биогазовых установок

Работа биогазовой установки предполагает максимальную автоматизацию и сведение к минимуму затрат человеческого труда. Принципиальная схема биогазовой установки приведена на рисунке 2. Отходы поступают в приемный резервуар 1 для измельчения крупных включений. В нем происходит их предварительное накопление, гомогенизация, перемешивание, осаждение и удаление тяжелых фракций.

Подача сырья в метантенк (2) происходит 1-2 раза в сутки с помощью специального насоса для жидких и вязких субстратов (3). Метантенк является основой биогазовой установки, в котором происходит сбраживание биомассы и образование биогаза. Поддержание стабильной температуры внутри метантенка осуществляется с помощью системы обогрева (змеевика) (5). Субстрат два раза в сутки перемешивается при помощи турбинной мешалки (4). Выгрузка сброженного субстрата происходит автоматически с такой же периодичностью, как и загрузка.



1 – приемный резервуар, 2 – метантенк, 3 – насос, 4 – турбинная мешалка, 5 – змеевик, 6 – система автоматики, 7 – газгольдер, 8-газопровод, 9 – устройство для отвода конденсата, 10 – предохранительный клапан, 11 – станция очистки биогаза, 12 – компрессор, 13 – теплогенерирующая установка, 14 – емкость для сбора сброженной биомассы, 15 – сепараторная, 16 – шнековый барабанный сепаратор, 17 – емкость для твердой фракции, 18 – емкость для жидкой фракции

Рисунок 2 – Схема биогазовой установки животноводческой фермы

Управление работой всей биогазовой установки происходит по командам системы автоматики (6). Получаемый биогаз накапливается в газгольдере (7), представляющем собой герметичную емкость. Отведение биогаза происходит по газопроводу (8), который оснащен устройствами автоматического отвода (9) конденсата и предохранительными устройствами (10), защищающими газгольдер от превышения допустимого давления. Из газгольдера идет непрерывная подача биогаза на станцию очистки биогаза (СОБ) (11) и далее через ГРП (газорегуляторный пункт) с компрессором (12) (повышает давление) на котельную (13).

Переработанный субстрат подается на механическое разделение в шнековый барабан-сепаратор (16). Система механического разделения формирует твердую (обезвоженный шлам) и жидкую (фугат) фракции (15). Обезвоженный шлам не имеет запаха, не содержит патогенную микрофлору и является высококонцентрированным, обеззараженным, дезодорированным органическим удобрением, пригодным для непосредственного внесения в почву (17). Фугат – обеззараженная, дезодорированная жидкость, используется как органическая подкормка для полива или орошения различных сельскохозяйственных культур (18). Автоматика, управляющая биогазовой установкой (6), контролирует работу насосов, мешалки, системы подогрева, газовой автоматики.

Использование биогаза в качестве альтернативного топлива возможно после предварительной очистки биогаза от воды, сероводорода и диоксида углерода. Поскольку биогаз насыщен влагой, необходимо его охлаждение в конденсационном колодце (9). После этого биогаз подогревается и содержание влаги в нем уменьшается. Содержащийся в биогазе сероводород, смешиваясь с водой, образует кислоту, вызывающую коррозию металла. Наиболее эффективным методом очистки от сероводорода является сухая очистка в специальном фильтре. В качестве десульфуризатора применяются различные абсорбенты. Диоксид углерода может быть отделен путем впитывания в известковое молоко. Углекислота сама по себе является ценным продуктом, который используют в производстве.

На нагрев метантенка уходит до 10% летом и до 20% зимой от получаемого объема биогаза.

Конструктивные особенности метантенков. По форме метантенки различают: яйцеобразные, цилиндрические, шарообразные, траншейные, кубические и др. С целью создания наиболее благоприятных условий для перемешивания жидкого субстрата, накапливания газа, отвода осадков и разрушения образующейся корки на поверхности субстрата используют резервуары яйцеобразной формы. Крупные реакторы такой формы обычно сооружают из бетона, поэтому для них характерна высокая стоимость изготовления, что существенно ограничивает их применение.

Для цилиндрического резервуара с конусными верхней и нижней частями, как и для овальной формы, характерны небольшое пространство для накопления газа, ограниченный объем плавающей корки, а также хороший отвод шлама. Однако в подобных реакторах создаются менее благоприятные условия для перемещения жидкого субстрата. Резервуары большого объема такой формы, используемые в коммунальных установках для очистки и разложения стоков, как и реакторы овальной формы, изготавливают из бетона. Однако «цилиндрические» реакторы несколько дешевле. В индивидуальных хозяйствах реакторы данной формы делают из стали.

Цилиндрические резервуары относительно просты в изготовлении, что объясняется обширным опытом строительства емкостей для сельскохозяйственных целей (стальные, бетонные, стеклопластиковые цистерны-бункера для силоса и других кормов). Однако, по сравнению с резервуарами предыдущих форм, в цилиндрическом резервуаре невозможно организовать достаточно хорошие условия для перемещения субстрата, при этом приходится считаться с более высокими затратами на удаление осадка и разрушение плавающей корки, что связано с увеличением расхода энергии на перемешивание массы.

Для резервуаров цилиндрической формы, разделенных поперечной вертикальной перегородкой на две камеры, можно организовать систему получения биогаза с поочередным использованием камер резервуара. При такой компоновке уменьшается значение теплоизоляции наружных стенок резервуара, а в перегородку, выполняемую из достаточно теплопроводного материала, несложно встроить какое-либо нагревательное устройство, что придает установке дополнительные конструктивные преимущества.

В простых небольших биогазовых установках метантенк имеет форму параллелепипеда. Для повышения эффективности такой реактор перегораживают вертикальной стенкой, создавая главную бродильную камеру и камеру для окончательного сбраживания и осаждения шлама. В установках данного типа невозможно обеспечить равномерное перемешивание массы и управление загрузкой рабочего объема резервуара, а также соблюдение времени пребывания массы в реакторе.

Обессеривание газа. По причинам охраны окружающей среды и повышения безопасности при эксплуатации энергоблока на биогазе предусмотрено удаление сероводорода (H_2S). В связи с этим в биогазовой установке удаление сероводорода проводится путем добавления незначительного количества воздуха в ферментатор. Сероводород при этом превращается при помощи определенных бактерий в элементарную серу.

Процесс добавления воздуха в газовое пространство реактора является самым эффективным с экономической точки зрения процессом по обессериванию газа, так как при этом затраты на приборное обеспечение незначительны и не требуется дополнительно использовать химикаты. Также преимущество состоит в том, что сера сохраняется как питательный микроэлемент для роста растений. Для эффективного удаления сероводорода необходимо добавление воздуха в количестве не менее 5% объема всего газового пространства в реакторе.

