

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ
РЕВОЛЮЦИИ И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»**

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

**КАФЕДРА МЕХАНИЗАЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА
И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО
ПРОИЗВОДСТВА**

СОГЛАСОВАНО

Председатель методической
комиссии факультета механизации
сельского хозяйства

_____ К. Л. Пузевич

«___» _____ 2022 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета механизации
сельского хозяйства

_____ В. В. Гусаров

«___» _____ 2022 г.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

**ОСНОВЫ ЭНЕРГО-
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ**

для специальности

**1-74 06 01 Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного
производства**

**Горки
БГСХА
2022**

Рассмотрен и утвержден научно-методическим советом учреждения образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия» (протокол № _____ от «__» декабря 2022 г.), рег. № _____

Составители:

МЕЛЕХОВ А. В., старший преподаватель кафедры механизации животноводства и электрификации сельскохозяйственного производства учреждения образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»;

МАЧЕХИН К. А., старший преподаватель кафедры механизации животноводства и электрификации сельскохозяйственного производства учреждения образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия».

Рецензенты:

ШЕЙКО И.П., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик НАН Беларуси, РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству»;

БАРАНОВ Ю.А., начальник цеха механизации по отделению г. Горки, РУП «Учхоз БГСХА».

Основы энерго- и ресурсосбережения : Учебно-методический комплекс / Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. Сост. А.В. Мелехов, К. А. Мачехин. – Горки : БГСХА, 2022.

© Учреждение образования
«Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия»,
2022

СОДЕРЖАНИЕ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА	4
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	6
1.1. Обеспеченность студентов учебной литературой по дисциплине «Ос- новы энерго- и ресурсосбережения»	6
1.2. Тематический план чтения лекций по учебной дисциплине «Основы энерго- и ресурсосбережения»	7
1.3. Примерный конспект лекций	8
2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	114
2.1. Тематический план лабораторных занятий по дисциплине «Основы энерго- и ресурсосбережения»	115
2.2. Методические указания по выполнению лабораторных работ	116
2.3. Тематический план практических занятий по дисциплине «Основы энерго- и ресурсосбережения»	145
2.4. Методические указания к практическим занятиям	146
3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ	212
3.1. Вопросы текущей аттестации по учебной дисциплине «Основы энер- го- и ресурсосбережения»	212
3.2. Критерии оценки знаний по учебной дисциплине «Основы энерго- и ресурсосбережения»	214
4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ	216
4.1. Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине «Основы энерго- и ресурсосбережения»	216

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Энергосбережение – это самый эффективный способ развития современной мировой энергетики. Поэтому необходимо проводить обучение студентов по энерго- и ресурсосбережению, что способствует осознанию глобальных проблем истощения природных ресурсов, дает представление о потенциале и мерах энерго- и ресурсосбережения.

Настоящий учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Основы энерго- и ресурсосбережения» разработан в соответствии с требованиями образовательного стандарта высшего образования I ступени по специальности 1-74 06 01 «Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства» (ОСВО 1-74 06 01-2019), учебной программы УВО по указанной дисциплине.

В представленном УМК объединены структурные элементы научно-методического обеспечения учебной дисциплины. «Основы энерго- и ресурсосбережения».

Цель УМК – планирование и организация методического обеспечения образовательного процесса с учетом специфических условий профессиональной направленности и потребностей организаций – заказчиков кадров; взаимосвязь образовательного процесса с научно-исследовательской работой обучающихся; использование компонентов контроля знаний в ходе текущей аттестации обучающихся.

Задачи УМК: обеспечение своевременного отражения результатов достижений науки, техники и технологий, культуры и производства в сферах, связанных с изучаемой учебной дисциплиной;

последовательное изложение учебного материала, реализация междисциплинарных связей, исключение дублирования учебного материала;

использование современных методов, технологий и технических средств в образовательном процессе;

рациональное распределение времени по темам учебной дисциплины и учебным занятиям в зависимости от формы получения высшего образования, совершенствование методики проведения учебных занятий и др.

Учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Основы энерго- и ресурсосбережения» предназначен для организации учебного процесса по дисциплине и содержит основной теоретический материал, включает учебные программы по соответствующим темам, а также планы лабораторных и практических занятий, средства педагогического контроля.

Учебная дисциплина «Основы энерго- и ресурсосбережения» относится к государственному компоненту учебного плана.

В соответствии с учебными планами на изучение учебной дисциплины «Основы энерго- и ресурсосбережения» предусматривается следующее распределение часов:

для дневной формы получения высшего образования с полным сроком обучения – всего 120 часов (3 зачетные единицы), в том числе 48 аудиторных часов и 72 часа самостоятельной работы студентов;

для дневной формы получения высшего образования с сокращенным сроком обучения – всего 120 часов (3 зачетные единицы), в том числе 42 аудиторных часа и 62 часа самостоятельной работы студентов;

для заочной формы получения высшего образования с полным сроком обучения – всего 120 часов (3 зачетные единицы), в том числе 12 аудиторных часов и 108 часов самостоятельной работы студентов;

для заочной формы получения высшего образования с сокращенным сроком обучения – всего 120 часов (3 зачетные единицы), в том числе 10 аудиторных часов и 94 часа самостоятельной работы студентов.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1. Обеспеченность студентов учебной литературой по дисциплине «Основы энерго- и ресурсосбережения»

№ п.п.	Библиографические данные	Наличие в библиотеке УО БГСХА	
		кол-во экз.	местонахождение
1	Добыш, Г. Ф. Основы энергосбережения в сельскохозяйственном производстве / Г. Ф. Добыш – Минск, 2015. – 343 с.	15	чит. зал (5), хранилище (6), ф-л заочн. отд. (4)
2	Андрижиевский, А. А. Энергосбережение и энергетический менеджмент : учебное пособие / А. А. Андрижиевский, В. И. Володин. – 2-е изд., испр. – Минск : Вышэйшая школа, 2005. – 294 с.	3	чит. зал (1), хранилище (1), ф-л заочн. отд. (1)
3	Основы энергосбережения : учебное пособие / Б. И. Врублевский [и др.] ; ред. Б. И. Врублевский. – Гомель : Развитие, 2002. – 190 с.	11	чит. зал (6), хранилище (3), ф-л заочн. отд. (2)
4	Пестис, В. К. Основы энергосбережения в сельскохозяйственном производстве : учебное пособие / В. К. Пестис, П. Ф. Богданович, Д. А. Григорьев. – Минск : ИВЦ Минфина, 2008. – 199 с.	6	чит. зал (2), хранилище (2), ф-л заочн. отд. (2)
5	Энергоресурсосбережение в животноводстве / Н. С. Яковчик [и др.] ; ред. В. В. Валуев. – Минск : Дзбор, 1998. – 292 с.	30	чит. зал (5), хранилище (11), ф-л № 1 (14)
6	Самойлов, М. В. Основы энергосбережения : учебное пособие / М. В. Самойлов, В. В. Паневчик, А. Н. Ковалев. – 2-е изд. стер. – Минск : БГЭУ, 2003. – 198 с.	5	чит. зал (3), хранилище (2)
7	Позняк, С. С. Энергосбережение и альтернативная энергетика / С. С. Позняк. – Минск: Право и экономика, 2015. – 188 с.	3	чит. зал (1), хранилище (1), ф-л заочн. отд. (1)
8	Добышев, А. С. Энергосберегающие технологии и машины для возделывания сельскохозяйственных культур: монография / А. С. Добышев, Ф. Ф. Зубиков, К. Л. Пузевич. – Горки, 2014. – 160 с.	11	чит. зал (6), хранилище (3), ф-л заочн. отд. (2)
9	Позняк, С. С. Энергосбережение и альтернативная энергетика / С. С. Позняк. – Минск: Право и экономика, 2015. – 188 с.	5	чит. зал (3), хранилище (2)

**1.2. Тематический план чтения лекций по учебной дисциплине
«Основы энерго- и ресурсосбережения»
для специальности 1-74 06 01 «Техническое обеспечение процессов
сельскохозяйственного производства»**

№ п.п.	Тема лекции	Количество часов для форм обучения			
		дневная, полный срок обучения	дневная, сокр. срок обучения	заочная, полн. обучения	заочная, сокр. сроки обучения
1	Топливо-энергетические ресурсы Республики Беларусь	2	2	1	1
2	Производство энергии традиционными методами	2	2	1	1
3	Производство энергии на основе возобновляемых источников	4	4	2	1
4	Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР)	2	2	-	-
5	Управление энергосбережением и энергопотреблением	2	2	-	-
6	Энергосбережение в общепроизводственных процессах и в быту	2	2	-	-
7	Ресурсосбережение в сельскохозяйственном производстве	4	2	1	-
8	Организационно техническое обеспечение ресурсосберегающих технологий производства кормов для животноводства	4	2	1	1
9	Резервы энергосбережения в сельскохозяйственном производстве	2	2		-
	Итого:	24	20	6	4

1.3. Примерный конспект лекций

ТЕМА 1. Топливо-энергетические ресурсы Республики Беларусь

1.1. Содержание дисциплины «Основы энерго- и ресурсосбережения»

Дисциплина включает изучение следующих разделов:

- Введение в дисциплину «Основы энергосбережения»;
- Классификация источников энергии, способов ее получения и использования;
- Возобновляемые источники энергии;
- Экологические аспекты энергетики и энергосбережения;
- Транспортирование и потребление тепловой и электрической энергии;
- Энергосберегающие технологии на основе использования ВЭР;
- Бытовое сбережение;
- Контроль основных параметров. Схемы автоматизации. Приборы учета и контроля расхода энергоресурсов;
- Основы энергетического аудита и менеджмента;
- Оценка энергетической эффективности технологий в животноводстве и растениеводстве;
- Экономия энергоресурсов при эксплуатации МТП;
- Снижение энергозатрат на водоснабжение и поение животных;
- Пути снижения энергозатрат при механизации и электрификации производственных процессов;
- Устройства для обработки стоков и охраны окружающей среды;
- Образование отходов и их переработка в РБ.

1.2. История использования энергии человеком

Энергия (от греч. *energeia* – действие, деятельность) – общая мера различных форм движения материи, используемая для количественной характеристики форм движения и соответствующих им взаимодействий.

Различают потенциальную, внутреннюю, химическую, механическую, магнитную, ядерную, гравитационную и другие виды энергии. Все они превращаются друг в друга в определенных количественных соотношениях.

При превращениях энергии совершается **работа**, которая характеризует изменение состояния вовлеченных в движение материальных тел (их перемещение относительно друг друга, изменение температуры и т. д.). Понятия «работа» и «энергия» тесно взаимосвязаны: энергия — это мера совершенной или еще не совершенной работы.

Работа и энергия измеряются в одних и тех же единицах:

в джоулях (Дж) – в Международной системе СИ;
в киловатт-часах – применительно к электроэнергии;
в калориях – применительно к тепловой энергии и калорийности пищи;
в килограммах условного топлива – применительно к производственным технологическим процессам.

Все конкретные виды энергии эквивалентны друг другу и при определенных условиях взаимозаменяемы:

$$1 \text{ МДж} = 0,278 \text{ кВт-ч} = 0,034 \text{ кг у.т.} = 238,7 \text{ ккал.}$$

Перевод натурального топлива в условное осуществляется по формуле:

$$a = 7000 / g_n,$$

где g_n – низшая теплота сгорания, ккал./кг.

Энергия, заключенная в пище, тратится на мускульную работу, поддержание постоянной температуры тела, а также на сложные физико-химические и биологические процессы, происходящие в организме. Суточная потребность в энергии одного человека оценивается величиной $E_0 = 10^7$ Дж (~2,4—3 тыс. ккал).

В сельском хозяйстве долгое время использовалась исключительно **мускульная энергия человека** – труд рабов, который не стимулировал внедрение новых орудий труда и механизмов. Один из первых энергетических кризисов, с которым столкнулось человечество, произошел в эпоху рабовладения. Труд рабов был столь же малопроизводителен, сколь и дешев. Все время изыскивались пути, чтобы заставить раба больше работать, не увеличивая при этом расходов на его содержание.

Мускульную энергию домашних животных человек стал использовать с древнейших времен. В древних рукописях упоминаются «осел оросительного канала» и «быки богов», которые употреблялись для полива полей.

Тепловую энергию человек стал получать, сжигая дрова и уголь, позднее – газ, нефть, ядерное горючее или концентрируя солнечные лучи.

Механическую энергию стали получать, используя движение воды или силу ветра. Первое из сохранившихся письменных упоминаний о ветряной мельнице в Европе относится к 1105 г. В XVII в. некоторые голландские ветряки достигали высоты современного десятиэтажного дома, размах их приближался к 24 метрам, а мощность — к 50 л. с.

Электрическая энергия стала использоваться в конце XIX века. Выработка электроэнергии в современном мире удваивается каждые 10-15 лет. Суммарная мощность всех электростанций мира (1,5 млрд. кВт) уже соизмерима с мощностью воздушных течений на планете (25—35 млрд. кВт), ураганов (30—40 млрд. кВт), приливов (2—4 млрд. кВт).

Достигнутый уровень современной цивилизации непосредственно связан с уровнем энергообеспеченности. В XIX столетии потребление энергии в мире на душу населения составляло $2 E_0$. К двадцатым годам XX века — до $3 E_0$. В конце 60-х годов — $12 E_0$. К 2000 году энергообеспеченность в промышленно развитых странах достигла почти $200 E_0$.

В структуре топливно-энергетического баланса США, Канады и стран Европы доля АПК составляет 10-20%, в развивающихся странах она превышает 25%. За каждые 15 лет потребление энергии в сельскохозяйственном производстве возрастает в 2 раза.

Энергетика – область хозяйства, охватывающая энергетические ресурсы, выработку, преобразование, передачу и использование различных видов энергии.

1.3. Мировой энергетический кризис и его последствия

Началом мирового энергетического кризиса принято считать 1973 год, когда цены на нефть на мировом рынке резко возросли в 4 раза. Анализ количества разведанных запасов угля, нефти, газа и других энергоресурсов выявил их скорую истощаемость.

Во многих странах начали вести поиск других, альтернативных источников энергии. Стали появляться многочисленные энергетические программы и проекты использования энергии солнца и ветра, морских волн и приливов, тепла подземных вод, гейзеров.

Энергетический кризис заставил по-иному взглянуть на сельское хозяйство. Наибольшую тревогу вызывает то, что рост энергозатрат не пропорционален увеличению объема продукции. Например, чтобы повысить объем производства сельскохозяйственной продукции в США вдвое, потребовалось в 10 раз увеличить расход энергии.

Энергозатраты при производстве молока на современных комплексах по сравнению с обычными фермами возрастают в 4 раза, свинины — в 14, яиц — в 5 раз. На производство 1 кг протеина молока требуется израсходовать 25—30 кг условного топлива, а на 1 кг протеина мяса — 12 кг. Для орошения 1 гектара земли необходимо затратить количество энергии, эквивалентное примерно 1 т условного топлива. Эта тенденция — неизбежное следствие *специфики современного сельскохозяйственного производства*:

– чтобы повысить объем продукции, человек уменьшает затраты энергии растений и животных на поддержание их жизнедеятельности, преодоление неблагоприятных условий внешней среды и прирост биомассы путем использования дополнительных источников энергии.

1.4. Общая характеристика топливно-энергетического комплекса Республики Беларусь

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) является важнейшей структурной составляющей народного хозяйства Республики Беларусь в обеспечении функционирования экономики и повышения уровня жизни населения. ТЭК включает системы добычи, транспорта, хранения, производства и распределения всех видов энергоносителей: газа, нефти и продуктов ее переработки, твердых видов топлива, электрической и тепловой энергии. Отрасли комплекса занимают значительное место в народном хозяйстве республики.

На них приходится 26 % капитальных вложений в промышленность, почти пятая часть основных производственных фондов, 14 % валовой продукции промышленности отрасли.

Электроэнергетика республики представляет собой постоянно развивающийся высокоавтоматизированный комплекс, объединенный общим режимом работы и единым централизованным диспетчерским управлением. В настоящее время производственный потенциал белорусской энергосистемы включает около 40 электростанций с суммарной установленной мощностью 7,818 МВт. Из них: 20 ТЭЦ, 9 ГРЭС и 9 электростанций находится при крупных предприятиях. Общая длина линии электропередач составляет 3951 км с напряжением 750 кВ; 2279 км — 220 кВ и 15 957 км — 110 кВ. Беларусь связана с энергосистемами России (2 линии на 330 кВ и линия на 750 кВ), стран Балтии (4 линии на 330 кВ и линия на 750 кВ), Украины (2 линии на 330 кВ) и Польши (линия на 220 кВ). Максимальное потребление электроэнергии уменьшилось с 8500 МВт в 1990 г. до 5800 МВт в 1996 г.

В период после 1991 г. развитие отрасли замедлилось, что обусловлено общим экономическим спадом и снижением электропотребления. Так, в 1996 г. электропотребление было на самом низком уровне и составило 32 млрд кВт·ч, или на 34,8 % ниже, чем в 1991 г., когда было отмечено самое высокое электропотребление за все время существования белорусской энергосистемы.

В 1998 г. белорусские электростанции произвели примерно 26 млрд кВт·ч электроэнергии. Было потреблено 33 млрд кВт·ч. С учетом потерь в 3,8 млрд кВт·ч при распределении Беларуси пришлось импортировать для обеспечения всех энергопотребностей более 10 млрд кВт·ч электроэнергии со Смоленской и Игналипской АЭС.

Среднегодовой удельный расход топлива на выработку электро- и теплоэнергии находится на уровне 276,6 г/кВт·ч и 173,5 кг/Гкал соответственно, что сопоставимо с мировыми аналогами. Достигнутый уровень экономичности обусловлен, главным образом, структурой генерирующих мощностей с широким использованием теплофикации (из общей мощности энергосистемы 3,3 млн кВт установлено на конденсационных станциях и 3,9 млн кВт — на теплоэлектроцентралях, где обеспечивается комбинированная выработка тепловой и электрической энергии). В последние годы удельные расходы топлива изменились незначительно, что обусловлено недостаточным вводом нового, более экономичного оборудования.

Сегодня Беларусь занимает одно из последних мест по экономическим и энергетическим показателям среди стран с аналогичными климатическими условиями. Скажем, в 1994 г. потребление энергоресурсов в нашей стране в расчете на душу населения составило 2,69 т нефтяного эквивалента, и это значительно меньше, чем в большинстве стран с аналогичными климатическими условиями. Еще один важный показатель — эффективность использования энергии — остается на низком уровне; в Беларуси он составил 0,8 дол. США в ВВП на 1 кг нефтяного эквивалента потребляемой электроэнергии.

Одной из наиболее важных и сложных проблем электроэнергетики является старение основного оборудования электростанций. В настоящее время 60 % оборудования практически выработало свой технический ресурс, работоспособность его поддерживается за счет ремонтов, объемы которых ежегодно возрастают. Согласно оценкам специалистов, в 2000 г. около половины электростанций нашей страны выработали свой ресурс, к 2010 г. необходимо будет заменить порядка 80 % установленных мощностей. Следовательно, требуется широкомасштабное техническое перевооружение отрасли с использованием передовых технологий. Расчеты стоимости полной реконструкции всей энергосистемы Беларуси никогда не производились. Ориентировочно эти расходы могут быть измерены суммой от 5 до 30 млрд дол. США. Проведенные исследования показали, что простая замена оборудования и продление ресурса энергоблоков — не самый дешевый способ. Специалисты пришли к выводу, что наиболее выгодной является модернизация и реконструкция существующих электростанций и котельных путем внедрения современных газотурбинных и парогазовых установок с более высоким КПД. Сейчас по новейшей технологии за счет кредита Европейского банка реконструкции и развития осуществлена модернизация Оршанской ТЭЦ с применением французского оборудования. При модернизации Оршанской ТЭЦ установлена первая в республике парогазовая установка, позволяющая довести коэффициент полезного топливоиспользования до 70—80 %.