Биогазовая установка планируется с учетом того, что максимальное количество воздуха не превышает 10% объема газового пространства в целях соблюдения безопасной дистанции к грани взрывоопасности смеси воздуха с метаном.

Газонакопители. Для непрерывно поступающего биогаза и эффективного его использования предусмотрен газонакопитель (газгольдер) (7). На применяемых БГУ в Республике Беларусь биогаз хранится в газонакопителе с двойной мембраной, который устанавливается на ферментаторе (2). Газ из ферментатора по газопроводу поступает в газонакопитель, проходя через защитное устройство с гравийным фильтром и сепаратором конденсата.

Газовая мембрана изготовлена из усиленной тканью пленки из поливинилхлорида специально для хранения биогаза. Внешняя мембрана также изготовлена из усиленной тканью пленки из поливинилхлорида, устойчива против ультрафиолетового излучения и устроена как несущая крыша. Посредством опорного воздуходува вдувается воздух через патрубков, в котором установлен клапан, между внешней и внутренней мембраной.

Газонакопитель с двойной мембраной присоединяется герметично сверху к стенкам ферментатора. При подаче газа происходит подъем газовой мембраны, а при заборе газа – понижение газовой мембраны в зависимости от количества газа. Для определения количества газа установлен измеритель, который также обеспечивает управление вентилятором повышения давления в газопроводе.

2.3. Расчет размера реактора (метантенка) биогазовой установки

Главным определяющим фактором при расчете размеров реактора является количество свежего навоза, собираемое ежедневно в хозяйстве. Количество навоза (ДН) определяется опытным путем или исходя из количества животных и среднесуточных норм (таблица 1).

Таблица 1 – Количество и влажность навоза и экскрементов на 1 животное

Виды животных	Среднесуточное количество фекалий, кг/сут.	Влажность экскрементов	Среднесуточное количество навоза, кг/сут.	Влажность навоза
Крупный рогатый скот	55	86%	36	65%
Свиньи	5,1	86	4	65%
Птица	0,16	75%	0,16	75%

Влажность сырья, загружаемого в реактор установки, должна быть не менее 85% в зимнее время и 92% в летнее время года. Для достижения правильной влажности сырья навоз обычно разбавляют горячей водой в количестве, определяемом по формуле:

$$ДВ = ДН \times ((B_2 - B_1) : (100 - B_2)), \quad (1.1)$$

где ДН – количество загружаемого навоза,
 B_1 – первоначальная влажность навоза,
 B_2 – необходимая влажность сырья,
 ДВ – количество воды в литрах.

В таблице 2 приводится необходимое количество воды для разбавления 100 кг навоза до 85% и 92% влажности.

Таблица 2 – Количество воды для достижения необходимой влажности на 100 кг навоза

Влажность	Первоначальная влажность сырья						
	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%
85%	166 л	133 л	100 л	67 л	33,5 л	-	-
92%	400 л	337 л	275 л	213 л	150 л	87,5 л	25 л

В большинстве сельских установок соотношение навоза и воды, смешиваемых для получения сырья, колеблется от 1:3 до 2:1. Таким образом, количество загружаемого сырья (Д) – это сумма отходов хозяйства (ДН) и воды (ДВ), которой они разбавляются.

Оптимальной дозой суточной загрузки для установок с мезофильной температурой брожения с точки зрения качества биогаза считают 10% от полного объема загружаемого сырья при продолжительности сбраживания 10-20 суток.

Поэтому будем считать дозу суточной загрузки D равной 10% от объема общего загруженного в установку сырья (ОС). Общий объем сырья в установке ОС не должен превышать $2/3$ объема реактора.

Таким образом, объем реактора (ОР) рассчитывается по следующей формуле 1.2:

$$OP = 1,5 \times OC, \quad (1.2)$$

где $OC = 10 \times D$, $D = ДН + ДВ$.

Пример: Фермерское хозяйство содержит 10 голов крупного рогатого скота, 20 свиней и 35 кур. Объем суточных экскрементов от 1 коровы = 55 кг, от одной свиньи = 4,5 кг, от 1 курицы = 0,17 кг.

Объем суточных отходов хозяйства ДН составит:

$ДН = 10 \times 55 + 20 \times 4,5 + 35 \times 0,17 = 550 + 90 + 5,95 = 645,95$ кг, округляем – 646 кг. Влажность экскрементов крупного рогатого скота и свиней составляет 86%, а куриного помета – 75%. Для достижения 85% влажности необходимо добавить к птичьему помету 3,9 литра воды.

Значит, суточная доза загрузки сырья составит около 650 кг. Полная загрузка реактора $OC = 10 \times 0,65 = 6,5$ тонн, и объем реактора $OP = 1,5 \times 6,5 = 9,75$ м³.

Контрольные вопросы

1. Какие бывают режимы анаэробного брожения в зависимости от температуры и времени брожения?
2. Какие решаются задачи при анаэробном сбраживании навоза?
3. Какое назначение биогазовых установок?
4. Какие основные узлы входят в технологическую схему биогазовой установки?
5. Какой элемент в биогазовой установке является основным?
6. Какой формы по конструктивному исполнению бывают метантенки?
7. Какие процессы ускоряют брожение биомассы в метантенке?
8. На каких предприятиях Республики Беларусь эксплуатируются биогазовые энергетические комплексы?
9. Как определяется суточный объем загрузки метантенка?
10. Как рассчитывается размер метантенка биогазовой установки?

Содержание отчета

Отчет о лабораторно-практической работе должен содержать:

1. Краткие теоретические сведения и определения, математические выражения с пояснениями по устройству и основным характеристикам биогазовых установок.
2. Схему биогазовой установки животноводческой фермы с основными узлами, поясняющими принцип ее работы.

3. Согласно выданному преподавателем индивидуальному варианту (приложение 1) рассчитаны размеры реактора (метантенка) биогазовой установки.

Литература

1. Методы повышения эффективности переработки биомассы в биогазовой установке / С. К. Шерьязов, В. В. Васенев, Ж. Б. Телюбаев // Достижения науки – агропромышленному производству: материалы LV междунар. науч.-техн. конф. Челябинск : ЮУрГАУ, 2020. С. 230–236.

2. Пташкина-Гирина, О. С. Переработка отходов животноводства для использования их в качестве удобрения / О. С. Пташкина-Гирина, Ж. Б. Телюбаев, С. К. Шерьязов // Вестник ИрГСХА. 2017. No 80. С. 184–190.

3. Получение биогаза из навоза [Электронный ресурс]– Режим доступа : <http://www.ess-ltd.ru> Дата доступа 02.02.2023.