Эффективность и надежность теплоснабжения также является одной из проблем, так как на него приходится более половины топливопотребления, значительные материальные и трудовые ресурсы.

Острейшими проблемами отрасли остаются сегодня неплатежи потребителей за использованную электрическую и тепловую энергию, перекрестное субсидирование, при котором промышленные предприятия вынуждены оплачивать полученную энергию по повышенным тарифам, компенсируя оплату льготных потребителей, в основном населения. Таким образом, при перекрестном субсидировании промышленные предприятия оплачивают потребление электроэнергии населением и неплатежи за электроэнергию. Это вызывает увеличение себестоимости промышленной продукции республики, что негативно влияет на ее конкурентоспособность на внешнем рынке, отказ промышленных потребителей от услуг централизованного теплоснабжения и строительство собственных источников промышленными предприятиями, что в итоге ведет к перерасходу топлива в целом по республике.

В условиях ограниченности собственной ресурсной базы актуальными являются проблемы энергетической безопасности республики, дефицита финансовых средств в энергетической отрасли, прекращения государственных поставок мазута, полной зависимости республики по топливообеспечению от основного поставщика — России.

Под энергетической безопасностью подразумевается гарантия надежного и бесперебойного энергоснабжения страны в нормальных условиях и в чрезвычайных ситуациях. Проблема обусловлена тем, что мы покупаем более 80

% топлива за границей (преимущественно в России) и частично закупает у соседних стран электроэнергию. Такое положение не обеспечивает энергетической безопасности, без которой не может быть и независимости политической.

Необходимыми условиями достижения энергетической независимости и безопасности государства является не только наличие резерва электрической и тепловой мощности, запасов топлива, надежность оборудования и т.д., но и соблюдение некоторых критериев. Первый — если энергетика страны основывается на импорте топлива, то закупки не должны осуществляться в одной стране. Второй — доля каждого вида топлива имеет свою предельную величину, энергетика не должна развиваться только на одном виде топлива.

Сейчас в Беларуси не соблюдается первый критерий: практически все топливо для энергосистемы завозится из России. Мы вплотную подошли и к нарушению второго критерия энергетической безопасности. Согласно ему, доля природного газа не должна превышать 60—65 %, так как электростанции на газе работают в режиме непрерывной доставки топлива, а отсутствие альтернативы требует больших и экономически неоправданных запасов резервного топлива (например, мазута) или строительства громадных газовых хранилищ.

Более того, в развитых странах для обеспечения энергетической безопасности государства создается резерв — избыток энергетических мощностей не менее 15 % по сравнению с пиковой нагрузкой.

Перспективное развитие электроэнергетики должно быть направлено на обеспечение возрастающего спроса на электро-и теплоэнергию, потребление которых, по расчетам Министерства экономики Республики Беларусь, к 2015 г. достигнет 50—55 млрд кВт·ч и 90 млн Гкал соответственно. Для этого требуется наращивание их выпуска с учетом роста объемов производства продукции в условиях активизации энергосбережения. В настоящее время потребности республики в электроэнергии удовлетворяются на 77 % за счет выработки на собственных электростанциях и 23 % — за счет импорта. В то же время установленные мощности энергосистемы позволяют полностью удовлетворить внутренние потребности. Однако получается, что импортировать электроэнергию зачастую выгоднее, чем производить ее на собственных мощностях.

Стоимость одного кВт·ч белорусской электроэнергии составляет 0,034 дол. США; средняя стоимость импортного кВт·ч электроэнергии — 0,029 дол. США. Одна из причин того, что Беларусь не увеличивает импорт электроэнергии состоит в том, что не найдены схемы расчетов с импортерами. Возможности импорта из России к 2015 г. могут быть снижены в связи с ростом ее внутренних потребностей; к этому же времени будет исчерпан ресурс оборудования Игналинской АЭС (Литва). Таким образом, возможный в 2015 г. импорт электроэнергии из России, по оценкам специалистов, не превысит 5 млрд кВт·ч в год. Но сегодня около 85% энергопотребления обеспечивается за счет поставок энергоносителей из-за рубежа. В общем объеме импорта их доля в денежном выражении достигает 60 % и составляет порядка

1,5 млрд дол. США — величина расходной статьи годового республиканского бюджета. Беларусь имеет уже хроническую задолженность за поставляемый природный газ, нефть, а также электроэнергию.

Для устойчивого и надежного обеспечения республики электро- и теплоэнергией остальная часть спроса на важнейший вид энергии должна покрываться только за счет собственного производства. Это обуславливает необходимость ввода новых генерирующих мощностей и технического перевооружения действующих на основе внедрения новейших парогазовых технологий с автоматизированными системами управления.

Использование данных технологий будет способствовать росту КПД электростанций, повышению надежности энергообеспечения, экономии топлива. По предварительным расчетам, коэффициент опережения темпа роста объема продукции отрасли над темпом роста потребления топливно-энергетических ресурсов составит около 2 % ежегодно.

Ряд инвестиционных проектов по вводу мощностей на малых ТЭЦ, Минской ТЭЦ-5, первый блок которой был запущен в 1999 г., предусматривает реализацию прогрессивных технологий. Целесообразна также модернизация и техническое переоснащение существующих ТЭЦ на основе использования парогазовых циклов. Результатом реализации предлагаемых проектов станет увеличение генерирующих мощностей, что позволит произвести в 2015 г. 50 млрд кВт-ч электроэнергии.

Реализация проектов внедрения парогазовых циклов на ряде действующих на территории республики электростанций поможет значительно сократить к 2015 г. импорт энергии из России.

За год Беларусь потребляет около 75 млн Гкал тепловой энергии. Существенное повышение надежности и экономичности теплоснабжения будет достигнуто при переходе на сооружение бесканальных теплотрасс из изолированных трубопроводов, обеспечивающих потери тепла на уровне 2 % на протяжении всего срока службы.

В условиях ограниченности собственных энергоресурсов актуальным представляется расширение ресурсной базы электроэнергетики. Увеличение доли природного газа в топливообеспечении генерирующих объектов с 69 до 89 % позволит существенно улучшить экологическую ситуацию в республике.

В настоящее время за счет модернизации и реконструкции энергообъектов на основе новейших технологий решается проблема замены физически и морально устаревшего оборудования. На этой основе увеличение объемов демонтажа устаревшего оборудования на предприятиях отрасли позволит достичь снижения среднеотраслевого износа активной части основных промышленно-производственных фондов с 54,7 до 37 %. Это потребует значительных финансовых средств, основными источниками которых станут отраслевой инновационный фонд, собственные средства энергообъединений, накапливаемые за счет амортизационных отчислений и прибыли, и иностранные инвестиции. В результате реализации предложенных проектов

ожидается значительное улучшение эффективности работы энергопредприятий.

Несмотря на неоднозначное отношение к вопросу развития атомной энергетики и исходя из условия ограниченности собственных топливных ресурсов, обеспечения энергетической безопасности, а также оценки эколого-экономической эффективности, необходимо окончательно определиться с возможностью или невозможностью формирования в Беларуси атомной энергетики. Созданная распоряжением Совета Министров комиссия по оценке целесообразности развития в Республике Беларусь атомной энергетики признала, что необходимо продолжить работы по подготовке к развитию атомной энергетики в Беларуси.

Топливная промышленность. Беларуси представлена предприятиями по добыче и переработке нефти и торфа, среди которых доминируют крупнейшие нефтеперерабатывающие предприятия.

Объем добычи нефти в республике находится на уровне 1,8 млн т в год, что покрывает внутренние потребности в нефтепродуктах на 12%. Эксплуатационный фонд ПО "Беларуснефть" включает 544 скважины, ежегодные объемы бурения порядка 65 тыс. м обеспечивают прирост промышленных запасов нефти в объеме 500—510 тыс. т, что компенсирует добычу менее, чем наполовину. Совершенствование системы планирования финансово-хозяйственной деятельности позволило снизить стоимость одного метра проходки при бурении на 12,6 %. Происходит прогнозируемое снижение объемов добычи, так как разведанные крупные месторождения находятся в заключительной стадии разработки, а вновь осваиваемые характеризуются малыми размерами и небольшими запасами. Эти запасы относятся к трудноизвлекаемым, для их извлечения требуются новейшие технико-технологические средства.

Усложнение горно-геологических условий (увеличение глубин залегания, сложное построение, незначительные размеры месторождения нефти) потребует применения высокопроизводительного нефтедобывающего оборудования, новых технологий воздействия на нефтяные пласты, автоматизации производственных процессов с целью улучшения условий труда и повышения производительности.

Нефтеперерабатывающая промышленность представлена двумя нефтеперерабатывающими предприятиями суммарной мощностью около 40 млн т переработки в год сырой нефти. Глубина переработки нефти находится на уровне 80-85%. Низким остается технический уровень ряда производств, износ основных фондов составляет около 70 %. По надежности оборудования, экологической безопасности, степени автоматизации и компьютеризации производственных процессов существует отставание от современных нефтеперерабатывающих заводов промышленно развитых стран.

Основными направлениями организационно-технологической перестройки нефтеперерабатывающей промышленности являются:

- наращивание производства и экспорта высококачественных нефтепродуктов, соответствующих требованиям международных стандартов;

– снижение энергетических и материальных затрат в процессах нефтепереработки и нефтехимии;

– вовлечение в глубокую переработку топочного мазута как основного и наиболее экономичного направления увеличения выработки моторных топлив.

Результатом мероприятий, направленных на повышение производственного потенциала нефтеперерабатывающих предприятий, станет увеличение производства к 2015 г. автомобильных бензинов в 2,5 раза, дизельных топлив — в 1,7 раза при одновременном сокращении выпуска топочного мазута на 10,6%. Более 40 % производимых нефтепродуктов предусматривается экспортировать, около 70 % экспорта придется на Российскую Федерацию.

В настоящее время добыча и переработка торфа ведется 35 предприятиями. Основными видами продукции являются: торфяные брикеты, торф кусковой и сфагновой. В 1997 г. объемы их производства составили соответственно 11515,9 и 27 тыс. т. Эксплуатационные запасы торфа на сырьевых базах предприятий оцениваются в 142,5 млн т, в том числе торфа, пригодного для брикетирования, — в 100 млн т. Запасы торфа на отведенных предприятиям площадях оцениваются в 46,3 млн т, в том числе пригодных для брикетирования — в 29 млн т.

Основной проблемой функционирования предприятий отрасли остается постоянный недостаток финансовых средств, вызванный несвоевременным и недостаточным по объему выделением бюджетных средств на покрытие разницы между оптовой и розничной ценами на брикет, поставляемый населению. Ограниченность финансовых ресурсов не позволяет обеспечить необходимое обновление активной части основных фондов, износ которых в целом по отрасли вырос до 61 %. На предприятиях эксплуатируется 82% полностью изношенного оборудования для добычи торфа, 85% оборудования для подготовки и ремонта фрезерных полей, до 10 % сушилок, 41% торфобрикетных прессов.

Повышение эффективности использования исходного сырья в торфяной промышленности предполагается достичь за счет применения новых технологий с улучшенными экологическими характеристиками. Одним из путей обеспечения населения и коммунально-бытовых предприятий местным топливом на основе торфа может быть развитие добычи кускового торфа. Предусматривается разработка прогрессивной технологии и оборудования для его добычи, что позволит вовлечь в разработку новые сырьевые ресурсы на месторождениях, ранее непригодных для его целей, увеличить коэффициент использования залежи при разработке до 0,7—0,8 и вовлечь в разработку малые месторождения. Кроме того, экскаваторный способ добычи кускового торфа позволит значительно улучшить качество готовой продукции, снизить затраты на ее производство.

Имеющиеся на сырьевых базах предприятий запасы торфа позволяют обеспечить производства брикетов на уровне 1600 тыс. т в период до 2008 г. с дальнейшим снижением объемов производства до 800 тыс. т. Частичное

выбытие мощностей по производству брикетов будет компенсироваться за счет увеличения добычи кускового торфа, объемы добычи которого составят в перспективе 200 тыс. т. В целях повышения уровня самообеспечения твердым топливом предусмотрено прекращение экспорта торфяных брикетов. К 2015 г. за счет производства торфяной продукции спрос на твердое топливо будет удовлетворяться на 20—23%.

Частично сократить поставки топлива из-за рубежа позволит расширение использования местных топливных ресурсов Республики Беларусь, таких как нефть, попутный газ, бурые угли, торф, древесина, отходы животноводства. Для Беларуси наиболее реальным источником замещения некоторой части импортируемого топлива может стать древесина и древесные отходы: по примеру скандинавских стран в ближайшие годы можно увеличить применение древесины в качестве топлива в 1,5—2 раза. Но расчеты показывают, что намеченные меры по энергосбережению, максимальному использованию местных топливных ресурсов и нетрадиционных источников энергии смогут увеличить обеспеченность собственным топливом лишь до 38—39%.

За счет собственных топливно-энергетических ресурсов республика сможет обеспечить потребности в энергии лишь на 15-18%, поэтому активизация политики энергосбережения становится приоритетным направлением во всех отраслях экономики и особенно в промышленности — основном потребителе энергоресурсов. Это будет достигнуто за счет:

- снижения энергоемкости продукции;
- повышения коэффициента полезного использования топлива;
- увеличения в топливном балансе республики доли местных видов топлива и отходов производства, нетрадиционных и возобновляемых источников.

Достижение поставленных целей и задач возможно только за счет комплексной реализации основных экономических, технических направлений в повышении эффективности использования ТЭР, что включает законодательно-правовую и нормативно-техническую базы, в состав которых войдут доработанные или новые стандарты, строительные нормы и правила технологического проектирования и ряд других документов нормативного характера, определяющих требования в области энергосбережения. Наиболее значимыми организационно-экономическими мерами являются следующие:

- снижение конечного потребления энергоресурсов за счет структурной перестройки промышленности, внедрение новых энергосберегающих технологий, оборудования, приборов и материалов;
- осуществление государственной экспертизы энергетической эффективности проектных решений с целью их оценки на соответствие действующим нормативам и стандартам в области энергосбережения и определения достаточности и обоснованности предусматриваемых мер по энергосбережению;

– введение для оценки работы министерств, ведомств таких показателей, как снижение суммарного объема и повышение коэффициента полезного использования котельно-печного топлива;

– поэтапный переход от нормирования расхода ТЭР на выпуск продукции (работ, услуг) к проведению регулярных аудитов промышленных предприятий и внесению удельных норм расхода ТЭР в соответствующие нормативные документы;

– ориентация тарифной политики на тепловую, электрическую энергию и топливо с целью поэтапного ухода от перекрестного субсидирования с включением в тариф только нормируемых затрат на производство и транспортировку соответствующих видов энергоресурсов;

– разработка новых и совершенствование существующих экономических механизмов, стимулирующих повышение энергоэффективности промышленного производства и определяющих меры ответственности за нерациональное потребление ТЭР как для хозяйствующих объектов в целом, так и для конкретных руководителей и должностных лиц;

– организация разработки и производства необходимых видов энергосберегающего оборудования, приборов и материалов.

Внедрение мероприятий по повышению эффективности использования ТЭР в промышленности потребует определенных финансовых затрат. Финансирование внедрения энергосберегающих мероприятий должно осуществляться в основном за счет собственных средств предприятий. Кроме того, могут использоваться средства инновационных фондов соответствующих министерств, других органов управления, часть инновационного фонда концерна "БелЭнерго", направляемых на цели энергосбережения. На отдельные быстроокупаемые мероприятия должны предусматриваться льготные кредиты.

Важную роль в финансировании крупномасштабных проектов по экономии энергии начинает играть созданный в 1997 г. республиканский фонд "Энергосбережение".

Эффективная реализация перспективной энергосберегающей политики позволит снизить энергоемкость промышленной продукции и приблизить этот показатель к уровню европейских стран.

1.5. Сравнительные характеристики энергоемкости продуктов в мире и в Беларуси

Согласно данным зарубежных аналитиков, экономика советского типа потребляла в 2-3 раза больше энергии на единицу продукции, чем экономика США и Европы. Характерная динамика энергоемкости национального дохода за это время существенно не изменилась, характеристики энергопотребления сохраняют свою актуальность. Опыт развитых стран, где осуществляются программы энерго- и ресурсосбережения, показывает, что существуют реальные резервы снижения энергоемкости единицы продукции мировой экономики примерно на 30%. Из них 10% – за счет ликвидации

расточительства в рамках существующих технологий; 10% – за счет создания новых экономических процессов и более совершенного оборудования.

Конкретной иллюстрацией высокой энергозатратности наших технологий может служить энергоемкость тонны продукта сравнительно нового химического производства (табл. 1). Приведенные данные показывают, что мировой уровень технологий в сложившейся структуре энергопотребления позволяет в 1,5-2 раза снизить энергозатраты даже в энергоемких в силу своей специфики производствах. Структура энергопотребления бывшего Советского Союза складывалась под прессингом идеологических концепций и существенно отличалась от аналогичных параметров развитых стран.

Производство средств производства, содержание ВПК вызвали почти в 2 раза большие затраты электрической энергии в СССР, а следовательно, и во всех республиках, не имеющие прямого отношения к росту благосостояния населения. Малое электропотребление транспорта США объясняется малым количеством электротранспорта вообще и муниципального в частности. В целом потребление топливно-энергетических ресурсов представлено в табл. 2.

В республике проводятся конкретные мероприятия по снижению энергоемкости национального продукта, что дает возможность снижать ежегодно энергоемкость валового национального продукта Беларуси на 5-10%. Это медленный процесс, учитывая, что его теперешняя энергоемкость более чем в 2 раза выше соответствующего показателя развитых стран.

Дефицит собственных ТЭР, многократное повышение цен на энергоносители, с одной стороны, рост потребностей и наличие значительных возможностей снижения непроизводительных потерь ТЭР и рационального их использования – с другой, определяют интенсификацию энергосбережения.

1.6. Государственные и отраслевые программы энергоресурсосбережения

Потенциальная возможность энергосбережения в странах СНГ, Центральной и Восточной Европы в настоящее время оценивается в размере 20-30% от общего объема потребления топливно-энергетических ресурсов.

Правовую основу государственной политики Республики Беларусь в области энергосбережения образуют:

- Закон «Об энергосбережении»,
- республиканские, отраслевые и региональные программы энергосбережения,
- указы Президента и постановления Совета Министров Республики Беларусь и других правительственных органов.

Энергосбережение – организационная, научная, практическая, информационная деятельность государственных органов, юридических и физических лиц, направленная на снижение расхода (потерь) топливно-

энергетических ресурсов в процессе их добычи, переработки, транспортировки, хранения, производства, использования и утилизации.

Закон «Об энергосбережении» был принят 19 июня 1998 г. Закон устанавливает энергосбережение в качестве приоритета государственной политики в решении энергетической проблемы в Республике Беларусь. Им регулируются отношения, возникающие в процессе деятельности юридических и физических лиц в сфере энергосбережения, в целях повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов, и определяются правовые основы этих отношений.

В законе отражены основные направления энергосбережения, а также регламентируются мероприятия по его проведению. Так, например, РБ принимает участие в международном сотрудничестве в сфере энергосбережения. Основными направлениями международного сотрудничества являются:

- взаимовыгодный обмен с зарубежными и международными организациями энергоэффективными технологиями;
- участие РБ в реализации международных проектов в области энергосбережения;
- приведение показателей энергоэффективности производства РБ в соответствие с требованиями мировых стандартов.

Для финансирования мероприятий по энергосбережению в Беларуси создан фонд «Энергосбережение». **Его средства создаются за счет поступлений в виде:**

- платежей за перерасход топлива, электрической и тепловой энергии свыше установленных норм потребления;
- **экономических санкций:**
- несвоевременную установку приборов учета расхода топливно-энергетических ресурсов;
- использование топлива, электрической и тепловой энергии без утвержденных норм их расхода на производство единицы продукции;
- добровольных взносов юридических и физических лиц.

Средства данного фонда расходуются на:

- осуществление мероприятий по энергосбережению;
- участие в международном сотрудничестве в сфере энергосбережения;
- осуществление мероприятий, связанных с развитием малой и нетрадиционной энергетики, использование возобновляемых источников энергии и вторичных энергетических ресурсов;
- подготовку и переподготовку кадров для сферы энергосбережения и другие мероприятия.

Программы энергосбережения определяют приоритеты в реализации государственной политики в области энергосбережения, пути использования энергосберегающего потенциала в республике, отрасли, регионе и содержат комплекс организационных, технических, экономических и иных мероприятий, взаимоувязанных по ресурсам, исполнителям, срокам реализации.

– Республиканские и отраслевые долгосрочные программы разрабатываются на каждые 5 лет, начиная с 2001 г.

– Отраслевые краткосрочные и региональные программы разрабатываются сроком на один год.

В числе основных задач программ – обеспечение в планируемый период снижения потребления ТЭР в отраслях и регионах по отношению к уровню их расходования за предшествующий период. Объем снижения определяется по основным целевым показателям прогноза социально-экономического развития республики на соответствующий период. О ходе выполнения программ энергосбережения Госкомэнергосбережение в установленном порядке информирует Совет Министров Республики Беларусь и Министерство экономики.

Реализация перспективных программ в области энергосбережения осуществляется в два этапа:

– реализация энергосберегающих мероприятий, которые не требуют больших капиталовложений и длительных сроков внедрения. Важнейшее среди них — расширение применения уже известных энергосберегающих технологий.

– создание и внедрение принципиально новых энергосберегающих технологий, оборудования, машин и материалов.

1.7. Общая характеристика основных направлений энергетической политики РБ

27 октября 2000 года Совет Министров республики принял постановление №1667, которым одобрил «Основные направления энергетической политики Республики Беларусь на 2001-2005 годы и на период до 2015 года».

В данной энергетической программе представлены два варианта функционирования народного хозяйства – в оптимальном режиме и на случай непредвиденных обстоятельств.

По прогнозу валовое потребление ТЭР в 2010 году достигнет в Беларуси 39 млн. т у.т. (1 вариант) или 37,2 млн. т у.т. (2 вариант) при темпах роста ВВП соответственно 167,3 или 146,6%. **(Для сравнения: в 1990 г. было «востребовано» 55,3 млн. т у.т.).** Электроэнергии будет использовано 43 или 39,5 млрд. кВт ч (в 1990 г. – 49), тепловой энергии – 83 или 80 млн. Гкал (111,3), котельно-печного топлива – 34 или 32,5 млн. т у.т. (44 млн).

Таким образом, намечается сократить объем импорта энергоресурсов.

В ближайшей перспективе импортировать газ Беларусь намерена не только из России, но и из Туркмении. Согласно расчета правительственных аналитиков, проект газопровода из этой страны через Узбекистан – Казахстан – Россию – Украину технически может быть реализован в короткие сроки и при относительно небольших инвестициях.

В области нефтеобеспечения в качестве альтернативных предлагаются два направления: поставка сравнительно дешевой ближневосточной нефти через порты на Черном и Балтийском море.

Потребителям угля предложено постепенно заменять его местными видами топлива. В 2010 г. в Беларуси планируется добыть 1,29 млн. т собственной нефти, 210 млн. куб. м попутного газа, 1 млн. т у.т. торфа. До 1,9-2 млн. т у.т. т.е. с нынешних 1,3 млн. т у.т. возрастет к 2015 г. заготовка дров.

Признано целесообразным возведение на небольших реках мини-ГЭС суммарной мощностью 250 МВт, которые могли бы вырабатывать 0,8-0,9 млрд. кВт ч гидроэнергии, что равнозначно экономии 250 тыс. т у.т. Еще 100-120 тыс. т у.т. предполагается сберечь за счет более широкого использования твердых бытовых отходов.

В 17,9 Гкал в год оценивается потенциал вторичных энергоресурсов (пока используется только 2,7 млн.), хотя технические возможности позволяют привлекать до 10 Гкал в год. Предстоит разработать механизмы экономической поддержки подобных мероприятий – создание фондов стимулирования энергосбережения, использование определенной части (до 50%) сэкономленных за счет этих мероприятий средств на премирование сотрудников и т.д.

Будет продолжена модернизация отечественных НПЗ с целью увеличения не только объемов переработки (с 14,3 до 16,8 млн. т к 2010 г.), но и ее глубины (до 90%) с получением высококачественных бензинов, дизельного топлива и других продуктов.

Продолжится строительство газораспределительных станций и газопроводов в витебской и на севере Минской областей, на Полесье и на загрязненных территориях Беларуси. Жилой фонд страны предполагается полностью перевести сжиженного на природный газ, завершить строительство Прибугского газохранилища емкостью 1,35 млрд. куб. м и начать строительство Василевичского (3,1 млрд. куб. м).

В электроэнергетике установленная мощность всех энергоисточников достигла 7,818 млн. кВт. К 2010 г. потребуется 8,3-9 млн. кВт. Предлагается заменить оборудование мощностью 4 млн. кВт, поскольку его эксплуатация становится не выгодной в сравнении с импортом электроэнергии.

За счет энергосбережения **планируется к 2015 г.** снизить энергоемкость ВВП на 40-45%.

Для полной реализации программы до 2015 г. только в электроэнергетику страны требуется вложить 4-6,9 млрд. долларов США, еще 3-3,9 – на развитие нетрадиционных источников энергии, 1 – в систему добычи нефти, нефтепереработку, 0,83 – в течение каждой пятилетки на развитие газоснабжения, 0,162 – на обеспечение ТЭК твердыми видами топлива.

ТЕМА 2. Производство энергии традиционными методами

Классификация источников энергии

Источники энергии подразделяются на следующие виды:

- первичные;
- вторичные.

К первичным относят:

- невозобновляемые — образовавшиеся в результате геологического развития Земли;
- возобновляемые — восполняемые различными природными явлениями;

Вторичные энергоресурсы – это теплота и потенциальная энергия побочной продукции, которые могут быть использованы для других технологических нужд.

2.1. Невозобновляемые источники энергии. Способы их добычи, транспортировки и использования

К невозобновляемым источникам энергии относятся горючие ископаемые органического происхождения: торф, нефть, газ, уголь, горючие сланцы.

Методы добычи ископаемых источников энергии: открытый (при глубине залегания до 100 м), шахтный (от 50 до 1500 м), насосный (для нефти и газа).

Различные виды ископаемых энергоресурсов неравномерно распределены на территории Земли, места их добычи не совпадают с местами потребления.

Способы транспортировки зависят от вида энергоресурсов:

- торф, уголь и горючие сланцы – железнодорожным и автомобильным транспортом;
- нефть и газ – танкерами и по трубопроводам;
- выработанная электроэнергия – по высоковольтным линиям электропередач.

Целесообразность передачи на расстояние тех или иных носителей энергии определяется экономической целесообразностью. Примерно 30-40% энергоресурсов теряется при добыче, транспортировке, хранении и использовании.

2.2. Проблема истощаемости и перспективы использования ископаемых видов топлива

Человечество за всю историю своего существования израсходовало примерно 900—950 триллионов кВт-ч энергии всех видов, около 2/3 этого количества приходится на последние 30 лет.

Республика Беларусь располагает лишь небольшими запасами органического топлива и только 15-18% потребностей покрывается внутренними ресурсами (5,7 млн. т усл. топлива). В объеме всего импорта энергоресурсы в денежном выражении составляют около 60%, а на их приобретение в год требуется около 2 млрд. долларов.

2.3. Производство электроэнергии на ТЭС

На долю тепловых электростанций приходится свыше 80 % общей выработки электроэнергии. В Беларуси в 2001 году действовало 6 крупных ТЭС суммарной мощностью 7840 млн. кВт, на которых произведено 25 млн. кВт-ч электроэнергии.

Рассмотрим схему производства электрической энергии на ТЭС, работающей на твердом топливе (рис. 1).

Современные тепловые электрические станции имеют преимущественно блочную структуру. ТЭС с блочной структурой составляется из отдельных энергоблоков. В состав каждого энергоблока входят основные агрегаты — турбинный и котельный и связанное с ними непосредственно вспомогательное оборудование. Турбина вместе с котлом, питающим ее паром, образует моноблок.

Уголь поступает со склада в систему подготовки топлива, в которой дробится, подсушивается и размалывается, превращаясь в угольную пыль. В таком виде топливо поступает в горелки, в которых смешивается с подогретым воздухом, подаваемым дутьевым вентилятором из атмосферы. Если используется жидкое топливо (мазут), то он подогревается до 100-140 °С и распыляется в форсунках. Забор воздуха производится зимой снаружи, а летом — из верхней части помещения котельного цеха.

Устройства для предварительного подогрева воздуха называются калориферами. Здесь температура воздуха достигает 70-80 °С. Воздух, необходимый для поддержания процесса горения, подогревается далее в воздухоподогревателе за счет теплоты дымовых газов, образующихся при сгорании топлива, до 250-400 °С в зависимости от вида топлива и режима горения.

Топливо сгорает в топочной камере парового котла с выделением теплоты. Эта теплота передается рабочему телу — воде, превращая ее сначала в насыщенный пар (пар, имеющий температуру кипящей жидкости, из которой он получен), а затем в перегретый (имеющий температуру более высокую, чем температура кипения жидкости при данном давлении), обладающий большой энергией.

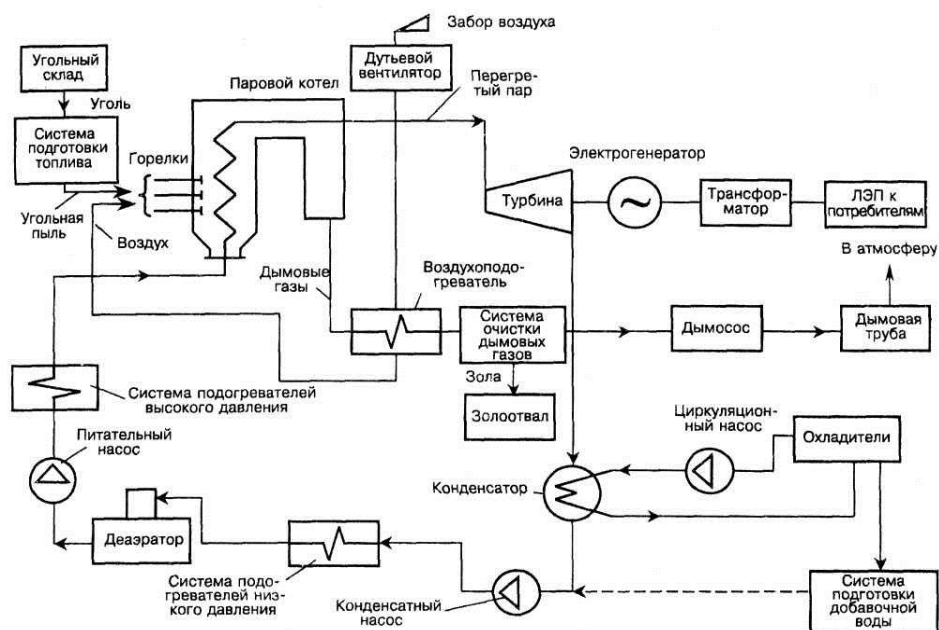


Рис. 1

Паровой котел представляет собой систему теплообменников (поверхностей нагрева), в которых производится в требуемом количестве пар заданных параметров из непрерывно поступающей воды за счет теплоты, получаемой при сжигании органического топлива. Поступающая в котел вода называется питательной водой. Подогрев питательной воды до температуры насыщения (кипения) происходит в экономайзере, процесс парообразования — в испарительной (парообразующей) поверхности нагрева, перегрев пара — в пароперегревателе.

Температура в зоне активного горения в топочной камере может достигать 1500-1800 °С в зависимости от вида сжигаемого топлива и режима горения. Средняя температура продуктов сгорания в топочной камере составляет 1300-1400 °С. Покидают топочную камеру газы с температурой 900-1200 °С. Пройдя через перегреватели, газы охлаждаются до 800-900 °С (после ширмового пароперегревателя) и далее до 500-600 °С после конвективного и промежуточного пароперегревателей.

Современные энергетические котлы высокого давления производят пар давлением 10 и 14 МПа с температурой 540 °С и 560 °С, а котлы сверхкритического давления — пар с давлением 25,5 МПа с температурой 545 °С.

Паропроизводительность котла определяется количеством пара, вырабатываемого паровым котлом в единицу времени (т/ч). Современные паровые котлы имеют широкий диапазон паропроизводительности от 120 до 3950 т/ч. Так, для энергоблоков мощностью 300, 500, 800 МВт применяются котлы паропроизводительностью 950, 1650, 2650 т/ч соответственно. В блоке мощностью 1200 МВт работает котел паропроизводительностью 3950 т/ч. В Беларуси в настоящее время максимальная мощность энергоблоков составляет 300 МВт. Габариты таких котлов (950 т/ч): ширина 19-24 м, глубина 24-36 м, высота 42-63 м.

Энергия пара приводит во вращение ротор паровой турбины. Турбина представляет собой ротационный тепловой двигатель лопаточного типа. Струя рабочего тела поступает через направляющие аппараты — сопла на криволинейные лопатки, закрепленные на окружности рабочего колеса, и, поворачиваясь, выходит из них. За счет поворота потока возникает окружная сила, создающая крутящий момент, приводящий во вращение рабочее колесо, закрепленное на валу. В процессе расширения рабочего тела (пара) в соплах потенциальная энергия переходит в кинетическую, что сопровождается увеличением скорости потока. Расширяясь в ступенях турбины, пар совершает работу. Механическая энергия вращения вала турбины передается электрогенератору, вырабатывающему электроэнергию, которая после повышения напряжения в трансформаторе направляется по линиям электропередачи к потребителю.

Продукты сгорания топлива, пройдя через газовый тракт котла (перед экономайзером температура газов составляет 500-600 °С, перед воздухоподогревателем — 300-450 °С) и отдав свою теплоту поверхностям нагрева котла (за воздухоподогревателем газы имеют температуру 110-160 °С), поступают в систему очистки дымовых газов (золоуловители), а затем дымососом подаются в дымовую трубу и далее рассеиваются в атмосфере. Зола, уловленная в системе очистки, вместе со шлаком, образующимся в топочной камере, направляется на золоотвал. Часть золы выпадает в нижнюю часть топки в виде шлака. Удаление уловленной золы и шлака производится непрерывно или периодически устройствами систем золоудаления и шлакоудаления.

Отработавший в турбине пар подается в конденсатор, где конденсируется, отдавая тепло охлаждающей воде, перекачиваемой циркуляционным насосом из охладителей, в качестве которых служат градирни, пруды-охладители или естественные водоемы — озера, реки, водохранилища.

Конденсатор — теплообменный аппарат, предназначенный для превращения отработавшего в турбине пара в жидкое состояние — конденсат. Конденсация пара происходит в результате соприкосновения его с поверхностью тела, имеющего более низкую температуру, чем температура насыщения пара при давлении в конденсаторе. Конденсация пара сопровождается выделением теплоты, затраченной ранее на испарение жидкости, которая отводится с охлаждающей водой. Пар, поступающий из турбины, конденсируется на поверхности конденсаторных трубок, внутри которых протекает охлаждающая вода. Образующийся конденсат стекает в нижнюю часть конденсатора. За счет резкого уменьшения удельного объема пара создается низкое давление отработавшего пара (вакуум). Чем ниже температура охлаждающей воды и чем больше ее расход, тем более глубокий вакуум можно получить в конденсаторе. Обычно давление в конденсаторе составляет 0,004 МПа.

Образующийся конденсат откачивается из конденсатора конденсатным насосом и поступает в систему подогревателей низкого давления, где

подогревается паром, отбираемым из турбины, затем в деаэратор, в котором освобождается от содержащихся газов — кислорода, углекислого и некоторых других, и дополнительно подогревается отборным паром; наконец, деаэрированная вода питательным насосом подается в систему подогревателей высокого давления, после подогрева в которых паром высокого давления из отборов турбины поступает в котел.

Цикл замыкается. Потери рабочего тела компенсируются очищенной в системе водоподготовки добавочной водой.

Основным показателем энергетической эффективности электростанции является коэффициент полезного действия (КПД) по отпуску электрической энергии, называемый абсолютным электрическим коэффициентом полезного действия электростанции. Он определяется отношением отпущенной (выработанной) электроэнергии к затраченной энергии (теплоте сожженного топлива) и составляет 35-40%.

2.4. Теплоэлектроцентрали

Теплоэлектроцентрали отпускают электроэнергию потребителю, так же как и КЭС, и кроме этого тепловую энергию в виде пара и горячей воды для технологических нужд производства и горячей воды для коммунально-бытового потребления (отопление, горячее водоснабжение). При такой комбинированной выработке тепловой и электрической энергии в тепловую сеть отдается главным образом теплота отработавшего в турбинах пара (или газа), что приводит к снижению расхода топлива на 25-30% по сравнению с отдельной выработкой электроэнергии на КЭС и теплоты в районных котельных. Поскольку для производственных и бытовых нужд требуется пар или вода в относительно широком диапазоне температур и давлений, на ТЭЦ применяются теплофикационные турбины различных типов в зависимости от характера потребления теплоты.

На рис. 2 представлена схема ТЭЦ с так называемыми турбинами с ухудшенным вакуумом. Давление в конденсаторе такой турбины поддерживается таким, чтобы температура насыщения пара была достаточно высокой для нужного нагрева охлаждающей воды в конденсаторе. Вода, нагретая до необходимой температуры, направляется потребителю для отопления.

На рис. 3 изображена схема ТЭЦ, в которой применены так называемые турбины с противодавлением. В установках этого типа конденсатор отсутствует, а отработавший пар из турбины направляется по паропроводу на производство, где он отдает теплоту и конденсируется; с производства конденсат возвращается для питания котлов. Давление параа выходе из турбины определяется потребностями производства.

На рис. 4 показана схема ТЭЦ с турбинами с отбором пара. В этой схеме часть пара достаточно высоких параметров отбирается из промежуточных

ступеней турбины. Отобранный пар может быть либо направлен на производство (так называемый производственный отбор), откуда в установку возвращается конденсат (рис. 4, а), либо в специальные подогреватели-теплообменники, в которых этот пар нагревает воду, используемую для отопительных целей (так называемый теплофикационный отбор) (рис. 4, б). Следует заметить, что на современных ТЭЦ наиболее распространены турбины с отбором пара.

2.5. Атомные электрические станции

Тепловые схемы атомных электростанций зависят от типа реактора, вида теплоносителя, состава оборудования. Тепловые схемы могут быть одно-, двух- и трехконтурными.

В одноконтурных схемах (рис. 5) пар вырабатывается непосредственно в реакторе. Полученная пароводяная смесь (паросодержанием до 15%) подается в барабан-сепаратор, отсепарированный насыщенный пар поступает в паровую турбину. Отработавший в турбине пар конденсируется, и конденсат циркуляционным насосом подается в реактор. Одноконтурная схема наиболее проста в конструктивном отношении и достаточно экономична. Однако рабочее тело на выходе из реактора становится радиоактивным, что предъявляет повышенные требования к биологической защите и затрудняет проведение контроля и ремонта оборудования.

В двухконтурных схемах (рис. 6) существуют два самостоятельных контура. Контур теплоносителя — первый; контур рабочего тела — второй. Общее оборудование обоих контуров — парогенератор. Нагретый в реакторе теплоноситель поступает в парогенератор, где отдает свою теплоту рабочему телу и при помощи главного циркуляционного насоса возвращается в реактор. В первом контуре находится компенсатор объема, который регулирует поддержание давления в контуре при изменении температуры. Давление в первом контуре значительно выше, чем во втором. Полученный в парогенераторе пар подается в турбину, совершает в ней работу, конденсируется, конденсат питательным насосом подается в парогенератор. Наличие парогенератора хотя и усложняет установку и уменьшает ее экономичность, но препятствует появлению радиоактивности во втором контуре.