4. Скорб, И. И. Анализ физико-механических свойств жидкого навоза / И. И. Скорб // Передовые технологии и техническое обеспечение сельскохозяйственного производства : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 30 – 31 марта 2017 г. - Минск : БГАТУ, 2017. – С. 205 – 207.

5. <https://altenergiya.ru/poleznye-stati/biogazovaya-ustanovka-v-domashnix-usloviyax-princip-raboty-vidy.html>. Дата доступа 03.02.2023].

Тема: НАЗНАЧЕНИЕ, УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Цель занятия:

- изучить назначение, устройство и принцип действия основных узлов и вспомогательных элементов ветроэнергетических установок разного назначения;
- получить практические навыки по расчету мощности ветрогенераторов ветроэнергетических установок.

Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретические сведения по теме:
 - 1.1. Особенности использования энергии ветра.
 - 1.2. Характеристика ветрового потока.
 - 1.3. Преобразование энергии ветра с помощью ветроэнергетических установок (ВЭУ); конструктивные элементы; основные и дополнительные компоненты ВЭУ.
2. Приобрести практические знания по вопросам использования ветроэнергетических установок:
 - 2.1. Особенности работы ветроэнергетических установок.
 - 2.2. Особенности работы ветрогенераторов.
 - 2.3. Расчет мощности ветрогенераторов.
3. Составить отчет по занятию.

Место проведения: аудитория для практических занятий.

Время выполнения задания – 2 часа.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

1.1. Особенности использования энергии ветра

Запасы органического топлива в природе истощаются, а его использование неразрывно связано с загрязнением окружающей среды. В будущем неизбежно сокращение потребления органического топлива и его замена другими источниками энергии. Использование возобновляемых источников энергии наиболее привлекательно, так как оно не нарушает естественного баланса энергии, получаемой нашей планетой. К этой группе относятся: солнечная радиация, энергия ветра, энергия рек, приливов и океанских волн, энергия, заключенная в биомассе и органических отходах. Особый интерес для Республики Беларусь представляет использование ветроэнергетических ресурсов.

Энергия ветра известна человечеству не менее 2000 лет; в последние 10-15 лет бурно развивалось ее использование для производства электрической энергии. К настоящему времени в мире установлено более 30000 ветроэлектрических агрегатов, общая мощность которых превышает 20 млн кВт. Современные ветроэнергетические установки (ВЭУ) имеют мощность от единиц кило-

ватт до нескольких мегаватт и позволяют экономически эффективно с высокой степенью надежности преобразовывать энергию ветра. ВЭУ могут использоваться для различных целей, начиная от заряда аккумуляторных батарей и энергоснабжения различных объектов (дома, фермы и пр.) до подачи электроэнергии в сети централизованного электроснабжения.

Среднегодовая выработка электроэнергии с 1 км² площади ветроэнергетическими системами при разных скоростях ветра приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Годовая выработка электроэнергии с 1 км² площади ВЭС

Среднегодовая скорость ветра, м/с	5	6	7	8	9
Выработка электроэнергии, млн. кВт·ч/км ²	12	20	26	34	39

Энергия ветра в течение длительного времени рассматривается в качестве экологически чистого неисчерпаемого источника энергии. Прежде чем использовать энергию ветра, необходимо ознакомиться с проблемами, связанными с использованием ветроэнергетических установок. Главные из них: высокая стоимость ветроэнергетических установок, невысокая надежность работать в автоматическом режиме в течение многих лет и обеспечивать бесперебойное электроснабжение. Поэтому сегодня наиболее важной задачей, стоящей перед ветроэнергетикой, является снижение удельной стоимости электрооборудования ВЭУ. Одним из путей снижения стоимости является применение более надежных и экономичных структур электрооборудования ветроэнергетических установок.

1.2. Характеристики ветрового потока

Свойства ветра. Ветер – это направленное перемещение воздушных масс. Ветровую энергию можно рассматривать как одну из форм проявления солнечной энергии, потому что Солнце является тем первоисточником, который влияет на погодные явления на Земле. Ветер возникает из-за неравномерного нагрева Солнцем поверхности Земли.

Направление ветра меняется с течением времени. В большинстве регионов наблюдаются значительные сезонные изменения ветровых потоков. Причем в зимние месяцы скорость ветра обычно выше, чем летом. Дневные изменения скорости ветра наблюдаются, как правило, вблизи морей и больших озер. Утром солнце нагревает землю быстрее, чем воду, поэтому ветер дует в направлении побережья. Вечером же земля остывает быстрее, чем вода, поэтому ветер дует от побережья.

Скорость ветра зависит от высоты над уровнем земли. Близко к земле ветер замедляется за счет трения о земную поверхность. Таким образом, ветры бывают сильнее на больших высотах по отношению к земле. Для сельскохозяйственных полей и пустынных территорий при увеличении высоты над поверхностью земли в два раза наблюдается увеличение скорости ветра приблизительно на 12%.

На скорость ветра оказывают значительное влияние географические условия и характер земной поверхности, включая различные природные и искусственные препятствия, такие, как холмы и пр., а также деревья и здания. По этой причине ВЭУ располагают, по возможности, на возвышенных и удаленных от высоких деревьев, жилых домов и других сооружений местах, т.к. такие препятствия снижают скорость ветра и приводят к завихрениям потока, затрудняющим преобразование энергии ветра.

Среднегодовая скорость ветра (V_c) характеризует ветровой потенциал территории. Это скорость ветра, которая определяется как среднее арифметическое значение всех наблюдаемых скоростей ветра в течение года. Средние скорости ветра могут быть вычислены и для других периодов, например: месячные, дневные, часовые.

Энергия, заключенная в ветре, находится в кубической зависимости от величины скорости ветра. Удвоение скорости ветра дает увеличение энергии в 8 раз. Таким образом, средняя скорость ветра 5 м/с может дать примерно в 2 раза больше энергии, чем ветер со средней скоростью 4 м/с.

Характеристики ветра измеряются на метеостанциях. На основе данных многолетних наблюдений скоростей ветра составляются специализированные карты ветров.

Энергия ветра. Главной особенностью ветровой энергии является неравномерность ее проявления во времени и пространстве. Есть регионы, где средняя за год скорость ветра на высоте 10 м от уровня земли не превышает 3 м/с (Гомельская область – 2,2 м/с, Брестская – около 3,0 м/с). Там нельзя рассчитывать на эффективную работу ветроустановок. Однако в Беларуси имеются места (Минская область), где возможность экономически выгодного использования энергии ветра не вызывает сомнений, но конкретный выбор участков для установки ВЭУ требует специального обоснования и проверки.