В трехконтурной схеме теплоносителями первого контура служат жидкие металлы, например натрий. Радиоактивный натрий первого контура из реактора направляется в теплообменник, где отдает теплоту натрию промежуточного контура, и циркуляционным насосом возвращается в реактор. Давление натрия в промежуточном контуре выше, чем в первом, для исключения утечек радиоактивного натрия. Натрий промежуточного контура отдает теплоту в парогенераторе рабочему телу (воде) треть его контура. Образующийся в парогенераторе пар поступает в турбину, совершает работу, конденсируется и питательным насосом подается в парогенератор.

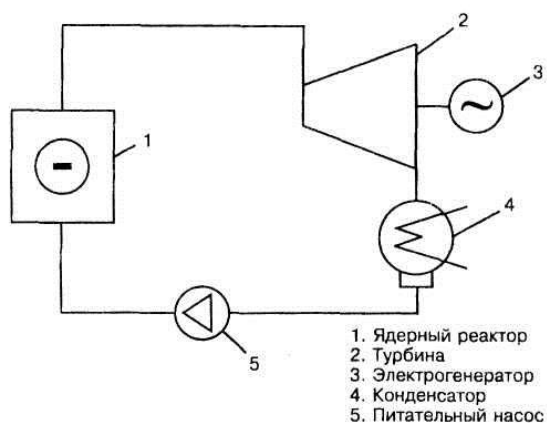


Рис. 5. Тепловая схема простейшей одноконтурной атомной электростанции.

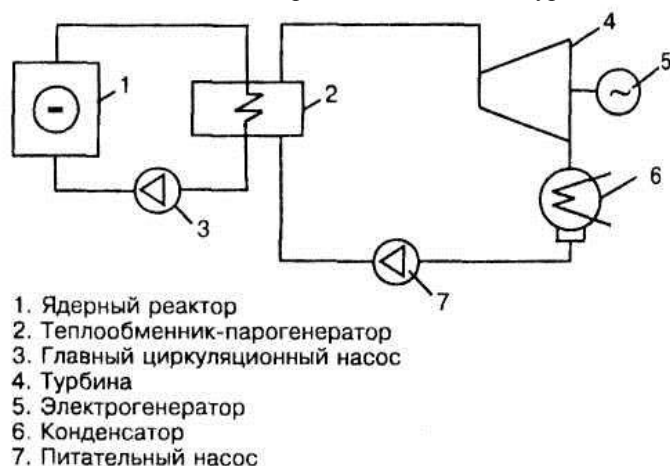


Рис. 6. Тепловая схема простейшей двухконтурной атомной электростанции.

Трехконтурная схема требует больших затрат, но обеспечивает безопасную эксплуатацию реактора.

Работа АЭС по технологическим условиям отличается от работы тепловой электростанции. Основным различием является то, что роль источника теплоты на тепловой электростанции играет паровой котел, в котором сжигается органическое топливо, а на АЭС — ядерный реактор, теплота в котором выделяется в результате деления ядерного топлива. Ядерное топливо обладает высокой теплотворной способностью (в миллионы раз выше, чем органическое). В одном грамме урана содержится $2,6 \cdot 10^{21}$ ядер; при делении всех этих ядер выделяется энергия, равная 2000 кВт·ч. Для получения такого количества энергии нужно сжечь более 2000 кг угля. В связи с этим при эксплуатации АЭС расходы по доставке и транспортировке топлива сведены к минимуму. Однако при эксплуатации АЭС в процессе работы ядерного реактора образуется большое количество радиоактивных веществ в топливе, конструкционных материалах, теплоносителе. Поэтому АЭС является потенциальным источником радиационной опасности для обслуживающего персонала, а также окружающего населения, что повышает требования к надежности и безопасности ее эксплуатации.

2.5. Газотурбинные установки

Всякий тепловой двигатель предназначен для превращения теплоты в механическую работу. Наиболее распространенные в технике тепловые двигатели по способу подвода теплоты (сжигания топлива) разделяются на двигатели внутреннего и внешнего сгорания.

В двигателях внешнего сгорания топливо сжигается вне теплового двигателя в специальных устройствах (паровом котле), а превращение теплоты пара в работу происходит в паровой турбине. В двигателях внутреннего сгорания рабочими телами являются газообразные продукты сгорания топлива.

К двигателям внутреннего сгорания относятся газовые турбины и поршневые двигатели внутреннего сгорания. Газотурбинные установки достаточно компактны, маневренны, используются в теплоэнергетике как пиковые и резервные установки.

Принципиальная схема ГТУ с подводом тепла при постоянном давлении изображена на рис. 7.

Воздушный компрессор сжимает воздух адиабатно (без подвода теплоты), повышая его давление и температуру, и подает его в камеру сгорания, в которую топливный насос дозированно впрыскивает горючее. В камере сгорания осуществляется подвод теплоты при постоянном давлении (сжигание топлива), температура при этом растет. Образующиеся продукты сгорания топлива подаются в газовую турбину. В газовой турбине продукты сгорания расширяются адиабатно (без подвода теплоты) и совершают техническую работу. При этом давление и температура падают. Далее продукты сгорания выбрасываются в атмосферу. Значительная часть технической работы газовой турбины (примерно $2/3$) расходуется на привод компрессора, расположенного на том же валу. Остальная часть технической работы (полезная работа) идет на выработку электроэнергии в электрогенераторе. Температура газов перед турбиной $800-900\text{ }^{\circ}\text{C}$ (для авиационных турбин до $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$), поэтому необходимо использование жаропрочных материалов.

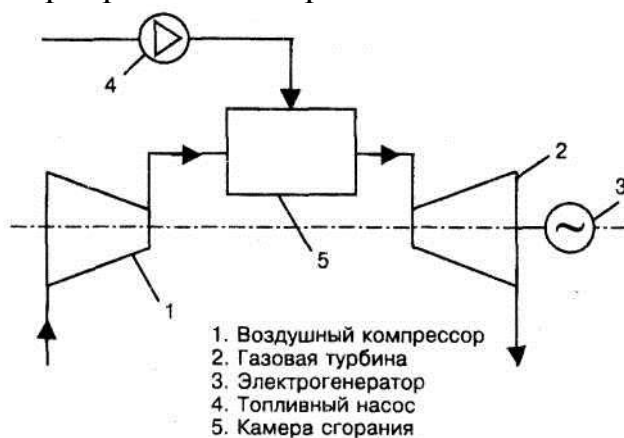


Рис. 7. Схема ГТУ с подводом тепла при $c = \text{const}$.

2.6. Парогазовые установки

Поскольку в газовом цикле ГТУ температура газов перед турбиной составляет 800-900 °С, а после турбины примерно 350 °С (в цикле паросиловой установки температура перегретого пара перед турбиной 540-565 °С; температура воды в конденсаторе 25-28 °С), видно существенное различие в температурном уровне рабочих температур рассмотренных циклов. Термический КПД идеального цикла Карно тем выше, чем выше температура подвода тепла и чем ниже температура отвода тепла. Для повышения эффективности предлагается комбинированный (бинарный) цикл, в котором работают два рабочих тела: газ — в верхней части цикла, пар — в нижней. Такой цикл называется циклом парогазовой установки (рис. 8).

Воздух из атмосферы поступает в компрессор 1, где сжимается адиабатно с повышением температуры, и подается в камеру сгорания 5, куда при помощи топливного насоса 4 впрыскивается топливо. В камере сгорания 5 при постоянном давлении происходит горение топлива (подвод теплоты), образовавшиеся в результате горения газы поступают в газовую турбину 2, где, расширяясь адиабатно на лопатках турбины, производят работу. Температура и давление газов падают. Отработанные горячие газы после газовой турбины с температурой 350 °С поступают в подогреватель 6, где отдают часть теплоты для подогрева питательной воды, поступающей в котел 7, и охладившись при этом, сбрасываются в атмосферу. Питательная вода воспринимает эту теплоту при постоянном давлении, что приводит к уменьшению расхода топлива при производстве пара в котле. Далее в котле из питательной воды образуется пар, перегревается и поступает в паровую турбину 8 с температурой 540 °С. В паровой турбине пар расширяется адиабатно на лопатках, производя техническую работу. Его давление и температура при этом падают. Отработавший в турбине пар поступает в конденсатор 9, где конденсируется при постоянном давлении, а образовавшийся конденсат при помощи насоса 10 направляется сначала в подогреватель 6, где воспринимает тепло отработавших в газовой турбине газов, а затем в паровой котел 7. Расходы пара и газа подбираются таким образом, чтобы вода воспринимала максимальное количество теплоты газов. Термический КПД таких установок свыше 60%.

ТЕМА 3. Производство энергии на основе возобновляемых источников

3.1. Виды возобновляемых источников энергии

К возобновляемым источникам энергии (ВИЭ) относятся:

- энергия солнца,
- энергия ветра;
- энергия рек, приливов и отливов;
- энергия геотермальных источников;
- энергия биомассы.

Потенциально ресурсы ВИЭ оцениваются в 970-980 трлн. т у.т., их технически извлекаемый потенциал – 13 млрд. т у.т., т.е. 31% больше современного глобального потребления источников энергии.

При использовании ВИЭ в ряде случаев решающее значение имеет экологическая чистота технологии получения энергии.

Сдерживающим фактором широкого использования ВИЭ являются:

- высокая удельная стоимость энергии,
- низкая концентрация и малая плотность энергетического потока,
- локальный характер использования;
- неравномерность поступления энергии во времени.

Важность использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии обосновывается, например, следующим обстоятельством. Население Земного шара в настоящее время составляет более 5 млрд. человек и возрастает примерно на 2-3% в год. Среднее на душу населения потребление мощности составляет примерно 0,8 кВт, но национальные различия в уровне потребляемой энергии очень велики – от 10 кВт в США, 4 кВт в странах Европы (в Беларуси) до 0,1 кВт в Центральной Африке. Средние темпы роста национального дохода в странах современного мира равны 2-5% в год. (Можно отметить, что в 1900 г. в мире потреблялось около 8-10 кВт·ч первичных энергоресурсов, а к 1980 г. их потребление возросло более чем в 10 раз.) При таких темпах роста ежегодное потребление энергии с учетом роста населения должно возрасти на 4-8%. Такой постоянный прирост производства энергии практически невозможно обеспечить без использования новых источников энергии, так как запасов имеющегося топлива на это не хватит. Кроме того, очень важным является то, что наращивание производства энергии такими темпами за счет сжигания топлива может привести к серьезным экологическим последствиям в силу загрязнения окружающей среды продуктами их сгорания (например, к парниковому эффекту). Поэтому одним из существенных преимуществ нетрадиционных и возобновляемых источников энергии является их экологическая безопасность.

Следует также отметить, что, по данным ЮНЕСКО, примерно 2 млрд людей на Земном шаре не имеют доступа к использованию электрической энергии в силу проживания в удаленных регионах, в которых отсутствуют развитые электрические сети. Достоинством нетрадиционных и возобновля-

емых источников энергии является их доступность и возможность локального использования практически в любом месте. Естественно, что с учетом местных условий предпочтение должно отдаваться тому или иному виду источника.

В силу важности данной проблемы по инициативе ЮНЕСКО в 1996 г. в городе Хараре – столице африканского государства Зимбабве состоялось совещание глав государств и правительств мира, на котором была принята Харарская декларация по солнечной энергетике и устойчивому развитию. В ней провозглашены основные принципы широкого использования возобновляемой энергии в развитии нашей цивилизации. Конкретные пути реализации этой декларации определяются Мировой солнечной программой на 1996—2005 годы, которая содержит в себе глобальные, региональные и национальные высокоприоритетные проекты в этой области.

3.1 Прямое преобразование солнечной энергии

Солнце является основным источником энергии, обеспечивающим существование жизни на Земле. Вследствие реакций ядерного синтеза в активном ядре Солнца достигаются температуры до 10^7 К. При этом поверхность Солнца имеет температуру около 6000 К. Электромагнитным излучением солнечная энергия передается в космическом пространстве и достигает поверхности Земли. Вся поверхность Земли получает от Солнца мощность около $1,2 \cdot 10^{17}$ Вт. Это эквивалентно тому, что менее одного часа получения этой энергии достаточно, чтобы удовлетворить энергетические нужды всего населения Земного шара в течение года. Максимальная плотность потока солнечного излучения, приходящего на Землю, составляет примерно 1 кВт/м². Для населенных районов в зависимости от места, времени суток и погоды потоки солнечной энергии меняются от 3 до 30 МДж/м² в день.

В среднем для создания комфортных условий жизни требуется примерно 2 кВт энергетической мощности на человека, или примерно 170 МДж энергии в день. Если принять эффективность преобразования солнечной энергии в удобную для потребления форму 10% и поток солнечной энергии 17 МДж/м² в день, то требуемую для одного человека энергию можно получить со 100 м² площади земной поверхности. При средней плотности населения в городах 500 человек на 1 км² на одного человека приходится 2000 м² земной поверхности. Таким образом, достаточно всего 5% этой площади, чтобы за счет снимаемой с нее солнечной энергии удовлетворить энергетические потребности человека.

В связи с большим потенциалом солнечной энергии чрезвычайно заманчивым является максимально возможное непосредственное использование ее для нужд людей.

Прямое преобразование солнечной энергии в тепловую (солнечные водоподогреватели, подогреватели воздуха, солнечные коллекторы, солнечные электростанции).

Солнечные водоподогреватели (гелиоводоподогреватели). Преобразование солнечной энергии в тепловую обеспечивается за счет способности атомов вещества поглощать электромагнитное излучение. При этом энергия электромагнитного излучения преобразуется в кинетическую энергию атомов и молекул вещества, т.е. в тепловую энергию. Результатом этого является повышение температуры тела.

Для энергетических целей наиболее распространенным является использование солнечного излучения для нагрева воды в системах отопления и горячего водоснабжения.

Средняя продолжительность солнечного сияния в Беларуси – 1815 часов в год, наиболее благоприятный период года – с апреля по сентябрь. Годовой приход суммарной солнечной радиации – 980-1180 кВт·ч/м², среднегодовая мощность – до 110 Вт/м².

В Дании, природно-климатические условия которой сходны с условиями в Беларуси, в 1994 году производство электрической и тепловой энергии солнечными установками достигло 61 ГВт·ч. Средний размер солнечной установки – 5-40 м², срок окупаемости – 10 лет. Площадь гелиоприемников системы горячего водоснабжения для односемейного дома составляет 10 м² с баком-аккумулятором на 150-200 л.

В условиях Великобритании жители сельской местности покрывают потребность в энергии на 40-50% за счет солнца.

В Германии применяемые солнечные коллекторы могут обеспечить нужды сельского хозяйства в теплой воде в летний период на 90%, в переходный – на 55-65%, в зимний – на 30%. Для условий Германии семья из 4 человек может обеспечить себя теплом при наличии «энергетической» крыши площадью 6-9 м².

Энергетическая программа Республики Беларусь до 2010 года предусматривает крупносерийное производство гелиоводоподогревательных установок, разработанных белорусскими учеными. Найденные ими удачные технические решения делают их производство более технологичным и многократно снижают их вес. К 2010 г. планируется их применение, обеспечивающее эквивалентную экономию 50 тыс. т условного топлива в год.

Основным элементом солнечной нагревательной системы является приемник, в котором происходит поглощение солнечного излучения и передача энергии жидкости. Наиболее распространенными являются плоские (нефокусирующие) приемники, позволяющие собирать как прямое, так и рассеянное излучение и в силу этого способные работать также и в облачную погоду. С учетом их относительно невысокой стоимости они являются предпочтительными при нагревании жидкостей до температур ниже 100°C.

На рис. 1 представлены различные варианты приемников солнечного излучения.

Простые приемники (рис. 1, а-д) содержат весь объем жидкости, которую необходимо нагреть.

Приемники более сложной конструкции (рис. 1, е-и) нагревают за определенное время только небольшое количество жидкости, которая затем, как

правило, накапливается в отдельном резервуаре, что позволяет снижать теплотери системы в целом.

Остановимся кратко на характеристиках каждой из этих конструкций.

Рис. 1, а – открытый резервуар на поверхности земли (например, бассейн) – простейший возможный нагреватель воды. Повышение температуры воды ограничено высоким коэффициентом отражения поверхности воды, теплоотдачей к земле и воздуху, затратой части поглощенного тепла на испарение воды.

Рис. 1, б – открытый резервуар, теплоизолированный от земли. Повышение температуры воды ограничено высоким коэффициентом отражения поверхности воды, теплоотдачей к воздуху, затратой части поглощенного тепла на испарение воды.

Рис. 1, в – черный резервуар. Жидкость заключена в емкости с черной матовой поверхностью, обычно располагаемой на крыше здания. Потери тепла на испарение отсутствуют, коэффициент поглощения черной поверхности близок к единице. Нагреватели этого типа достаточно недороги, просты в изготовлении и позволяют нагревать воду до температуры около 45°C. Широкое распространение получили в Японии, Израиле. Параметры нагревателя ограничены тепловыми потерями с поверхности, особенно их увеличением в ветреную погоду.

Рис. 1, г – черный резервуар с теплоизолированным дном. Потери тепла в предыдущей конструкции можно уменьшить почти в два раза, если теплоизолировать дно приемника. Для достижения этого достаточно всего нескольких сантиметров изолирующего слоя, в качестве которого можно использовать практически любой пористый материал с размером пор до 1 мм.

Рис. 1, д – закрытые черные нагреватели. Для исключения теплоотдачи от приемника в воздух, особенно в ветреную погоду, емкость нагревателя помещается в контейнер с прозрачной для солнечного излучения крышкой. Лучшим материалом для крышек является стекло. Используются также специальные покрытия из пластика, имеющие подобные стеклу оптические свойства, но менее хрупкие.

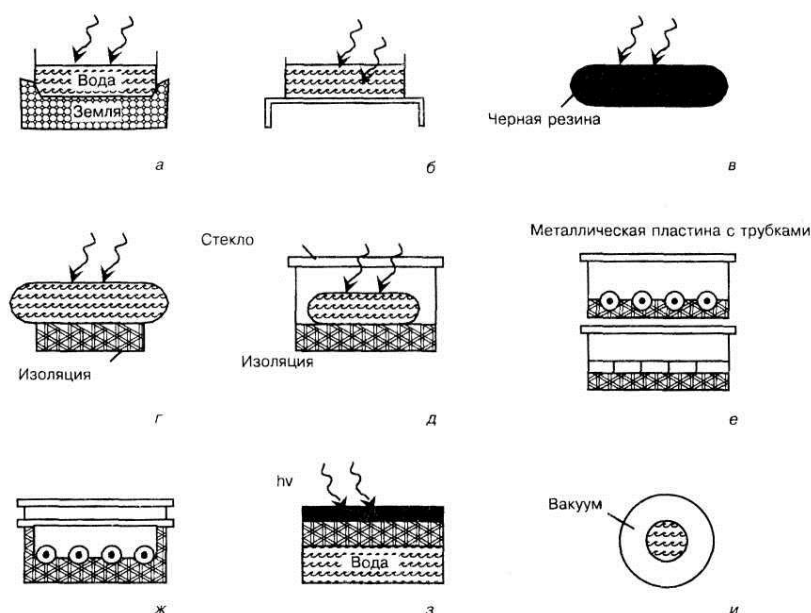


Рис. 1. Последовательность приемников солнечного излучения в порядке возрастания их эффективности и стоимости.

Рис. 1, е – металлические проточные нагреватели. В такой системе вода протекает по параллельным трубкам, закрепленным на зачерненной металлической пластине. Обычно диаметр трубок составляет около 2 см, расстояние между ними 20 см, толщина пластины 0,3 см. Пластину с трубками для защиты от ветра помещают в контейнер со стеклянной крышкой.

Характеристики проточного нагревателя могут быть улучшены за счет:

- уменьшения конвективного переноса между приемной пластиной и стеклянной крышкой, если над первой крышкой поместить еще одну дополнительную стеклянную крышку (рис. 1, ж);

- уменьшения радиационных потерь от пластины, если ее поверхность делать не черной, а селективной, т. е. сильно поглощающей, но слабо излучающей в определенной области спектра (рис. 1, з);

- использования вакуумированных приемников, в которых заполненная жидкостью черная трубка помещается внутри наружной стеклянной трубки и в пространстве между ними создается вакуум. Вакуумирование исключает конвективный перенос тепла через наружную поверхность.

Нагретую в проточном нагревателе жидкость можно использовать сразу или запасать. Скорость прокачки выбирают такой, чтобы температура воды повышалась примерно на 4 °С при каждом проходе через нагреватель. Прокатка нагретой жидкости может осуществляться как принудительно (насосом) (рис. 2), так и естественной циркуляцией (естественной конвекцией) (рис. 3). В последнем случае нагреватель должен находиться ниже накопителя нагретой воды.

Системы с принудительной циркуляцией выгодны, поскольку для их создания можно использовать существующие водонагревательные системы, вводя в них приемник солнечного излучения и насос. Кроме того, в них нет необходимости располагать накопительную емкость выше приемника. Недостатком их является зависимость от электроэнергии, потребляемой насосом.

Подогреватели воздуха. Солнечное излучение можно использовать для подогрева воздуха, просушивания зерна, для обогрева зданий. Эти приложения имеют важное значение для экономики. Значительная часть урожая зерна в мире теряется вследствие поражения плесневым грибом, которое можно предупредить правильным просушиванием. На обогрев зданий в странах с холодным климатом расходуется до половины энергетических ресурсов. Частичная разгрузка энергетики, связанная с проектированием или перестройкой зданий для использования солнечного тепла, позволит сэкономить значительные количества топлива, затрачиваемого ежегодно на эти цели.

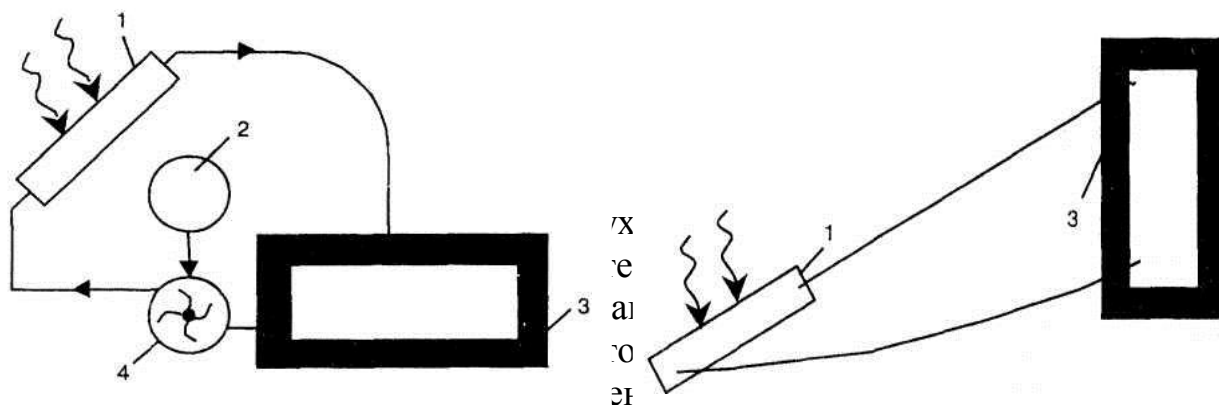


Рис. 2. Нагревательная система с принудительной циркуляцией; Рис. 3. Нагревательная система с естественной циркуляцией: 1 – приемник излучения; 2 – регулятор;

увеличения контактной поверхности теплообмена; 3 – изолированный накопительный резервуар; 4 – насос.

Концентраторы солнечной энергии (солнечные коллекторы). Многие возможные приложения требуют более высоких температур, чем те, которые можно получить даже с помощью лучших плоских нагревателей. Для решения этих задач используются концентрирующие коллекторы, принцип действия которых изображен на рис. 5.

Концентрирующий коллектор включает в себя приемник, поглощающий излучение и преобразующий его в какой-либо другой вид энергии, и концентратор, который представляет собой оптическую систему, собирающую солнечное излучение с большой поверхности и направляющую его на приемник. Обычно концентратор постоянно вращается, обеспечивает ему ориентацию на Солнце. Чаще всего он представляет собой зеркало параболической формы, в фокусе которого располагается приемник излучения.

В качестве концентраторов солнечной энергии могут также использоваться оптические линзы. В отличие от зеркал, концентрирующих отраженное излучение, линзы концентрируют излучение, проходящее через них.

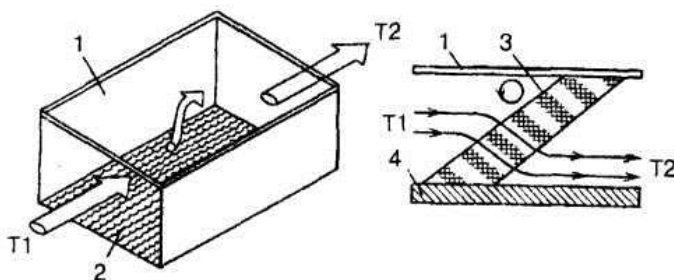


Рис. 4. Воздушные нагреватели: 1 — стеклянное покрытие; 2 — шероховатая черная поглощающая поверхность; 3 — пористая поглощающая пластина; 4 — изоляция.

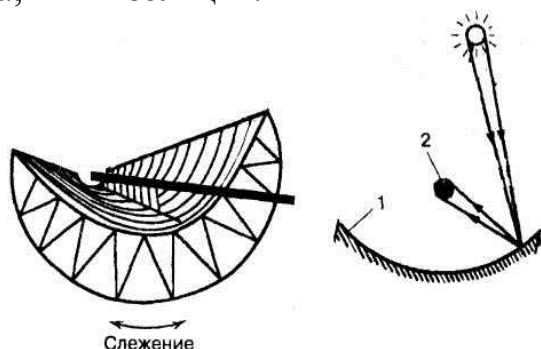


Рис. 5. Параболический концентратор: 1 — зеркало; 2 — приемник.

Солнечные системы для получения электроэнергии (солнечные электростанции). Концентрация солнечной энергии позволяет получать температуры до 700°C , достаточно большие для работы теплового двигателя с приемлемым коэффициентом полезного действия. Например, параболический концентратор с диаметром зеркала 30 м позволяет сконцентрировать мощность излучения порядка 700 кВт, что дает возможность получить до 200 кВт электроэнергии. Коллектор передает солнечную энергию теплоносителю (последний в этом случае может представлять собой водяной пар высокой температуры), который направляется в паровую турбину для выработки электроэнергии.

Для создания солнечных электростанций большой (порядка 10 МВт) мощности возможны два варианта: рассредоточенные коллекторы и системы с центральной солнечной башней.

Солнечная электростанция с рассредоточенными коллекторами (см. рис. 6) состоит из множества небольших концентрирующих коллекторов, каждый из которых независимо следит за Солнцем. Каждый коллектор передает солнечную энергию жидкости-теплоносителю, горячая жидкость (пар) от всех коллекторов собирается в центральной энергостанции и поступает на турбину электрогенератора.

Солнечная электростанция с центральной башней состоит из расположенных на большой площади следящих за Солнцем плоских зеркал, отражающих солнечные лучи на центральный приемник, помещенный на вершине башни.

Аккумуляторы тепловой энергии. В случаях, требующих нагрева больших объемов жидкости до температур ниже 100°C , применение стандартных нагревателей, описанных выше, оказывается слишком дорогостоящим. Солнечный пруд представляет собой оригинальный нагреватель, в котором теплозащитной крышкой является вода. Достаточно большой водоем может быть вырыт просто в земле.

В солнечный пруд заливается несколько слоев воды различной степени солености, причем наиболее соленый слой толщиной примерно 0,5 м располагается на дне (рис. 7).

Солнечное излучение поглощается дном водоема, и придонный слой воды нагревается. В обычных однородных водоемах нагретая вода, более легкая, чем окружающая ее, поднимается вверх и в процессе свободной конвекции передает тепло воздуху над водоемом. В неоднородном водоеме придонный слой воды обычно более соленый, чем слой над ним, так что плотность его хотя и уменьшается при нагревании, но все же остается выше плотности более высокого слоя. Поэтому конвекция не возникает и придонный слой нагревается все сильнее. Существуют растворы, плотность которых повышается при нагревании. Их использование позволяет иметь стабильные солнечные пруды. В солнечных прудах достигается равновесная температура до 90 °С и выше. Солнечный пруд в Эйн-Бореке (Израиль) производит 150 кВт электроэнергии с площади 0,74 га при стоимости 0,1 доллар США за 1 кВт·ч.

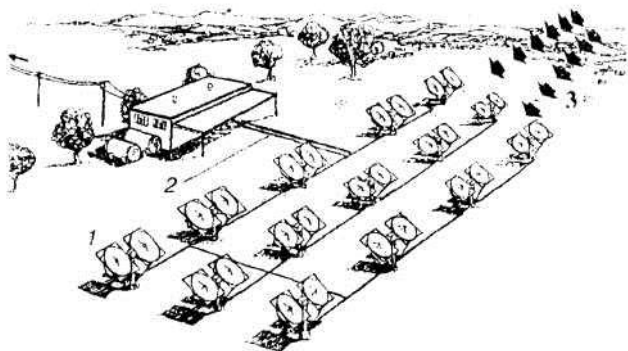


Рис. 6. Солнечная электростанция с рассредоточенными коллекторами: 1 — коллекторы; 2 — трубопроводы; 3 — солнечное излучение

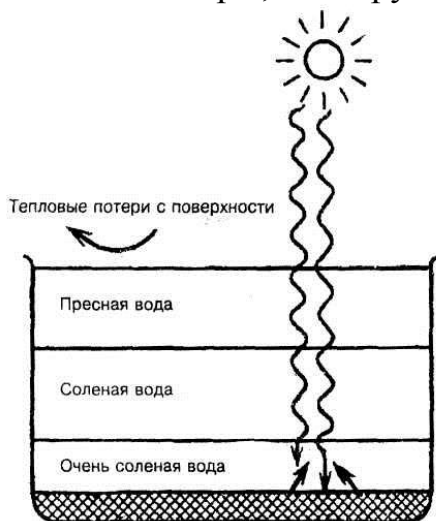


Рис. 7. Солнечный пруд (конвекция подавлена и придонные слои жидкости сохраняют тепло, полученное от Солнца).

3.3. Прямое преобразование солнечной энергии в электрическую

Самым оптимальным представляется прямое преобразование солнечной энергии в наиболее распространенную в использовании электрическую энергию. Это становится возможным при использовании такого физического явления, как фотоэффект.

Наиболее распространенным полупроводником, используемым для создания солнечных элементов, является кремний.

Солнечные элементы характеризуются коэффициентом преобразования солнечной энергии в электрическую, который представляет собой отношение падающего на элемент потока излучения к максимальной мощности вырабатываемой им электрической энергии. Кремниевые солнечные элементы имеют коэффициент преобразования 10-15% (т. е. при освещенности, равной 1 кВт/м², они вырабатывают электрическую мощность 1-1,5 Вт с каждого квадратного дециметра) при создаваемой разности потенциалов около 1 В.

В 1958 г. впервые солнечные батареи были использованы в США для энергообеспечения искусственного спутника Земли Vanguard I. В последующем они стали неотъемлемой частью космических аппаратов. Широко известны микрокалькуляторы, часы, радиоприемники и многие другие электронные аппараты, работающие на солнечных батареях.

За последние годы мировая продажа солнечных модулей составила по суммарной мощности 25 МВт в 1986 г. и около 60 МВт в 1991 г.

Полная стоимость солнечных элементов с 1974 по 1984 г. упала примерно со 100 до 4 долларов США за 1 Вт максимальной мощности. Предполагается снижение этой величины до 0,8 долларов США. Однако даже при полной стоимости солнечных элементов 4 доллара США на 1 Вт плюс вспомогательной аппаратуры 2 доллара США на 1 Вт при облученности местности 20 МДж/м² в день и долговечности солнечных батарей 20 лет стоимость вырабатываемой ими электроэнергии составляет примерно 16 центов США за 1 кВт·ч (4,4 цента за МДж). Это вполне конкурентоспособно с электроэнергией, вырабатываемой дизель - генераторами, особенно в отдаленных районах, где стоимость доставки топлива и обслуживания резко возрастает. Ожидается, что в ближайшие несколько лет солнечные батареи будут широко использоваться развивающимися странами в сельских местностях в осветительных системах и системах водоснабжения.

Основные компоненты солнечной энергетической установки изображены на рис. 8 и включают в себя: Б — солнечную батарею с приборами контроля и управления, А — аккумуляторную батарею, И — инвертор для преобразования постоянного тока солнечной батареи в переменный ток промышленных параметров, потребляемый большинством электрических устройств.

Несмотря на неравномерность суточного потока солнечного излучения и его отсутствие в ночное время, аккумуляторная батарея, накапливая вырабатываемое солнечной батареей электричество, позволяет обеспечить непрерывную работу солнечной энергетической установки.

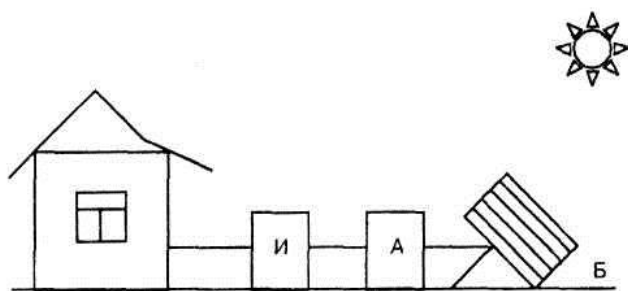


Рис. 8. Основные компоненты солнечной энергетической установки.

3.4. Ветроэнергетика

Ветер представляет собой движение воздушных масс земной атмосферы, вызванное перепадом температуры в атмосфере из-за неравномерного нагрева ее Солнцем. Таким образом, используемая энергия ветра является преобразованной в механическую энергию Солнца.

Устройства, преобразующие энергию ветра в полезную механическую, электрическую или тепловую виды энергии, называются ветроэнергетическими установками (ВЭУ), или ветроустановками.

Одно из основных условий при проектировании ветроустановок – обеспечение их защиты от разрушения очень сильными случайными порывами ветра. В каждой местности в среднем раз в 50 лет бывают ветры со скоростью, в 5-10 раз превышающей среднюю, поэтому ветроустановки приходится проектировать с большим запасом прочности. Максимальная проектная мощность ветроустановки определяется для некоторой стандартной скорости ветра, обычно принимаемой равной 12 м/с.

Скорость ветра увеличивается с высотой над поверхностью Земли. Ветроколесо должно устанавливаться достаточно высоко над местными препятствиями, чтобы набегающий на него ветровой поток был сильным, однородным и с минимальными изменениями скорости и направления.

Наилучшим местом для размещения ветроустановки является гладкая, куполообразная, ничем не затененная возвышенность. Желательно, чтобы ветроустановка в радиусе нескольких сотен метров была окружена полями или водной поверхностью. Как правило, головки ветроустановок находятся на высоте от 5 до 50 м. Для определения скорости U_1 на этих высотах часто используют формулу, в которую входит значение стандартной скорости ветра для данной местности U_{10} , измеренное на высоте 10 м, а именно:

$$U_z = U_{10} (z/10)^b.$$

(Высота z в этой формуле измеряется в метрах.)

Для открытых мест параметр $b = 1/7 = 0,14$. Чем меньше значение этого параметра, тем меньше будут различаться нагрузки, испытываемые лопастью ветроколеса в нижнем и верхнем положении. Очевидно, что значения параметра b различны в разное время года и даже в течение одного дня, поэтому приведенной выше формулой надо пользоваться очень осмотрительно, особенно для высот более 50 м.

В районах с благоприятными ветровыми условиями среднегодовое производство электроэнергии ветроустановками составляет 25-35% его максимального проектного значения. Срок службы ветроустановок обычно не менее 15-20 лет, а их стоимость колеблется от 1000 до 1500 долларов США за 1 кВт проектной мощности. Официальные оценки возможной доли ветроэнергетики в энергетике в целом, например в Великобритании и Западной Германии, не предполагающие каких-либо серьезных изменений в сложившейся инфраструктуре энергопотребления, дают не менее 20%. Автономные ветроустановки весьма перспективны для вытеснения дизельных электростанций и отопительных установок, работающих на нефтепродуктах, особенно в отдаленных районах и на островах.

Ветроустановки могут быть предназначены для непосредственного выполнения механической работы (например, привода водяного насоса) или для производства электроэнергии. В последнем случае они приводят в действие электрогенератор и в совокупности с ним называются ветроэлектрогенераторами.

3.5. Принцип действия и классификация ВЭУ

Как уже было сказано, в ветроэнергетических установках энергия ветра преобразуется в механическую энергию их рабочих органов. 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. 9).

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. 10, 11).

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.

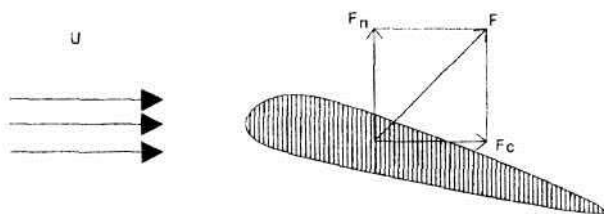


Рис. 9. Силы, действующие на тело, обтекаемое потоком газа: U – скорость газового потока; F_c – сила лобового сопротивления; F_n – подъемная сила; F – результирующая сила

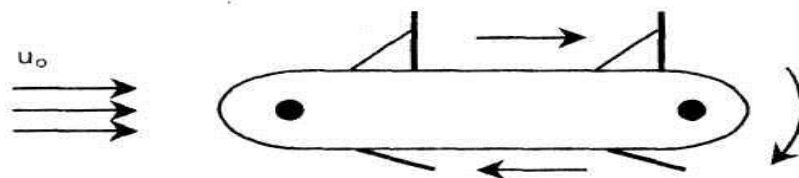


Рис. 10. Принципиальная схема зетроустановки, использующей силу лобового сопротивления и состоящей из укрепленных на перемещающемся ремне откидывающихся пластин

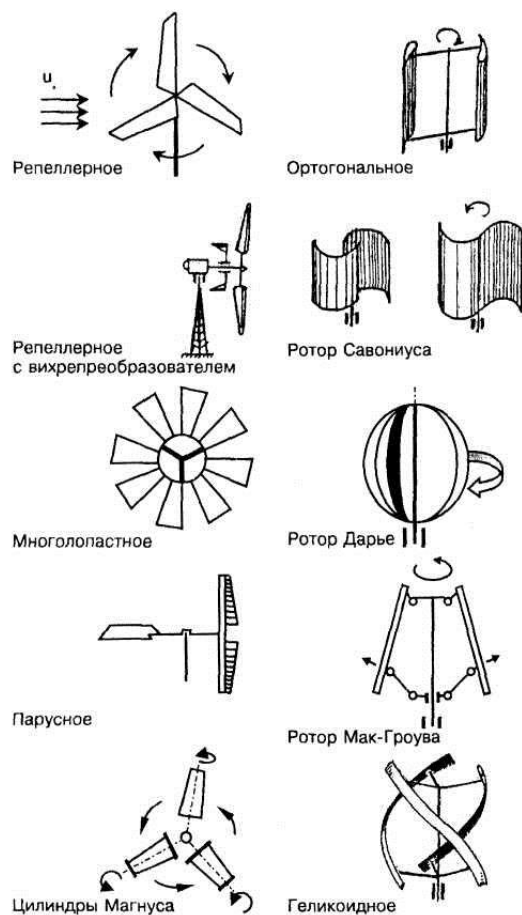


Рис. 11. Классификация ветроколес (левый столбец – ветроколеса с горизонтальной осью, правый – с вертикальной).