Кинетическая энергия (E), которой обладает воздушный поток, зависит от его массы (m) и скорости (v) и может быть определена по формуле:

$$E = mV^2/2 \quad (1.1)$$

Если в формулу (1.1) подставить значение массы воздуха, протекающей через ветротурбину двигателя, то получим выражение для его мощности:

$$E = 1/2\rho A_o V_o^3, \quad (1.2)$$

где ρ – плотность набегающего воздушного потока;

A_o – ометаемая ветротурбиной поверхность;

V_o – скорость набегающего воздушного потока.

К основным факторам, влияющим на точность оценки энергии ветра, относятся: изменение плотности воздуха в зависимости от высоты над уровнем моря, температуры и соответствие расчетных параметров по ветру, ветровым условиям конкретному месторасположению ветродвигателя.

Плотность воздуха на уровне моря при нормальных климатических условиях, соответствующих нормальному атмосферному давлению 760 мм рт. ст. и температуре +15 °С, равна $\rho = 1,226 \text{ кг/м}^3$. В зависимости от высоты над уровнем моря плотность (ρ) изменяется, снижаясь почти на 10% при высоте 1 км и на 20% при высоте 2,5 км над уровнем моря, что приводит к соответствующему снижению потенциала ветровой энергии. При снижении температуры воздуха плотность ρ воздуха увеличивается, а при повышении – снижается. Так, при понижении температуры воздуха от нормального уровня (+15 °С) на 25 °С (до -10 °С), плотность возрастает на 10%, а при повышении температуры на 25 °С (до +40 °С) плотность воздуха снижается приблизительно на 7,5%.

Скорость ветра (V_i) на высоте (H_i), если она отличается от высоты, на которой производились измерения, m – коэффициент, зависящий от типа местности (принимаемый равным 0,16 – для местности типа А, 0,28 – для местности типа В и 0,40 – для местности типа С), определяется по формуле:

$$V_i = V_{\text{ИЗМ}} \left(\frac{H_i}{H_{\text{ИЗМ}}} \right)^m, \quad (1.3)$$

В расчетах используется следующая классификация поверхностей:

А – открытые побережья морей, озер и водохранилищ, пустыни, степи, лесостепи, тундра;

В – городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой до 10 м;

С – городские районы с застройкой зданиями высотой свыше 25 метров.

Непрерывная регистрация измерений скорости ветра на метеостанциях в течение многих лет наблюдений показала, что среднегодовые и среднемесячные значения скорости ветра в конкретном месте варьируют в узком диапазоне. Это несмотря на то, что ветер – это случайный процесс, ему присущи определенные закономерности.

В общем случае механическая характеристика при постоянной геометрии ветротурбины может быть представлена выражением 1.4:

$$M_{\text{ВТ}} = \frac{1}{2 \cdot \omega} \cdot \rho \cdot V_B^3 \cdot A_{\text{ВТ}} \cdot C_P(Z_{\text{ВТ}}), \quad (1.4)$$

где C_P - плотность воздуха, кг/м^3 ;

V_B - скорость ветрового потока, м/с ;

$A_{\text{ВТ}}$ - эффективная площадь, ометаемая ветротурбиной, м^2 ;

ω - коэффициент использования ветротурбины энергии ветра (коэффициент мощности);

$Z_{\text{ВТ}}$ - быстроходность ветротурбины.

2. ПРАКТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

2.1. Преобразование энергии ветра с помощью ВЭУ

Использование ветроустановок для производства электроэнергии является наиболее эффективным способом утилизации энергии ветра. Эффективность преобразования механической энергии в электрическую в электрогенераторе составляет обычно 95%, а потери электрической энергии при передаче не превышают 10%.

Из приведенного выше выражения (1.4) следует, что энергия, или мощность потока пропорциональна скорости ветра в третьей степени. Однако в механическую работу можно превратить только часть энергии потока, протекающего через ветротурбину. Другая часть энергии теряется на трение воздушных частиц и различные потери, так как ветротурбина оказывает сопротивление движению воздушных частиц. Кроме того, значительная часть энергии содержится в воздушном потоке, уже прошедшем через ветротурбину. Это объясняется тем, что поток за ветротурбиной также имеет некоторую скорость.

В общем случае ветроэнергетическая установка представляет собой комплекс технических устройств по преобразованию кинетической энергии ветра в другой вид энергии. Различают ветроустановки специального назначения (водоподъемные или насосные, электрические, зарядные, мельничные, ветротепловые и др.) и комплексного применения (ветросиловые и ветроэлектрические).

В силовых ветроустановках от механической трансмиссии ветродвигателя приводятся в движение исполнительные органы.

В электрических ветроустановках вырабатывается электрическая энергия, которая используется для привода машин и агрегатов, аккумулируется или отдается в сеть общего пользования. Этот путь использования энергии ветра является наиболее эффективным.

Предъявляемые при этом требования к частоте и напряжению вырабатываемой электроэнергии наиболее жесткие при работе ветроустановки в рамках единой энергосистемы и менее жесткие – при использовании ее для нужд автономных потребителей (освещение, электронагрев, электропривод отдельных машин).

Так как периоды безветрия или слабого ветра неизбежны, то автономные ветроэлектрические установки для бесперебойного обеспечения потребителей электроэнергией должны иметь аккумуляторы для накопления энергии. Накопленная в аккумуляторах электроэнергия преобразуется в переменный ток с заданными параметрами. Мировые ведущие производители ветроэнергетического оборудования поставляют ветроустановки мощностью от 100 Вт до 1000 кВт.

Основными недостатками ВЭС являются:

- непостоянная и неравномерная выработка электроэнергии как в разрезе суток, так и по сезонам года, что связано с наличием ветра и его скоростью;
- использование значительных площадей земельных ресурсов. Так, для ВЭС мощностью 1000 МВт понадобится общая площадь 70–200 км², хотя

большая часть этих земель может быть использована в сельском хозяйстве и др. (сама ВЭС занимает 1% общей площади). При использовании ВЭС морского базирования этот недостаток устраняется;

- необходимость удаления ВЭС от населенных пунктов не менее 300 м с целью ограничения шумового влияния.

Стоимость ветрогенератора напрямую зависит от таких факторов, как:

- количество лопастей;
- мощность аккумуляторов;
- мощность генератора; - количество инверторов;
- материал изготовления лопастей; - наличие редуктора;
- номинальная мощность ветряка;
- тип ветрогенератора: горизонтальный, вертикальный;
- материал, из которого изготовлена установка;
- наличие дополнительных комплектующих.