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 быстроходности Z , представляющим собой отношение скорости конца лопасти к скорости ветра.

При скорости ветра U и плотности воздуха ветроколесо с ометаемой площадью S развивает мощность P :

$$P = C_p S \rho U^3 / 2.$$

ВЭУ с большим геометрическим заполнением ветроколеса развивают значительную мощность при относительно слабом ветре и максимум мощности достигается при небольших оборотах колеса. ВЭУ с малым заполнением достигают максимальной мощности при больших оборотах и дольше выходят на этот режим. Поэтому первые используются, например, в водяных насосах и даже при слабом ветре сохраняют работоспособность, а вторые – в качестве электрогенераторов, где требуется высокая частота вращения.

3.6. Производство электроэнергии с помощью ветроэнергетических установок

Использование ветроустановок для производства электроэнергии является наиболее эффективным способом утилизации энергии ветра. Предъявляемые при этом требования к частоте и напряжению вырабатываемой электроэнергии зависят от особенностей потребителей этой энергии. Эти требования жесткие при работе ветроустановок в рамках единой энергосистемы и достаточно мягкие при использовании энергии ВЭУ в осветительных и нагревательных установках.

Основными элементами ветроэлектрогенераторов являются: 1) собственно ветроустановка; 2) электрогенератор; 3) система управления параметрами генерируемой электроэнергии в зависимости от изменения силы ветра и скорости вращения ветроколеса; 4) так как периоды безветрия неизбежны, то для исключения перебоев в электроснабжении ВЭУ должны иметь аккумуляторы электрической энергии или быть запараллелены с ветроэнергетическими установками других типов.

Одним из способов управления электроэнергией ВЭУ является выпрямление переменного тока ВЭУ и затем преобразование его в переменный ток с заданными стабилизированными параметрами.

3.7. Ветроэнергетический потенциал Республики Беларусь

Энергетическая программа Республики Беларусь до 2010 г. основными направлениями использования ветроэнергетических ресурсов на ближайший период предусматривает их применение для привода насосных установок и в качестве источников энергии для электродвигателей. Эти области применения характеризуются минимальными требованиями к качеству электрической энергии, что позволяет резко упростить и удешевить ветроэнергетические установки. Особенно перспективным считается их использование в сочетании с малыми гидроэлектростанциями для перекачки воды. Применение ветроэнергетических установок для водоподъема, электроподогрева воды и электроснабжения автономных потребителей к 2010 г. предполагается довести до 15 МВт установленной мощности, что обеспечит экономию 9 тыс. т условного топлива в год.

Одним из высокоприоритетных белорусских национальных проектов, включенных в Мировую солнечную программу на 1996 - 2005 гг., является создание двух экспериментальных промышленных ветроэнергетических установок мощностью 1,5 МВт каждая.

Под Минском уже установлена и работает ВЭУ мощностью 100 кВт. Данная установка может работать при скорости ветра 3 м/с.

Беларусь располагает значительными ресурсами энергии ветра, около 150 МВт установленной мощности.

По данным Государственного комитета по гидрометеорологии РБ и НП ГП "Ветромаш", среднегодовая скорость ветра на территории республики составляет 4,3 м/с. При этом на четверти пригодной для внедрения ветроэнергетических установок территории среднегодовая скорость ветра превышает 5 м/с. Такая скорость ветра соответствует требованиям мировой практики по показателям коммерческой целесообразности внедрения ветротехники. 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.

3.8. Гидроэнергетика

Термин "гидроэнергетика" определяет область энергетики, использующей энергию движущейся воды, как правило, рек. Эта энергия преобразуется или в механическую, или чаще всего в электрическую. Помимо гидроэнергетики водными источниками энергии являются морские волны и приливы.

Гидроэнергетика является наиболее развитой областью энергетики на возобновляемых ресурсах.

Часто бывает, что в силу тех или иных изменений атмосферных условий этот кругооборот нарушается, реки мелеют или даже полностью высыхают. Другим крайним случаем является нарушение этого кругооборота, приводящее к наводнениям.

Для исключения этих обстоятельств на реках перед гидроэлектростанциями строятся плотины, формируются водохранилища, с помощью которых регулируется постоянный напор и расход воды. Гидроэлектростанции и их оборудование используются очень долго, турбины, например, – около 50 лет. Это объясняется условиями их эксплуатации: равномерный режим работы при отсутствии экстремальных температурных и других нагрузок. Вследствие этого стоимость вырабатываемой на ГЭС электроэнергии низка (примерно 4 цента США за 1 кВт-ч) и многие из них работают с высоким экономическим эффектом. Например, Норвегия производит 90% электроэнергии на ГЭС. Вырабатываемую ГЭС энергию очень легко регулировать, что важно при ее использовании в энергосистемах с большими колебаниями нагрузки.

С самого начала (примерно с 80-х годов прошлого столетия) для производства электроэнергии в гидроэнергетике использовались в основном гидравлические турбины. Их суммарная мощность возрастает сейчас во всем мире примерно на 5% в год т. е. удваивается каждые 15 лет. В 1980 г. мощность всех ГЭС составляла примерно 500000 МВт и большая часть станций имела мощность более 10 МВт.

Потенциальные возможности гидроэнергетики оцениваются в $1,5 \cdot 10^6$ МВт, при этом они наиболее велики в Африке, Китае и Южной Америке.

Наиболее сложными проблемами гидроэнергетики являются: ущерб, наносимый окружающей среде (особенно от затопления больших площадей при создании водохранилищ), заиливание плотин, коррозия гидротурбин и в сравнении с тепловыми электростанциями большие капитальные затраты на их сооружение. Поэтому особенно перспективным в настоящее время является использование гидроэнергетических ресурсов малых рек без создания искусственных водохранилищ.

Республика Беларусь – преимущественно равнинная страна, тем не менее ее гидроэнергетические ресурсы достаточно существенны. Потенциальная мощность рек Беларуси составляет 855 МВт (7,5 млрд. кВт-ч. в год), технически возможные ресурсы оцениваются в 3 млрд. кВт-ч. в год.

Освоение рек Беларуси начато в 50-е годы, в начале 60-х годов действовало 170 ГЭС общей мощностью 21 тыс. кВт-ч, за год вырабатывалось в среднем 88 млн. кВт-ч электроэнергии, сельское хозяйство получало около 20% потребляемой энергии. Крупнейшая из них – Осиповичская ГЭС (2250 кВт).

В настоящее время действует около 10 ГЭС суммарной мощностью 7 тыс. кВт-ч (0,8% от возможных к техническому использованию гидроресурсов).

Энергетическая программа Республики Беларусь до 2010 г. в качестве основных направлений развития малой гидроэнергетики в республике предусматривает:

- восстановление ранее существовавших малых гидроэлектростанций на существующих водохранилищах путем капитального ремонта и частичной замены оборудования;
- сооружение новых малых ГЭС на водохранилищах неэнергетического назначения без затопления;
- сооружение малых ГЭС на промышленных водосбросах;
- сооружение бесплотинных (русловых) ГЭС на реках со значительными расходами воды.

Как правило, все восстанавливаемые и вновь сооружаемые малые ГЭС будут работать параллельно с энергосистемой, что позволит значительно упростить схемные и конструктивные решения.

Общую мощность малых ГЭС в республике предполагается довести к 2010 г. до 100 МВт установленной мощности, что обеспечит экономию 120 тыс. т условного топлива в год.

Одним из высокоприоритетных белорусских национальных проектов является создание каскада из четырех ГЭС общей мощностью 132 МВт на реке Западная Двина с обеспечением специальных мер по минимизации затопления.

Вообще бассейны рек Западная Двина и Неман, протекающих по территории Беларуси, относятся к зонам высокого гидроэнергетического потенциала, и использование его еще в 40 годах намечалось путем строительства многоступенчатых каскадов ГЭС. В настоящее время разработан проект создания каскада 4 ГЭС на р. Западная Двина со строительством ГЭС в районе Витебска, Бешенковичей и Полоцка и еще одной ниже по течению с общей установленной мощностью 132 МВт и ежегодной выработкой электроэнергии 530 млн кВт·ч. Требуемые капитальные вложения для реализации этого проекта составляют около 120 млн долларов США. Аналогичный проект разработан и для р. Неман со строительством ГЭС в районе г. Гродно и д. Немново с общей установленной мощностью каскада 45 МВт и ежегодной выработкой электроэнергии 180 млн кВт·ч. Этот проект требует около 40 млн долларов США капитальных вложений.

3.9. Основные принципы использования энергии воды

Оценка мощности водного потока. Пусть Q – объем воды, поступающей в рабочий орган гидроэнергетической установки в единицу времени (расход, измеряемый в $\text{м}^3/\text{с}$), H – высота падения жидкости (напор, измеряемый в метрах), ρ – плотность воды ($\text{кг}/\text{м}^3$), g – ускорение силы тяжести ($9,8 \text{ м}/\text{с}^2$). Тогда мощность водного потока P определяется по формуле

$$P = Q \rho g H.$$

Основным рабочим органом гидроэнергетической установки, непосредственно преобразующим энергию движущейся воды в кинетическую энергию своего вращения, является гидротурбина. Коэффициент полезного действия гидротурбины составляет до 90%. Гидротурбины бывают двух типов:

- активные гидротурбины, рабочее колесо которых вращается в воздухе натекающим на его лопасти потоком воды (рис. 12, а);
- реактивные гидротурбины, рабочее колесо которых полностью погружено в воду и вращается в основном за счет разности давлений перед и за колесом (рис. 12, б).

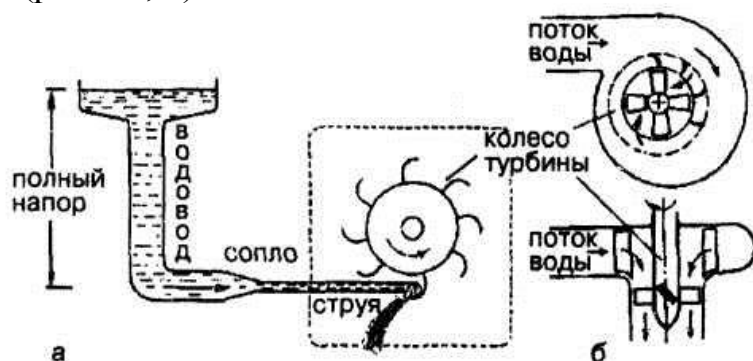


Рис. 12. Схемы активной гидротурбины (турбины Пельтона) (а) и реактивной гидротурбины (б).

В активной гидротурбине водный поток перед турбиной с помощью водовода и сопла формируется в струю, которая направляется на ковши, расположенные на ободе колеса, приводящего во вращение. Величина КПД реальных турбин колеблется от 50% для небольших агрегатов до 90 % для больших энергоустановок.

Конструкция рабочего колеса реактивной гидротурбины такова, что поток воды воздействует на все лопасти турбины одновременно и практически постоянно. Наиболее компактной конструкцией реактивной гидротурбины является пропеллерная с преимущественно осевым направлением потока в рабочем колесе. Направляющий аппарат на входе турбины несколько закручивает поступающий на рабочее колесо поток, увеличивая тем самым КПД турбины.

3.10. Энергия волн

Огромные количества энергии можно получить от морских волн. Мощность, переносимая волнами на глубокой воде, пропорциональна квадрату их амплитуды и периоду. Поэтому наибольший интерес представляют длиннопериодные (период порядка 10 с) волны с большой амплитудой (порядка 2 м), позволяющие снимать с единицы длины гребня в среднем 50—70 кВт/м.

Возможность преобразования энергии волн в электроэнергию доказана уже давно. Существует множество технических решений, позволяющих реализовать эту возможность. В последние годы интерес к волновой энергетике резко усилился, особенно в Японии, Великобритании, странах Скандинавии, в результате чего эксперименты переросли в стадию реализации проектов. Современная тенденция разработки таких установок, как и вообще установок на возобновляемых видах энергии, ориентируется на единичные модули умеренной мощности (около 1 МВт) размером порядка 50 м вдоль фронта волны.

В результате волнового движения жидкости в волне одновременно с изменением положения уровня и наклона поверхности происходит изменение кинетической и потенциальной энергии, изменение давления под волной. На основе использования одного характерного признака волнового движения или их комбинации уже создано большое количество различных устройств, поглощающих и преобразующих волновую энергию.

На рис. 13 изображена 500-киловаттная волновая энергетическая установка, работающая на принципе колеблющегося водного столба, схема которой представлена на рис. 14.

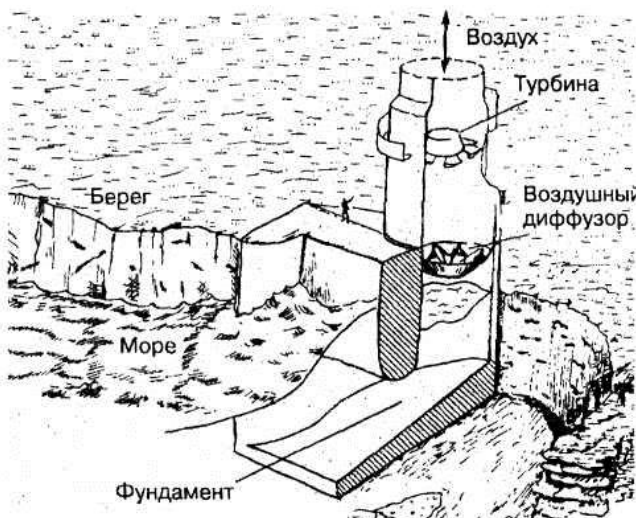


Рис. 13. Волновая энергетическая установка на принципе колеблющегося водного столба, построенная вблизи Торфестоллена, Норвегия.

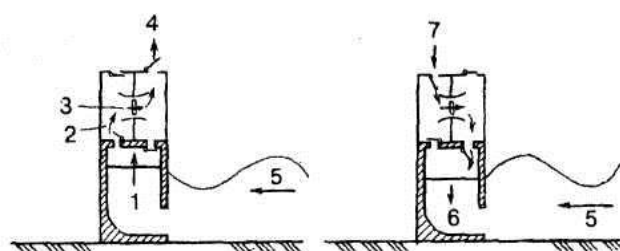


Рис. 14. Схема установки, в которой используется принцип колеблющегося водного столба (разработана Национальной инженерной лабораторией NEL, Великобритания, размещается непосредственно на грунте, турбина приводится в действие потоком одного направления): 1 — волновой подъем уровня; 2 — воздушный поток; 3 — турбина; 4 — выпуск воздуха; 5 — направление волны; 6 — опускание уровня; 7 — впуск воздуха.

При наегании волны на частично погруженную полость, открытую под водой, столб жидкости в полости колеблется, вызывая изменения давления в газе над жидкостью. Пустота может быть связана с атмосферой через турбину. Главное преимущество устройств на принципе водяного колеблющегося столба состоит в том, что скорость воздуха перед турбиной может быть значительно увеличена за счет уменьшения проходного сечения канала. Это позволяет сочетать медленное волновое движение с высокочастотным вращением турбины. Кроме того, здесь создается возможность удалить генерирующее устройство из зоны непосредственного воздействия соленой морской волны.

3.11. Энергия приливов

Приливные колебания уровня в огромных океанах планеты вполне предсказуемы и связаны с гравитационным воздействием Луны на водные массы Земли. Основные периоды этих колебаний — суточные продолжительностью около 24 ч и полусуточные — около 12 ч 25 мин. Разность между последовательными самым высоким и самым низким уровнями воды составляет 0,5—10 м (высота прилива). Во время приливов и отливов перемещение водных масс образует приливные течения, скорость которых в прибрежных проливах и между островами может достигать 5 м/с.

Преобразование энергии приливов использовалось для приведения в действие сравнительно маломощных устройств еще в средневековой Англии и в Китае. Из современных приливных электростанций (ПЭС) наиболее хорошо известны крупномасштабная электростанция Ране мощностью 240 МВт (Бретань, Франция) и небольшая, но принципиально важная опытная станция мощностью 400 кВт в Кислой Губе на побережье Баренцева моря (Россия).

3.12. Преобразование тепловой энергии океана в механическую

Мировой океан — крупнейший естественный коллектор солнечного излучения. В нем между теплыми, поглощающими солнечное излучение поверхностными водами и более холодными придонными достигается разность температур в 20°C . Это обеспечивает непрерывно пополняемый запас тепловой энергии, которая принципиально может быть преобразована в другие виды. На рис. 15 приведена схема установки, позволяющей осуществить процесс такого преобразования. По существу это тепловая машина, приводимая в действие разностью температур между "холодной" водой, поднятой из глубины океана, и "горячей" водой, забранной с поверхности.

Рабочая жидкость (рабочее тело), циркулируя по замкнутой схеме, отбирает тепло от "горячей" воды в теплообменнике испарителя, в паровой фазе приводит в действие турбину, связанную с генератором, а затем конденсируется в охлаждаемом "холодной" водой конденсаторе.

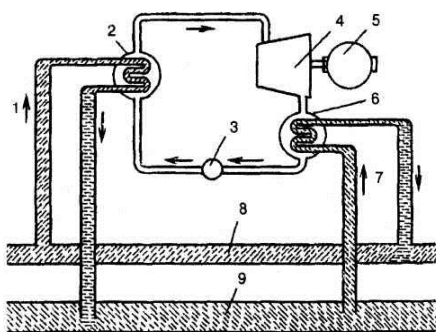


Рис. 15. Схема преобразования тепловой энергии океана в механическую:

1 — подача "горячей" воды; 2 — испаритель; 3 — насос подачи рабочего тела; 4 — турбина; 5 — генератор;

6 — конденсатор; 7 — подача "холодной" воды; 8 — поверхность океана; 9 — океанские глубины.

3.13. Геотермальная энергетика

В местах вулканической деятельности имеются выходы на поверхность естественных теплоносителей — горячей воды и пара. На глубине 3-5 км температура пород достигает $300-500^{\circ}\text{C}$ и выше.

В простейшей геотермальной электростанции природный пар, идущий из скважины, поступает в турбину, а отработав в ней, сбрасывается в атмосферу или в устройство, улавливающее химические вещества для их дальнейшей переработки. Турбина приводит в действие электрогенератор. Затра-

ты на сооружение всего комплекса электростанции и ее эксплуатацию минимальны. Однако расход пара в 2-2,5 раза больше, чем в конденсаторных установках, и составляет 15-25 кг/кВт·ч, т.к. в большинстве случаев в недрах Земли находится не чистый сухой пар, пригодный для непосредственной подачи в турбину, а перегретая до 150-250 °С вода.

Уже в 1914 году в Италии была сооружена электростанция с тремя турбогенераторами мощностью по 2750 кВт каждый.

Препятствием к распространению геотермальных установок являются ненадежность работы оборудования из-за повышенной коррозионной активности пара с растворенными в нем активными химическими соединениями, а также отложения солей на рабочих органах турбины.

По данным Института геологических наук НАН Беларуси в республике известны два перспективных района для извлечения геотермальной энергии с плотностью запасов более 2 т. у. т./м²: центральная и северная зоны в Гомельской области и территория западнее линии Высокое-Жабинка-Малорита в Гомельской области. В первом из этих районов в скважинах на глубине 1400-1800 м обнаружена вода с температурой 50 °С, на глубине 3080–90-95 °С и на глубине 4200–100 °С. Плотность запасов тепловой энергии составляет от 4 до 8 т. у. т./м².

Во втором районе (Брестская обл.) плотность запасов не превосходит 4 т. у. т./м². Кроме вышеназванных районов обнаружены благоприятные зоны недалеко от г. Гродно и в Оршанской впадине.

В целом, прогнозные ресурсы геотермальной энергии в РБ оцениваются в 100 млрд. т. у. т., однако высокая минерализация термальных вод и производительность имеющихся скважин, их малое количество и в целом слабая изученность ситуации не позволяют рассчитывать на освоение этого типа возобновляемой энергии в течении ближайших 10-15 лет.