2.2. Конструктивные элементы ВЭУ

2.2.1. Основные и дополнительные компоненты ВЭУ

К основным компонентам системы, без которых работа ветроустановки невозможна, относят следующие элементы:

- генератор – необходим для заряда аккумуляторных батарей. От его мощности зависит как быстро будут заряжаться ваши аккумуляторы. Генератор необходим для выработки переменного тока. Сила тока и напряжение генератора зависит от скорости и стабильности ветра;

- лопасти – приводят в движение вал генератора благодаря кинетической энергии ветра;

- мачта – обычно, чем выше мачта, тем стабильнее и сильнее сила ветра. Отсюда следует – чем выше мачта, тем больше выработка генератора. Мачты бывают разных форм и высот.

Дополнительные необходимые компоненты:

- контроллер – управляет многими процессами ветроустановки, такими, как поворот лопастей, заряд аккумуляторов, защитные функции и др. Он преобразовывает переменный ток, который вырабатывается генератором в постоянный для заряда аккумуляторных батарей;

- аккумуляторные батареи – накапливают электроэнергию для использования в безветренные часы. Также они выравнивают и стабилизируют выходящее напряжение из генератора. Благодаря им вы получаете стабильное напряжение без перебоев даже при порывистом ветре. Питание вашего объекта идет от аккумуляторных батарей;

- анемоскоп и датчик направления ветра – отвечают за сбор данных о скорости и направлении ветра в установках средней и большой мощности;

- АВР – автоматический переключатель источника питания. Производит автоматическое переключение между несколькими источниками электропитания за промежуток в 0,5 секунды при исчезновении основного источника.

Позволяет объединить ветроустановку, общественную электросеть, дизель-генератор и другие источники питания в единую автоматизированную систему. (**Внимание!** АВР не позволяет работать сети одного объекта одновременно от двух разных источников питания!);

- инвертор – преобразовывает ток из постоянного, который накапливается в аккумуляторных батареях, в переменный, который потребляет большинство электроприборов.

Инверторы бывают четырех типов:

- Модифицированная синусоида – преобразовывает ток в переменный с напряжением 220В с модифицированной синусоидой (еще одно название: квадратная синусоида). Пригоден только для оборудования, которое не чувствительно к качеству напряжения: освещение, обогрев, зарядки и т.п.

- Чистая синусоида – преобразовывает ток в переменный с напряжением 220 В с чистой синусоидой. Пригоден для любого типа электроприборов: электродвигатели, медицинское оборудование и др.

- Трехфазный – преобразовывает ток в трехфазный с напряжением 380 В. Можно использовать для трехфазного оборудования.

- Сетевой – в отличие от предыдущих типов позволяет системе работать без аккумуляторных батарей, но его можно использовать только для вывода электроэнергии в общественную электросеть. Их стоимость обычно в несколько раз превышает стоимость несетевых инверторов. Иногда они стоят дороже, чем все остальные компоненты ветроустановки вместе взятые.

2.2.2. Особенности работы ветроэнергетических установок

ВЭУ с горизонтальной осью вращения.

Для горизонтальных конструкций относительно небольших размеров характерно использование диффузоров – своеобразных воронок, конусообразных приспособлений, улавливающих поток, уплотняющих его и направляющих на лопасти. В результате достигается большая скорость вращения, возрастает выработка энергии при неизменных скоростях ветра.

Эта схема используется при эксплуатации летающих ВЭУ (генератор-крыло). Они имеют обширный надувной диффузор, дающий большую площадь захвата потока, уплотняющегося в несколько раз. Горизонтальные ветряки имеют меньше вариантов конструкции, так как принято считать, что они устроены достаточно удачно. При этом большинство из таких устройств нуждается в наличии двух точек вращения – крыльчатка и узел поворота для установки на ветер.

Конструктивные особенности взаимодействия узлов ВЭУ с горизонтальной осью вращения представлены на рисунках 3 и 4. В общем случае конструкция ВЭУ включает механическую, аэромеханическую и электрическую (электронную) части. Это разделение достаточно условное, так как, например, следящая система включает и механическую, и электронную составляющие.

Вертикально-осевые ветротурбины (ВОВТ), как правило, менее эффективны, чем горизонтально-осевые ветротурбины (ГОВТ), по следующим причинам:

- лопасть испытывает сопротивление при вращении, т.к. на части траектории она должна двигаться противоположно направлению ветра;
- ВОВТ часто установлены на более низкой высоте (земля или крыша здания), где скорость ветра меньше;

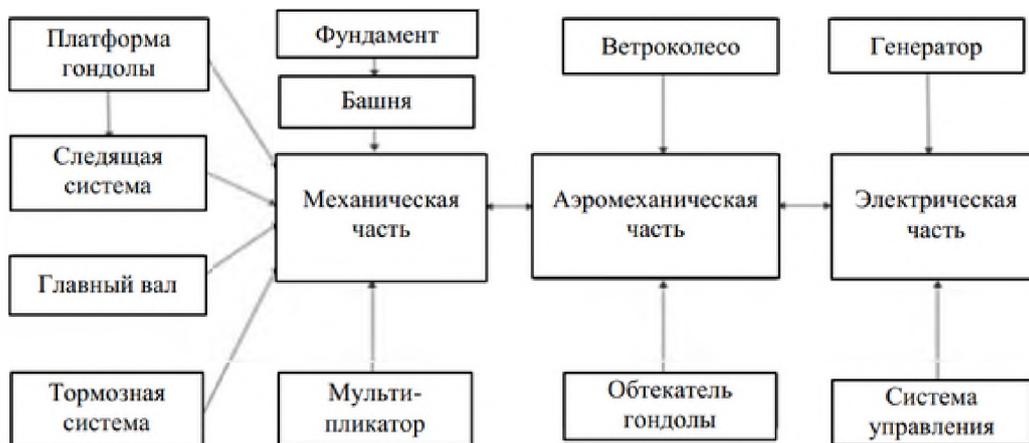


Рисунок 3 – Функциональная схема устройства ВЭУ

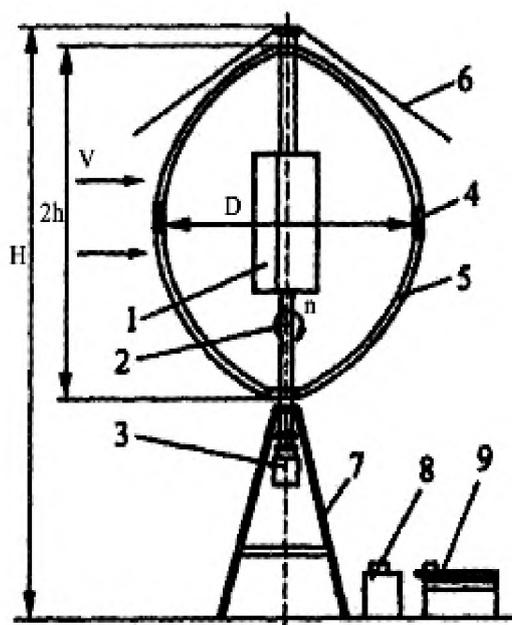
- ВОВТ имеют проблемы, связанные с вибрацией, например, шум и более быстрый износ и разрыв опорной конструкции (так как воздушный поток имеет большую турбулентность на низкой высоте);
- больше нагрузка на электрогенератор от массы ветротурбины, если она установлена на одном валу с электрогенератором.



Рисунок 4 – Схема расположения типовых конструктивных элементов ВЭУ с горизонтальной осью вращения ВЭУ с вертикальной осью вращения

ВЭУ с вертикальной осью вращения имеют преимущества перед установками с горизонтальной осью. Они состоят в том, что: исчезает необходимость в устройствах для ориентации на ветер; упрощается конструкция и снижаются гироскопические нагрузки, обуславливающие дополнительные напряжения в лопастях, системе передачи и других элементах установки; появляется возможность установки редуктора с генератором в основании башни.

Конструктивная схема ВЭУ с вертикальной осью вращения приведена на рисунке 5.



1 – стартер (ротор Савониуса); 2 – вал; 3 – электрогенератор; 4 – тормозное устройство; 5 – рабочая лопасть; 6 – растяжки; 7 – рама; 8 – преобразователь напряжения; 9 – аккумулятор; V – скорость ветра; H – высота ветроустановки; h – половина высоты рабочей лопасти; n – скорость вращения рабочей лопасти; D – диаметр развертки лопастей

Рисунок 5 – Конструктивная схема ВЭУ с вертикальной осью вращения

Разновидности вертикальных ветрогенераторов

1. Чашечный ротор (анемометр). Ветроколесо этого типа вращается силой сопротивления. Форма чашеобразной лопасти обеспечивает практически линейную зависимость частоты вращения колеса от скорости ветра.

2. Ротор Савониуса. Это колесо также вращается силой сопротивления. Его лопасти выполнены из тонких изогнутых листов прямоугольной формы, т. е. отличаются простотой и дешевизной. Вращающий момент создается благодаря различному сопротивлению, оказываемому воздушному потоку вогнутой и выпуклой относительно него лопастями ротора. Из-за большого геометрического заполнения это ветроколесо обладает большим крутящим моментом и используется для перекачки воды.

3. Ротор Дарье. Вращающий момент создается подъемной силой, возникающей на двух или на трех тонких изогнутых несущих поверхностях, имеющих аэродинамический профиль. Подъемная сила максимальна в тот момент, когда лопасть с большой скоростью пересекает набегающий воздушный поток.

Ротор Дарье используется в ветроэлектростанциях. Раскручиваться самостоятельно ротор, как правило, не может, поэтому для его запуска обычно используется генератор, работающий в режиме двигателя.

4. Ротор Масгрива. Лопастей этого ветроколеса в рабочем состоянии расположены вертикально, но имеют возможность вращаться или складываться вокруг горизонтальной оси при отключении. Существуют различные варианты роторов Масгрива, но все они отключаются при сильном ветре.

5. Ротор Эванса. Лопастей этого ротора в аварийной ситуации и при управлении поворачиваются вокруг вертикальной оси.

Варианты использования ВЭУ в системе электроснабжения:

- работа ВЭУ с аккумулятором в автономном режиме;
- параллельная работа ВЭУ на аккумуляторах и солнечных батареях;
- работа ВЭУ с параллельным использованием резервного (дизельного, бензинового или газового) генератора;
- параллельная работа ВЭУ и обычной электросети.

2.2.3. Конструктивные особенности ветрогенераторов

Принцип работы генератора ветряной электростанции похож на принцип работы дизель- и бензогенераторов. Устройство преобразует механическую энергию ветра в электричество подобно тому, как генерируется она из бензина и дизельного топлива. При этом основное различие ветрогенераторов проводят по положению ведущего вала ротора, или крыльчатки, относительно земли, то есть, оси вращения. Представим основные виды генераторов, применяемых в ветряных установках.

Ветрогенераторы с горизонтальной осью вращения.

Такие ветряные установки можно встретить чаще всего. Лопастей в таких установках соединены в одной точке и взаимодействуют с сердечником генератора при помощи специального общего соединения. В горизонтальных ветрогенераторах вал ротора турбины располагается параллельно земле.

Сам ротор при этом может крепиться к башне (опоре ветряной установки) спереди или сзади. Впереди опоры находится наветренный ротор, сзади – подветренный.

Отличия горизонтальных ветрогенераторов могут состоять не только в положении ротора, но также в количестве лопастей. Их может быть одновременно 2, 3 или 4. Чаще всего встречаются ветряные установки с 3 лопастями, реже – с 2 и 4 лопастями. Ветрогенераторы с 3 лопастями вынуждены вращаться очень быстро, чтобы успеть захватить весь поток кинетической энергии ветра. Установлено, что 3 лопасти работают эффективнее всего.

В настоящее время широко встречаются монолитные лопастные конструкции в виде дисков. Они отличаются большим количеством объединенных между собой лопастей. Такие ветряные установки вращаются с заниженной скоростью, но в отдельных случаях они уступают 3 лопастным. Несмотря на то, что ветрякам с 3 лопастями необходимо прикладывать больше усилий и скорости для захвата ветра, а монолитным дискам с множеством лопастей этого не

требуется, 3-лопастные установки являются наиболее эффективными при выработке механической энергии. Секрет в том, что лопасти в большом количестве мешают друг другу.

Основной недостаток горизонтальных ветрогенераторов состоит в том, что они «ловят» ветер только в определенном направлении.

Ветрогенераторы с вертикальной осью вращения

Такие генераторы отличаются вертикальным расположением вала – вращающей оси ротора турбины и креплением лопастей, которые располагаются также вертикально земле и имеют опору, к которой крепятся в двух точках – нижней и верхней. Опора соединяется с валом ротора и по мере вращения лопастей под воздействием ветра приводит ротор в движение.

Работа вертикального ветрогенератора не зависит от направления вращающейся оси. Такие ветрогенераторы улавливают ветер, движущийся в любом направлении и с любой скоростью. По степени эффективности и мощности вертикальные ветроустановки превосходят горизонтальные.

Способы крепления лопастей ветрогенераторов.

Лопастей ветряных установок бывают подвижные и неподвижные. Это означает, что подвижные лопасти могут изменять угол крепления. Неподвижные лопасти зафиксированы без возможности изменения угла.

Ветряки с подвижными лопастями более эффективны, так как более точно «подстраиваются» под направление ветра. Тогда как неподвижные лопасти вращаются только в двух направлениях. У подвижных лопастей есть недостаток. Они быстрее всего подвержены поломке, поскольку в их конструкции есть подшипники, которые довольно часто подлежат замене. Тогда как в ветряке с неподвижными лопастями подшипников нет. Поэтому такие установки ломаются значительно реже.