3.14. Биоэнергетика

Сложный комплекс веществ, из которых состоят растения и животные, принято называть биомассой. Основа биомассы — органические соединения углерода. Органические соединения углерода в процессе соединения с кислородом при сгорании или в процессе естественного метаболизма выделяют тепло.

Первоначальная энергия системы биомасса — кислород возникает в процессе фотосинтеза под действием солнечного излучения, являющегося естественным вариантом преобразования солнечной энергии.

Биомасса является основным исходным веществом для образования ископаемых топлив (торфа, угля, нефти, газа). Таким образом, биомасса и связанные с ней происхождением ископаемые углеводородные топлива являются не чем иным, как огромными аккумуляторами солнечной энергии.

В пересчете на сухую массу образование биологических материалов в биосфере идет со скоростью около $2,5 \cdot 10^{11}$ т в год. При этом ежегодно химически связывается примерно 10^{11} т углерода. Потребляемая при этом (при фотосинтезе) солнечная энергия составляет $2 \cdot 10^{21}$ Дж/год ($7 \cdot 10^{13}$ Вт). Поток

фотосинтетической энергии на нашу планету составляет около 250 кВт на человека, что эквивалентно выработке 100000 крупных атомных электростанций. Из общего количества биомассы только 0,5% употребляется человечеством в виде пищи. Образование биомассы изменяется в зависимости от местных условий, и на единице площади суши ее образуется примерно в 2 раза больше, чем на единице поверхности моря. Промышленное использование энергии биомассы может быть весьма значительным. Например, за счет отходов производства сахара в поставляющих его странах покрывается до 40% потребностей в топливе. Применение биотоплива в виде дров, навоза и ботвы растений имеет первостепенное значение в домашнем хозяйстве примерно 50% населения планеты. Но для того чтобы рассматривать биомассу как возобновляемый источник энергии, необходимо обеспечить ее производство по крайней мере на одном уровне с потреблением. Для человечества гибельно то, что в настоящее время расход древесного топлива значительно опережает его воспроизводство.

Источники биомассы могут быть разделены на несколько групп:

1. 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.

2. 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.

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

Свиноводческий комплекс мощностью 108 тыс. голов ежедневно выделяет в атмосферу 3600 кг аммиака, 350 кг сероводорода и большое количество микробных тел, которые становятся возбудителями заболеваний (бруцеллеза, туберкулеза и др.). Потребляемое им количество воды достаточно для обеспечения города с населением 20 тыс. человек.

Перспективным в условиях малых и средних животноводческих предприятий является получение и использование твердого подстилочного и подстилочного навоза с последующим его использованием в качестве органических удобрений. Для компенсации 110 кг минеральных удобрений достаточно внести 10 т бесподстилочного навоза, что эквивалентно 112 кг у.т.

4. Специально выращенные агрокультуры (водоросли ламинария, макроцистис, эклония) 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.

5. 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.

Энергетическая программа Республики Беларусь до 2010 г. предусматривает ряд крупномасштабных мероприятий в области биоэнергетики. Считается, что применение биоэнергетических установок по переработке отходов животноводства позволит существенно улучшить экологическую обстановку вблизи крупных животноводческих комплексов, где к настоящему времени скопились огромные количества не переработанной биомассы. Кроме того, можно рассчитывать на получение высококачественных органических удобрений и за счет производства биогаза обеспечить экономию 116 тыс. т. условного топлива в год.

В Республике Беларусь ежегодно накапливается около 2,4 млн. т твердых бытовых отходов, которые направляются на свалки и мусороперерабатывающие заводы. На них ежегодно вывозится: бумаги — около 650 тыс. т, пищевых отходов — около 550 тыс. т, текстиля — около 70 тыс. т, деревья — около 54 тыс. т. Потенциальная энергия, заключенная в них, эквивалентна 470 тыс. т. условного топлива. В мировой практике получение энергии из твердых бытовых отходов осуществляется в основном сжиганием и газификацией. В Японии, Дании и Швейцарии сжигается около 70%, в Германии — 30, Италии — 25, США — около 14%.

3.15. Производство и использование биотоплива

Классификацию основных типов энергетических процессов, связанных с переработкой биомассы, можно представить следующим образом.

Термохимические процессы.

1. Прямое сжигание для получения теплоты.

2. Пиролиз. Биомассу нагревают либо в отсутствие воздуха, либо за счет сгорания некоторой ее части при ограниченном доступе воздуха или кислорода. Состав получающихся при этом продуктов чрезвычайно разнообразен. Здесь и газы, и жидкости, и масла, и древесный уголь. Изменение состава продуктов пиролиза зависит от температурных условий, типа вводимого в процесс сырья, способов ведения процесса. Если основным продуктом пиролиза является горючий газ, то процесс называется газификацией, а устройства для его получения — газогенераторами.

КПД пиролиза определяется как отношение теплоты сгорания производного топлива к теплоте сгорания исходной биомассы. Достижимый КПД весьма высок: 80-90%.

Разновидности топлива, получаемого в результате пиролиза, обладают несколько меньшей по сравнению с исходной биомассой суммарной энергией сгорания, но обладают большей универсальностью применения: лучшей управляемостью горением, большим удобством в обращении и транспорти-

ровке, более широким диапазоном возможных устройств-потребителей, меньшим загрязнением окружающей среды при сгорании.

3. Гидрогенизация. Измельченную, разложившуюся или переваренную биомассу, например навоз, нагревают в атмосфере водорода до температуры около 600°C при давлении около 5 МПа (50 атм). Получаемые при этом горючие газы, преимущественно метан и этан, при сжигании дают около 6 МДж на 1 кг сухого сырья.

Альтернативой получения биотоплива является уголь. В 2007 г. в Китае заработает завод, по гидрогенизации угля. Однако, эксперты по экологии и энергетике не очень оптимистично настроены в способе получения «бензина из угля», из-за значительной нагрузки на окружающую среду.

Биохимические процессы.

4. Анаэробная переработка. Анаэробный метод переработки биомассы позволяет получить биогаз, улучшить питательную ценность органических удобрений и избавиться от семян сорной растительности. Фосфор и калий практически полностью сохраняются, значительная часть азота переходит из органической в аммиачную форму, которая быстро усваивается в первый год использования. Потери азота не превышают 5%. Урожайность зерновых и картофеля повышается на 20-30%, многолетних трав – почти вдвое.

Десятидневное, метановое сбраживание навоза в бродильных камерах биогазовой установки обеспечивает полное обеззараживание навоза от яиц и личинок ряда гельминтов. Переработанный навоз может быть использован как сырье для производства кормовых добавок, содержащих витамин B_{12} . В настоящее время в Индии работает около 30000 биогазовых установок.

Сбраживание осуществляется несколькими видами бактерий, в результате из 1 м^3 навоза можно получить 5-15 м^3 газа.

Состав биогаза следующий: метан – 55-80%, углекислый газ – 20-45%, сероводород – 1-1,3%. Энергосодержание 1 м^3 эквивалентно 0,5 кг дизтоплива или 1 кг каменного угля, или 0,52 кг у.т.

Средние значения выхода биогаза с 1 м^3 реактора равно 1,5 м^3 . За сутки со свиного комплекса мощностью 24 тыс. голов может быть получено 6 тыс. м^3 , с фермы на 1000 голов КРС – 2,2...6 тыс. м^3 биогаза.

Оптимальными температурами для размножения метановых бактерий являются $30\text{—}34^{\circ}\text{C}$ (мезофильное брожение) и $50\text{—}55^{\circ}\text{C}$ (термофильное брожение). Для биогазовых установок непрерывного действия длительность сбраживания должна быть 20—22 дня, т. е. ежедневно камеры должны загружаться сырым навозом в количестве 4,5—5 % от их объема.

Схема биогазового энергетического комплекса фирмы «Биогаз-Норд» (Германия) представлена на рис. 16.

В 1998 году в ФРГ эксплуатировалось 2020 биогазовых установок, в 2006 году уже 3500, которыми было получено 10 млрд кВт ч электроэнергии. В перспективе, к 2010 году с их помощью планируется произвести 10% электрической и 20% тепловой энергии.

Основой биогазовых энергетических комплексов является оборудование для получения биогаза и удобрений:

- 1 – биогазовая установка;
- 1,1 – емкости и устройства приготовления биомассы;
- 1,2 – метатенк-биореактор;
- 1,3 – мешалка;
- 1,4 – накопители биогаза;
- 2 – энергоблок;
- 2,1 – двигатель внутреннего сгорания;
- 2,2 – электрогенератор;
- 2,3 – гидро- и газопроводы;
- 3 – система автоматического управления комплексом.

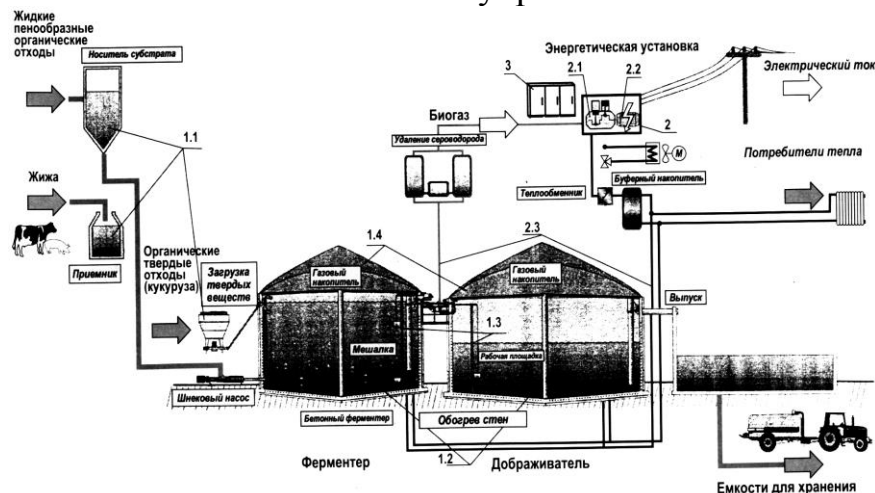


Рис. 16. Схема биогазового энергетического комплекса фирмы «Биогаз-Норд» (Германия)

5. Спиртовая ферментация. Этиловый спирт – летучее жидкое топливо, которое можно использовать вместо бензина. Он вырабатывается микроорганизмами в процессе ферментации. Обычно для ферментации в качестве сырья используют сахара.

В качестве сырья используется сахарный тростник, рапс, пшеница, картофель, свекла.

Агрохимические процессы.

6. Экстракция топлива. В некоторых случаях жидкие или твердые разновидности топлив могут быть получены прямо от животных или растений. Например, сок живых растений собирают, надрезая кожуру стеблей или стволов, из свежесрезанных растений его выдавливают под прессом. Хорошо известный подобный процесс – получение каучука. Родственное каучуконосам растение Герея производит углеводороды с более низкой, чем у каучука, молекулярной массой, которые могут быть использованы в качестве заменителей бензина.

ТЕМА 4. Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР)

Современные ТЭС оказывают большое влияние на окружающую среду. Для обеспечения их работы привлекаются значительные природные ресурсы (топливо, вода, реагенты, строительные материалы). Через технологические (топливоснабжение) и естественные (сток рек, воздушные течения, подземная фильтрация) связи их влияние передается на значительные расстояния и должно быть учтено, локализовано и максимально нейтрализовано.

Размеры площадок ТЭС достигают 3–4 км². На этой территории полностью изменяется рельеф местности, характеристики и распределение воздушных течений и поверхностного стока, нарушается почвенный слой, растительный покров, режим грунтовых вод. Эти изменения, а также производственные шумы и освещенность в ночное время приводят к нарушению экологического равновесия.

Выброс больших масс теплоты и влаги крупными градирнями вызывает снижение солнечной освещенности, образование низкой облачности и туманов, морозящих дождей, инея, гололеда, обледенения дорог и конструкций. В теплое время года в результате испарения капель, достигших земли, возможно засоление почв.

Создание водохранилищ-охладителей для мощных электростанций с поверхностью 20–30 км² приводит к перераспределению стока, изменению режима паводков, разливов, восполнения запасов грунтовых вод, условий разведения рыбы.

Сточные воды и ливневые стоки с территории ТЭС загрязняются отходами технологических циклов энергоустановок (нефтепродукты, шлаки, обмывочные воды). Их сброс в водоемы может оказаться губительным для водных организмов, снижает способность водоема к самоочищению.

Отрицательное влияние на природные условия оказывают золоотвалы – земля исключается из сельскохозяйственного оборота. Пыление золоотвалов приводит к гибели растений.

В технологических циклах электростанций более 95% охлаждающей воды нагревается на 9–10°C, в водоемы сбрасывается большое количество теплоты, которая нарушает естественные условия существования экологических систем.

Газопылевые выбросы ТЭС загрязняют атмосферу углекислотой, золой, оксидами азота, сернистой и серной кислотой, что вызывает коррозию сооружений и оборудования, уменьшает солнечное облучение территории.

Среди основных направлений охраны окружающей среды от вредного воздействия ТЭС следует отметить применение природосберегающих технологий при генерации энергии. К их числу относятся технологии, которые увеличивают коэффициент использования топлива (ТЭЦ вместо КЭС, АЭС вместо ТЭС на органическом топливе) и соответственно уменьшают количество прямых (зола, шлак) и вторичных (обмывочные воды) загрязнений. К ним относятся различные способы деструктивной переработки топлив (получение метанола, синтез газа, водорода и т.д.), позволяющие более полно про-

известить выделение потенциальных загрязнителей (серы) на ранних стадиях использования топлива. Сюда же относится применение замкнутых технологических циклов: полное использование золы ТЭС, получение из дымовых газов азота и технической серной кислоты, улавливание и последующее сжигание нефтемаслопродуктов из отходящих вод.

Эти методы относятся к активным способам защиты окружающей среды.

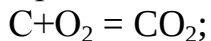
Пассивные способы предусматривают применение устройств, улавливающих загрязнения на конечных стадиях технологического процесса (золоуловители, очистные сооружения) или способствующих их разбавлению до концентраций, меньших предельно допустимых (высокие дымовые трубы, шумопоглотители).

4.1. Горение

Горение – это химический процесс взаимодействия вещества с окислителем, сопровождающийся интенсивным выделением тепла.

Продуктами полного сгорания топлива являются углекислый газ CO_2 , сернистый газ SO_2 и водяные пары H_2O .

При взаимодействии углерода с кислородом имеем

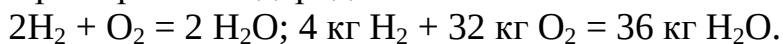


В реальных условиях работы котлов в дымовых газах может оставаться некоторое количество продуктов неполного горения – окись углерода CO , водород H_2 метан CH_4 , а также канцерогенные вещества.

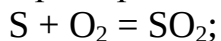
При неполном сжигании углерода



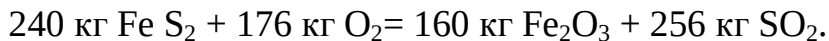
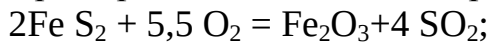
При горении водорода



При горении органической серы



При горении колчеданной серы



При полном сгорании 1 кг твердого или жидкого топлива или 1 м³ газообразного топлива в образующихся газообразных продуктах должны содержаться лишь продукты полного сгорания горючих элементов – CO_2 , SO_2 , H_2O ; азот N_2 , CO_2 и SO_2 называют трехатомными газами. В топочных газах содержатся частицы несгоревшего топлива.

Состав продуктов сгорания топлива определяется с помощью газоанализаторов, для определения содержания в дымовых газах продуктов неполного горения используются хроматографы.

4.2. Парниковый эффект

Парниковый эффект – это свойство атмосферы пропускать солнечную радиацию, но задерживать земное излучение и тем самым способствовать аккумуляции тепла Землей. Земная атмосфера сравнительно хорошо пропускает коротковолновую солнечную радиацию, которая почти полностью поглощается земной поверхностью, так как альбедо земной поверхности мало {альбедо – отношение потока излучения, рассеиваемого поверхностью, к падающему на поверхность потоку излучения). Нагреваясь за счет поглощения солнечной радиации, земная поверхность становится источником земного, в основном длинноволнового, излучения, прозрачность атмосферы для которого мала и которое почти полностью поглощается в атмосфере. В случае парникового эффекта при ясном небе только 10–20% земного излучения, проникая через атмосферу, может уходить в космическое пространство. Глобальное потепление частично связано с повышением содержания в атмосфере CO_2 , выделяемого при сжигании ископаемого топлива. Теплоизоляция – весьма эффективный способ сократить расход топлива при отоплении, а следовательно, понизить содержание CO_2 в воздухе.

Различные исследования были проведены EURIMA (Европейской ассоциацией производителей изоляционных материалов) в разных уголках Европы. Результаты исследований убедительно показали, что сильного загрязнения окружающей среды можно избежать, развивая технологию изоляционных процессов. В Европе общее количество выбросов CO_2 составляет 3000 млн. т в год. С применением теплоизоляции количество выбросов уменьшается на 10%, что составляет 300 млн. т в год. Одновременно сокращаются выбросы двуокиси серы SO_2 , нитратов NO_x и других компонентов, что значительно уменьшает количество кислотных остатков.

Исследования, проведенные в Англии, показали, что если в расчете на 1 м^2 строительной площади использовать 50 мм изоляционных материалов, то через 50 лет содержание CO_2 в атмосфере сократится на 1 т. Выгода оказывается значительной, если принимать во внимание весь объем жилой площади и те преимущества, которые влечет за собой повышение комфортности жилых и производственных помещений.

Мировая практика свидетельствует, что затраты на энергетику непрерывно растут. Этот рост связан не только с увеличением стоимости топлива, но и со все увеличивающимися затратами на охрану окружающей среды. Например, в США за последние 20 лет затраты на сооружение объектов теплоэнергетики возросли на 25%, а стоимость электроэнергии на тепловых и атомных электростанциях увеличилась более чем на 40%. Большинство промышленно развитых стран подошло к тому рубежу, когда с дальнейшим ростом производства энергии издержки начинают превышать прибыль. Основным лимитирующим фактором становятся вопросы экологии, связанные с улавливанием и очисткой вредных выбросов, поскольку способности окружающей среды поглощать газовые выбросы и другие энергетические отходы не безграничны.

В экологических проблемах энергетики Беларуси важными являются вопросы ресурсо- и энергосбережения, использование нетрадиционных ис-

точников энергии, добычи и использования местных видов топлива. В настоящее время на электростанциях используется органическое топливо (газ, мазут), и как следствие, имеет место загрязнение окружающей среды. Но следует учитывать, что на загрязнение окружающей среды существенно влияют и другие отрасли промышленности, а в локальном загрязнении городов и промышленных центров именно они являются доминирующими. Поэтому необходимо оценить долю энергетических комплексов и других отраслей промышленности в глобальном и локальном загрязнении территории Беларуси.

Общие выбросы вредных веществ в атмосферу всеми источниками (стационарными и автотранспортом) Беларуси (1990) составили 3360 тыс. т, из которых 446 тыс. т, или 13,3%, приходилось на энергетические предприятия. Основная же доля выбросов (65,2%) приходится на автотранспорт. В Беларуси годовой выброс окислов серы и азота (основные выбросы, характерные для энергетики) от стационарных источников составил соответственно 637 и 104 тыс. ф в год, где доля предприятий энергетики составляет 353 тыс. ф (65,4%) по окислам серы и 68,4 тыс. ф (65,7%) по окислам азота. В настоящее время энергетика Беларуси является основным источником валовых выбросов серы и азота в республике от стационарных установок. Однако валовой выброс не является определяющим в загрязнении атмосферы городов и населенных пунктов, а зависит от приземных концентраций вредных веществ и их класса опасности.

Существующие международные конвенции предусматривают ограничение и сокращение выбросов окислов серы и азота. Согласно требованиям международной конвенции, частично снижается загрязнение воздушного бассейна городов окислами азота и серы с учетом того, что наибольшую долю в приземные концентрации вносит транспорт.