При выборе ветрогенератора первоначально решается вопрос: с какой целью мы устанавливаем ветрогенератор, и какие задачи он должен выполнять? Зная ответ на этот главный вопрос, определяем набор необходимого оборудования и его стоимость.

Основные параметры, определяющие работу всего комплекса ВЭУ:

- выходная мощность ветроустановки (кВт), определяется только мощностью преобразователя (инвертора) и не зависит от скорости ветра, емкости аккумуляторов. Еще ее называют «пиковой нагрузкой». Этот параметр определяет максимальное количество электроприборов, которые могут быть одновременно подключены к вашей системе.

- время непрерывной работы при отсутствии ветра или при слабом ветре определяется емкостью аккумуляторных батарей (Ач или кВт) и зависит от мощности и длительности потребления. Скорость заряда аккумуляторных батарей (кВт/час) зависит от мощности самого генератора. Также этот показатель прямо зависит от скорости ветра, а косвенно – от высоты мачты и рельефа местности. Чем мощнее генератор, тем быстрее будут заряжаться аккумуляторные батареи, а это значит, что вы сможете быстрее потреблять электроэнергию из батарей и в больших объемах. Более мощный генератор следует брать в том

случае, если ветра в месте установки слабые или вы потребляете электроэнергию постоянно, но в небольших количествах.

Исходя из перечисленных выше факторов, для подбора ветрогенератора и сопровождающего оборудования определяем:

1. Количество электроэнергии, необходимое нашему объекту ежемесячно (измеряется в киловаттах). Эти данные необходимы для подбора генератора. Их можно взять из отчетов, коммунальных счетов на оплату электроэнергии или рассчитать самостоятельно при строительстве объекта.

2. Желаемое время автономной работы нашей энергосистемы в безветренные периоды или периоды, когда потребление энергии из аккумуляторов будет превышать скорость зарядки аккумуляторных батарей генератором. Данный параметр определяет количество и емкость аккумуляторных батарей.

3. Максимальная нагрузка на вашу сеть в пиковые моменты (измеряется в киловаттах).

В то же время не следует забывать и молниезащите ветрогенераторов. В случае отсутствия системы молниезащиты ВЭУ, попадание грозового разряда может повлечь за собой повреждение систем управления, электросистемы, лопастей, а также других механических деталей, обслуживающего персонала. При проектировании ВЭУ необходимо тщательно рассмотреть и определить потенциальные риски и особое внимание уделить системе молниезащиты. Сравниваются затраты на систему молниезащиты и материальный ущерб от потенциального удара молнии.

2.2.4. Расчет мощности ветрогенератора

Изготовление ветрогенератора требует предварительного расчета. Это дает представление о возможностях и предполагаемой мощности установки заранее. Практика показывает, что ожидания и реальность между собой соотносятся слабо, установки, созданные на основе приблизительных прикидок или предположений, не подкрепленных конкретными расчетами, выдают слабые результаты. Поэтому обычно используются упрощенные способы расчетов, дающие достаточно близкие к истине результаты и не требующие использования большого количества данных.

Для расчета ветрогенератора проводят следующие действия:

а) определить потребность конкретного объекта в электроэнергии. Для этого необходимо подсчитать суммарную мощность всех приборов, аппаратуры, освещения и прочих потребителей. Полученная сумма покажет величину энергии, необходимой для питания объекта;

б) полученное значение увеличивается на 15-20%, чтобы иметь некоторый запас мощности для непредвиденных ситуаций. Это, что запас такой нужен – не подлежит сомнению. Наоборот, он может оказаться недостаточным, хотя, чаще всего, энергия будет использоваться не полностью;

в) зная необходимую мощность, можно прикинуть, какой ветрогенератор может быть использован или изготовлен для решения поставленных задач. От возможностей генератора зависит конечный результат использования ветря-

ка, если они не удовлетворяют потребностям объекта, то придется либо менять устройство, либо устанавливать дополнительное оборудование.

Расчет ветрогенератора. Собственно, этот момент является самым сложным и спорным во всей процедуре. Для этого используются формулы определения мощности потока, приведенные выше.

В качестве примера рассмотрим расчет простого варианта. Формула мощности ветрового потока P (Вт) представлена уравнением и выглядит следующим образом:

$$P = k R V^3 S / 2, \quad (1.5)$$

где k – коэффициент использования энергии ветра (величина, по своей сути близкая к КПД), принимается в пределах 0,2-0,5;

R – плотность воздуха. Имеет разные значения, для простоты примем равную $1,2 \text{ кг/м}^3$;

V - скорость ветра, м/с;

S - площадь покрытия ветроколеса (покрываемая вращающимися лопастями), м^2 .

Считаем: при радиусе ветроколеса 1 м и скорости ветра 4 м/с:

$$P = 0,3 \times 1,2 \times 64 \times 1,57 = 36,2 \text{ Вт}$$

Результат показывает, что мощность ветрового потока равняется 36 Вт. Этого очень мало, но и метровая крыльчатка слишком мала. На практике используются ветроколеса с размахом лопастей от 3-4 метров, иначе производительность будет слишком низкой.

При расчете ветряка следует учитывать особенности конструкции ротора. Существуют крыльчатки с вертикальным и горизонтальным типом вращения, имеющие разную эффективность и производительность. Наиболее эффективными считаются горизонтальные конструкции, но они имеют потребности в высоких точках установки.

Не менее важным будет обеспечение достаточной мощности крыльчатки для вращения ротора генератора. Устройства с тугими роторами, позволяющие получать хороший выход энергии, требуют немалой мощности на валу, что может обеспечить только крыльчатка с большой площадью и диаметром лопастей.

Не менее важным моментом являются параметры источника вращения, т.е. ветра. Перед производством расчетов следует как можно подробнее узнать на сайте ближайшей метеостанции о силе и преобладающих направлениях ветра в данной местности. Учесть возможность ураганов или шквалистых порывов, узнать, с какой частотой они могут возникать. Неожиданное возрастание скорости потока опасно разрушением ветряка и выводом из строя преобразующей электроники.

На КПД ветрогенератора оказывают значительное влияние аэродинамические характеристики устанавливаемых на него лопастей, поэтому перед их

изготовлением производятся специальные расчеты. В результате проведения таких расчетов изделия проверяются на соответствие полученных результатов требуемым параметрам и прочим требованиям, предъявляемым к ним.

Контрольные вопросы

1. Назначение ветроэнергетической установки и ее элементы.
2. Назначение аккумулятора в автономной ветроэлектрической установке.
3. Какое назначение ветрогенератора и его основной рабочий орган?
4. Что понимают под ометаемой площадью ветроколеса?
5. Чем определяется мощность ветроколеса?
6. Что такое геометрическое заполнение ветроколеса? На что оно влияет?
7. Чем определяется быстроходность ветроколеса?
8. Что такое расчетная скорость ветра для ветрогенератора?
9. Какой тип ветрогенератора необходим для привода поршневого насоса и электрогенератора?
10. Каким оборудованием и как поддерживается постоянство скорости вращения ветроколеса (быстроходного, тихоходного)?

Содержание отчета

Отчет о лабораторно-практической работе должен содержать:

1. Краткие теоретические сведения-определения, математические выражения с пояснениями по устройству и основным характеристикам ветроустановок.
2. Схемы горизонтальных и вертикальных ветроэнергетических установок с основными узлами, поясняющими принцип их работы.
3. Расчеты мощности ветрогенератора, согласно выданному варианту.

Литература

1. Нагорный, Н. И. Ветроэнергетическая установка малой мощности за окном / Н. И. Нагорный, С. А. Харченко // Юный ученый. – 2022. – № 3 (55). – С. 65–73. – Режим доступа : <https://moluch.ru/young/archive/55/2823/>. – Дата доступа : 05.01.2023.
2. Калькулятор расчета прогнозируемой мощности ветрогенератора [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://inomix.ru/kalkulator-rasceta-prognoziruemoj-mosnosti-vetrogeneratora-s-poasneniami>. – Дата доступа : 08.02.2023.
3. Кинетический ветрогенератор: устройство, принцип работы, применение [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://sovet-ingenera.com/eco-energy/generators/kineticheskij-vetrogenerator.html>. – Дата доступа : 11.01.2023.
4. Ветроэнергетика. Общие сведения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki>. – Дата доступа : 28.02.2021.

5. Ветроэнергетика. Плюсы и минусы ветроэнергетики [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://alternativenergy.ru/vetroenergetika/581-plyusyminusy-vetroenergetiki.html>. – Дата доступа : 28.02.2021.

6. Энергия ветра. Частная ветроэнергетика [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://altenergiya.ru/veter/vetroenergetika-plyusy-i-minusy.html>. – Дата доступа : 05.03.2021.

7. Ветроэнергетика. Возобновляемый источник энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.energieeolienne.fr>. – Дата доступа : 16.04.2021.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Задание для расчета размера реактора биогазовой установки**Вид и количество животных в хозяйстве**

Вариант	КРС	Свиньи	Птица
1	210	730	4500
2	215	720	5000
3	312	715	4300
4	318	735	5510
5	250	830	3500
6	301	810	4715
7	274	815	5525
8	350	920	7210
9	390	910	8120
10	410	615	6845
11	185	770	8550
12	370	845	7840
13	292	515	9455
14	335	955	8350
15	280	987	5830

Приложение 2

Задание для расчета мощности ветрогенератора ВЭУ**Виды потребления электроэнергии и их суммарные мощности отдельного хозяйствующего субъекта**

Вариант	Потребители и их суммарная мощность, Вт					
	Наружное освещение	Внутреннее освещение	Бытовые приборы	Технологические агрегаты	Водоснабжение	Отопление
1	702	1210	1891	7880	450	4352
2	854	1289	1851	6594	487	4981
3	728	1187	1789	6389	559	5521
4	568	1110	1992	9725	537	4598
5	658	1342	2023	11251	624	7851
6	875	1281	2088	11583	658	5598
7	957	1368	2120	9350	624	7589
8	930	1487	2241	12450	598	7218
9	658	1458	2175	12874	724	6687
10	784	1423	2029	10298	658	8521
11	821	1098	1984	8752	591	6892
12	977	1299	2194	13482	681	7487
13	869	1387	2345	13798	754	7981
14	1012	1452	2394	14562	798	8124
15	697	986	1875	6892	599	5952

Отечественные ветроэлектрические установки

Технические характеристики ветроэлектрических установок

Показатели	Тип установки				
	АВЭУ-6-1	АВЭУ-6-2	АВЭУ-6-4	ВЭУ-250	VL-45
Диаметр ветроколеса, м	6	6	5	26	12,6
Число лопастей, штук	2	2	2	3	3
Высота башни, м	6,93	6,93	6,93	30	12,0
Номинальная мощность электрогенератора, кВт	1,0	2,0	4,0	250	45
Номинальная частота вращения ветроколеса, мин. ⁻¹	186	186	186	44	80
Скорость ветра, м/с					
стартовая	4,0	4,5	5,0	4,5	3
минимальная расчетная	6-6,5	7-7,5	9,5-10,0	9,5-10,0	11,5
Масса ветроагрегата (без фундамента), кг	800	850	900	25000	3700

Основные зарубежные производители ветроэлектрических установок

Технические характеристики ветроэлектрических установок

Показатели	Тип установки				
	Aeolos-n (Дания)	Aeolos-n (Дания)	Enercon E-80 (Германия)	Fair Wind F16 (Бельгия)	LMW-3600 (Голландия)
Диаметр ветроколеса, м	6,4	18	18	4,0	5,0
Число лопастей, штук	3	3	3	3	3
Высота башни, м	9	18	53	18,0 (диаметр ротора, вертикальная)	17,0
Номинальная мощность электрогенератора, кВт	5,0	50,0	80,0	10,0	3,6
Номинальная частота вращения ветроколеса, мин. ⁻¹	-	-	120	320	430
Скорость ветра, м/с					
стартовая	3,0	3,0	3,0	3,0	4,0
минимальная расчетная	10,0	10,0	12,0	15,0	12,0
Масса ветроагрегата (без фундамента), кг	420	3120	5920	1800	3700

Учебное издание

**Пилецкий Иван Васильевич,
Гончаров Александр Владимирович,
Карпеня Алексей Михайлович**

**БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА.
БИОГАЗОВЫЕ И ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ
УСТАНОВКИ**

Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск В. Н. Подрез
Технический редактор Е. А. Алисейко
Компьютерный набор С. Л. Титюева
Компьютерная верстка Т. А. Никитенко
Корректор Е. В. Морозова

Подписано в печать 28.09.2023. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 2,0. Уч.-изд. л.1,60. Тираж 300 экз. Заказ 2399.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Витебская ордена «Знак Почета»
государственная академия ветеринарной медицины».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/ 362 от 13.06.2014.
ЛП №: 02330/470 от 01.10.2014 г.
Ул. 1-я Доватора, 7/11, 210026, г. Витебск.
Тел.: (0212) 48-17-82.
E-mail: rio@vsavm.by
<http://www.vsavm.by>