В настоящее время следует особое внимание сосредоточить на разрешении "трехмерной" проблемы соотношения развития энергетики, охраны окружающей среды и экономических возможностей. Вопросы достижения необходимых экономических показателей и экологической эффективности основных технических решений в части экологии решаются в рамках единой эколого-экономической стратегии.

Диоксид серы. Многочисленные исследования в бывшем СССР и зарубежный опыт показали, что экономически сероочистка на НПЗ и газоочистка на ТЭС конкурентоспособны при длительности использования мощности газоочистки на ТЭС более 5000 часов. При меньших уровнях использования мощности газоочистки преимущества на стороне НПЗ. Независимо от числа часов использования сероочистка на НПЗ дешевле, чем на мелких промышленных котельных и печах.

В дальнейшем использование мазута в топливном балансе энергетики будет снижаться. Исходя из этого, стратегия экологической программы базируется на обессеривании мазута на НПЗ. Малосернистые мазуты с содержанием серы 0,5% целесообразно в первую очередь использовать в печах и мелких котельных, где они на 1,5–2% снизят удельные расходы топлива, сократят ремонтные расходы и повысят надежность. Затем использование ма-

лосернистого мазута предусматривается на ТЭС. Полученная на НПЗ элементарная сера позволит сократить ее импорт. При обессеривании мазута на НПЗ из него также извлекается дорогостоящий ванадий, который выбрасывается с дымовыми газами в виде высокотоксичного соединения.

Окислы азота. В энергетике выбросы окислов азота сосредоточены в основном на 23 ТЭС, а в промышленности более чем на 5000 объектах. По условиям образования в расчете на 1 ф.у.т. генерация окислов азота в энергетике в 1,5–2 раза выше, чем на мелких котельных. В целом подавление генерации окислов азота и контроль за этим на ТЭС значительно дешевле и легче, чем в промышленности и коммунальном хозяйстве.

К настоящему времени отработаны две принципиально разные технологии снижения выбросов окислов азота – реорганизация процесса сжигания режимными и конструктивными средствами и очистка газов от окислов азота каталитическим методом. В соответствии с гарантиями котлостроительных заводов новые котлы будут иметь топочные устройства, генерирующие не более 125 мг/м³ окислов азота при сжигании газа и 135 мг/м³ при сжигании мазута (против 400–700 мг/м³ для котлов, выпускаемых до 1990 г.). В связи с планируемым началом серийного производства в странах СНГ керамических сотовых катализаторов для разложения окислов азота в дальнейшем предусматривается сооружение газоочистного оборудования на котлах ТЭС. Относительно низкий уровень генерации окислов азота, гарантируемый заводами-изготовителями, и дополнительная очистка позволят существенно сократить выбросы окислов азота.

Вновь вводимые парогазовые установки (ПГУ) являются оборудованием нового поколения, которое по экологическим показателям соответствует мировому уровню (50 мг/м³) и дополнительно снижает удельный расход топлива примерно на 20–25%, что на 15–20% снижает выбросы; установка газоочистного оборудования, как показывает мировая практика, на ПГУ не предусматривается.

Установка очистного оборудования на существующих котлах по условиям компоновки не представляется возможной. В связи с этим на существующем оборудовании на основных типах котлов предусматривается внедрить и освоить режимно-топочные и конструктивные мероприятия и далее распространить этот опыт на все не подлежащие демонтажу котлы; ожидается, что режимно-топочными и конструктивными средствами можно добиться снижения выбросов на 20–40%. На отдельных котлах (Лу-комльская ГРЭС, Минские ТЭЦ-3, ТЭЦ-4) в настоящее время внедрены режимные и конструктивные мероприятия.

Другие виды выбросов. Кроме окислов азота и серы энергетические котлы, сжигающие газ и мазут, выбрасывают в атмосферу окись углерода, сажу, пятиокись ванадия, бензопирен.

Образование окиси углерода, сажи и бензо-пирена является негативным проявлением технологии подавления генерации окислов азота. Исходя из этого, будет определяться оптимальный режим, не приводящий к увеличению вредных выбросов данных веществ.

Существует также трансграничный перенос NO_x и SO_2 из сопредельных государств (табл. 4).

Расчетами по математическим моделям трансграничных переносов в районе Беларуси установлено: через расчетный участок с запада поступает 272 тыс. ф SO_2 , а на запад – 58 тыс. т. Используя данные этих моделей, можно дать лишь приблизительные оценки трансграничных переносов Республики Беларусь:

- в дальние переносы поступает примерно 80% SO_2 и NO_x ;
- загазованность Республики Беларусь оксидами серы на 30% обусловлена западными переносами, преимущественно из Польши и Германии;
- выпадение на почву в Республике Беларусь и России сульфатов, обусловленных переносом с запада, примерно в 20 раз больше, чем выпадение сульфатов в Польше от переносов с востока.

Выравнивание и снижение переносов из сопредельных стран целесообразно реализовать в рамках комплекса технических решений и договорных отношений.

Поскольку стоимость пресечения выброса 1 т оксидов серы или азота в зависимости от вида топлива и специфики объекта разнится в несколько раз, необходима выработка единой межгосударственной программы, в основу которой должна быть положена минимизация вложений на заданное сокращение переносов.

Принимая во внимание последствия Чернобыльской аварии, подписанные Республикой Беларусь еще в составе СССР конвенции о 30%-ном сокращении переноса SO_2 и 15%-ном сокращении NO_x должны быть пересмотрены с учетом:

- экономических возможностей и характера формирующегося в государствах трансграничного баланса;
- принципа выравнивания межгосударственных переносов или адекватных им физических факторов со взаимной компенсацией излишка;
- принципа двусторонних соглашений, конкретизирующих общеевропейские конвенции.

4.3. Экологические проблемы ядерной энергетики

В процессе работы АЭС образуются жидкие, газообразные, аэрозольные и твердые радиоактивные отходы. Присутствие в этих отходах долгоживущих изотопов продолжительное время сохраняет их активность на достаточно высоком уровне. При эксплуатации АЭС осуществляется тщательный контроль за образованием радиоактивных отходов, а перед поступлением их во внешнюю среду устанавливается многобарьерная система фильтров и защитных устройств.

Твердыми отходами являются детали загрязненного радиоактивными веществами демонтированного оборудования, отработанные фильтры для очистки воздуха, сорбенты, спецодежда, мусор. Их захоронение осуществля-

ется в специальных траншеях. Объем их может быть уменьшен прессованием или сжиганием при соответствующей очистке продуктов сгорания.

Радиоактивные воды АЭС перерабатываются с помощью спецводоочисток. Их принцип работы – испарение воды, осаждение твердой фазы и ионный обмен. Образующиеся концентраты и растворы реагентов направляются в хранилище жидких отходов.

Газовые и аэрозольные отходы подвергаются очистке на многоступенчатых фильтрах, выдержке в очистных устройствах и выбрасываются в атмосферу через высокие трубы (100–150 м). Возможна также сорбция радиоактивных газовых составляющих активированным углем.

Для АЭС основным фактором радиационной опасности является внешнее ионизирующее излучение. С точки зрения радиационного загрязнения окружающей среды АЭС – более чистые по сравнению с угольными электростанциями: в угле содержатся естественные радиоактивные элементы – радий, торий, уран, полоний и др., которые вместе с золой выбрасываются в атмосферу (пылеугольная ТЭС мощностью 1200 МВт, потребляя 3,4 млн т угля в год, выбрасывает в атмосферу ежегодно 130 тыс. ф золы). Их активность составляет 100 мбэр/год, для АЭС аналогичной мощности величина радиоактивных выбросов – 0,5–1 мбэр/год.

Основной принцип при переработке и захоронении радиоактивных отходов заключается в их концентрировании в малых объемах с последующим вечным захоронением в таких местах, где обеспечивается полный радиоактивный распад вне контакта с биосферой (600 лет).

Отходы отверждаются (битумируются и остекловываются) для связывания радиоактивных веществ. Последующее хранение – в герметических железобетонных емкостях или металлических контейнерах. Лучшими местами для захоронения являются заброшенные соляные копи (отсутствие воды, спокойные в сейсмическом отношении районы, большие объемы подземных пустот).

6. Координационная межотраслевая научно-техническая программа "Энергосбережение и эффективное использование местных топливно-энергетических ресурсов до 2001 г. (проект)".

7. Государственная энергетическая программа Республики Беларусь на период до 2010 г.

ТЕМА 5. Управление энергосбережением и энергопотреблением

При заготовке кормов и выполнении других работ по механизации производственных процессов в животноводстве широко используются самые разнообразные виды сельскохозяйственной техники. Поэтому повышение качества и надежности машин может дать значительную экономию материальных и энергетических ресурсов. Так, например, срок службы тракторов составляет в среднем 8-10 лет, что в 1,5-2,0 раза меньше, чем в таких развитых странах, как США, Франция, Германия. Поэтому не случайно, что в республике практически все новые тракторы, поступающие в колхозы и совхозы идут на возмещение списанных.

Низкое качество техники приводит к ее простоям во время полевых работ. При этом возрастает расход металла на производство запасных частей, узлов и агрегатов, а затраты на обслуживание и ремонт трактора за срок службы значительно превышает стоимость нового. На производство запасных частей у нас расходуется металла в 1,5-2,0 раза больше, чем за рубежом.

Высокая металлоемкость техники и недостатки в ее эксплуатации увеличивают потребность в металле и для производства новых машин. В целом около 30 сельскохозяйственных машин уступают по показателям удельной конструкционной массы зарубежным аналогам.

Расчеты показывают, что снижение металлоемкости отечественной сельскохозяйственной техники до уровня лучших мировых аналогов уменьшило бы ежегодную потребность в металле не менее чем на 25 тыс.т.

Большую роль в экономии ресурсов имеет также совершенствование типоразмерного ряда средств механизации и структуры машинно-тракторного парка в целом.

В соответствии с национальной структурой парка тракторов их зачастую применяют для проведения работ на которых не полностью используется запас их мощности, что приводит к перерасходу топлива, усугубляет вредное воздействие на почву вследствие увеличения массы агрегатов.

Нельзя признать перспективным и наращивание объемов производства только самоходных комбайнов, так как это противоречит ресурсосберегающей направленности развития сельскохозяйственного производства по причине недостаточной годовой загрузки таких машин. Ежегодно в республике около 5 млн. л.с. мощностей автономных энергосредств из-за низкой годовой занятости «замораживается» на 9-11 месяцев.

5.1. Экономия топлива при эксплуатации тракторного парка

Основные потери при эксплуатации техники в растениеводстве связаны с наличием не оптимально скомплектованного машинно-тракторного парка сельскохозяйственных предприятий с неправильным выбором состава и режимов работы агрегатов, нарушением правил использования и технического обслуживания тракторов, автомобилей и комбайнов.

Потери топлива при транспортировке, хранении и заправке машин непосредственно связаны с эксплуатацией машинно-тракторного парка, и поэтому их целесообразно рассматривать в едином комплексе.

5.1.1. Виды потерь при эксплуатации тракторного парка.

Применение различных технологических средств на одних и тех же технологических операциях сопровождается неодинаковым расходом топлива на единицу выполненных работ. На пахоте, сплошной культивации, посеве зерновых и посадке картофеля расход топлива при использовании наиболее экономичных агрегатов на 40-60% ниже по сравнению с неэкономичными. При этом максимальной топливной экономичности каждой операции соответствуют определенные технические средства. Так, трактор Т-74 эффективнее трактора МТЗ-80 на пахоте, но значительно уступает ему на культивации и т.д.

Анализ приведенных данных показывает, что пахотные агрегаты при вспашке на глубину 20-22 см, влажности почвы 20-22 % и удельном сопротивлении почвы 50 кПа ($0,5 \text{ кг/см}^2$) затрачивают неодинаковое количество топлива на гектар пашни. Наиболее экономичными, с точки зрения затрат топлива, на пахоте являются агрегаты с тракторами ДТ-75М и Т-74 (ДТ-75), менее экономичными агрегаты с тракторами МТЗ-80/82, МТЗ-50/52 и К-700А. Поэтому более высокий расход топлива при использовании агрегатов с низкими показателями топливной экономичности следует рассматривать как косвенные потери вследствие не оптимальности применяемых агрегатов по энергетическому критерию.

Не правильный выбор состава, режимов агрегатов приводит к непроизводительным потерям топлива. Например, при сплошной культивации с одновременным боронованием (глубина обработки 8-10 см) агрегатом К-700 + 3 КПП-4 расход топлива составляет в среднем 3,6 кг/га. Если же трактор К-700 работает с двумя культиваторами КПП-4, расход будет 4,4 кг/га, т.е. выше на 22%. На этой же операции трактор Т-150К в агрегате с двумя КПП-4 расходует 4,5 кг/га, а с одним - 5,6. Перерасход топлива в приведенных случаях объясняется недоиспользованием тяговых возможностей тракторов и мощности их двигателей. При работе агрегатов на скоростных режимах, отличающихся от оптимальных, расход топлива также увеличивается.

Величина непроизводительных потерь топлива зависит от уровня организации использования техники. Нерациональное решение вопросов планирования механизированных работ в растениеводстве, подготовки участков полей, обслуживания механизаторов и т.д. приводит к непроизводительным потерям времени на подготовку агрегатов, холостые переезды, к простоям. В результате коэффициент использования времени смены агрегатов с тракторами МТЗ-80/82, Т-150К, К-700 и К-701 иногда снижается до 0,35-0,40, при этом время холостой работы достигает 2-3 ч за смену. Если учесть, что расход топлива за час работы двигателей тракторов К-701, К-700, Т-150К и

МТЗ-80/82 на холостом ходу составляет соответственно 4,2; 3,1; 2,3 и 1,4 кг, то нетрудно подсчитать количество топлива, которое теряется ежегодно.

Индивидуальное использование техники по сравнению с поточно-групповым методом работы в составе комплексных технологических отрядов приводит к увеличению расхода топлива на 5-10%.

Важным фактором, влияющим на расход топлива, является поддержание тракторов и сельскохозяйственных машин в технически исправном состоянии. Например, неисправность или неправильная регулировка одной форсунки дизельного двигателя увеличивает расход топлива на 15-20%. При отклонении угла начала подачи топлива на 3-5° удельный расход возрастает на 4-8%. Понижение температуры, охлаждающей жидкости на 30-40 °С приводит к увеличению расхода топлива на 5-10% из-за ухудшения процесса сгорания. Увеличение толщины накипи на стенках системы охлаждения на 1,1 мм повышает расход топлива на 7-8%. Износ цилиндропоршневой группы на 0,01 мм ведет к перерасходу топлива на 0,5%. Велико влияние состояния ходовой системы тракторов на сопротивление движению и, следовательно, на расход топлива. Поддержание нормального давления в пневматических шинах и оптимального напряжения гусениц тракторов - важные условия его экономии топлива.

Значительные потери топлива происходят также при работе с неисправными сельскохозяйственными машинами. Например, при вспашке неотрегулированным, неправильно соединенным с трактором плугом, лемеха которого затуплены, перерасход топлива достигает 20-30%, при затуплении лап культиватора он может увеличиться на 1 га до 0,4-0,5 кг.

При техническом обслуживании тракторов и других самоходных машин через 60, 240 и 960 моточасов предусмотрено выполнение ряда операций по уходу за системой питания: слив отстоя из топливных баков, фильтров отстойников и корпусов фильтров грубой очистки. При каждом плановом обслуживании сливают не менее 3-5 л, а при промывке топливного бака - 8-10 л топлива. Много топлива тратится на мойку деталей, при обслуживании одного трактора за сезон потери составляют около 150 кг.

Определенные потери топлива могут произойти при неправильном хранении его. Так, по данным ГосНИТИ, месячные потери бензина из резервуара емкостью 10 м³ с открытой крышкой горловины составляют до 500 кг бензина, а из резервуара емкостью 50 м³ - до 3 т. На величину потерь топлива от испарения большое влияние оказывает степень заполнения резервуара на 60% (в емкостях от 3 до 25 м³) теряется 2% бензина, а при заполнении 80 % объема - в два раза меньше. Герметизация резервуаров и окраска их в серебристый цвет при той же степени заполнения (60-80%) позволяют снизить потери до 0,3-0,2 %. При заправке машин с помощью ведер и леек теряется 1,5-2% бензина, а при механизированной заправке - 0,1-0,2%. В целом потери нефтепродуктов при транспортировке, хранении и заправке машин составляют около 4% общего расхода.

5.1.2. Оптимальное комплектование машинно-тракторного парка хозяйств.

Задача экономии энергоресурсов за счет использования наиболее рациональных технических средств должна стать постоянной заботой механизаторов и специалистов сельского хозяйства. Возможность экономии нефтепродуктов обусловлена тем, что применение различных агрегатов дает существенную разницу энергозатрат в расчете на единицу выполняемых работ.

Чтобы трактор работал с наименьшим расходом топлива, он должен быть загружен на 85-90% по тяговому усилию.

5.1.3. Улучшение естественно-производственных условий работы машинно-тракторного парка.

В улучшении использования машинно-тракторного парка важное место принадлежит укрупнению размеров рабочих участков (контуров) и полей севооборота. Мелкая контурность пашни снижает производительность агрегатов, ведет к увеличению расхода горючего и затрат на эксплуатацию техники, препятствует внедрению прогрессивных методов и форм ее использования сдерживает перевод сельского хозяйства на промышленную основу.

Если исходить из размеров участков полей, обеспечивающих производительное использование современных технических средств, то для работы одномашинных агрегатов требуются участки размером 15-25 га, двухмашинных - 20-40, трехмашинных - 35-60 га.

Средняя площадь участков в Беларуси составляет примерно 12 га. При этом около 16% - от 3 до 7 га. Наибольшая раздробленность полей характерна для Витебской области, где средний участок около 4 га. Площадь контура пашни в Минской области колеблется от 4 до 20 га (средняя около 16 га). В этом отношении область имеет наиболее благоприятные условия в республике, однако и здесь в ряде хозяйств и районов пахотные земли представлены мелкими участками изрезанной конфигурации, засоренными кустарниками, камнями и различного рода препятствиями для работы современной скоростной техники.

В этих условиях особенно сказывается несоответствие между энергетическими показателями и производительностью скоростных тракторов. На полях небольших размеров существенно уменьшается коэффициент использования времени смены. Это приводит к тому, что на пахоте, например, при длине гона 150-200 м производительность агрегатов на 30-40% ниже, а расход топлива на 25-35% больше, чем при блине гона свыше 1000 м. Сменная производительность агрегатов на мелких участках снижается из-за частых поворотов и переездов с участка на участок. При длине гона 50-200 м на это затрачивается 20-30% времени (при длине гона свыше 1000 м - только 6-12%) что ведет к непроизводительным затратам топлива.

Кроме размеров участков, на эффективность использования сельскохозяйственной техники влияют факторы, сопутствующие мелкой контурности.

Это прежде всего низкий коэффициент распаханности сельскохозяйственных угодий, вследствие чего хозяйства с мелкоконтурным землепользованием имеют меньшие размеры по площади пашни, что приводит к недоиспользованию техники, снижению ее наработки.

Оптимальный размер площади поля колеблется в зависимости от дневной производительности агрегатов на всем годовом комплексе выполняемых работ. В целом для реализации преимуществ поточно-группового использования техники в условиях Белоруссии необходимо, чтобы размер поля севооборота при использовании агрегатов с тракторами Т-150К был не менее 150-200 га, а тракторами МТЗ-80 и Т-74 - 80-100 га.

Большую роль в экономии энергоресурсов играет обоснованное агрегатирование сельскохозяйственных орудий. Так, для эффективной работы трех агрегатов в группе требуется уже площадь свыше 50, а четырех - около 120 га.

5.2. Агроэнергетическая эффективность обработки почвы различными орудиями

Переход к интенсивным методам использования пашни основан на внедрении насыщенных высокопродуктивными культурами севооборотов с обязательным введением в их структуру промежуточных посевов. Однако традиционная технология возделывания основной и промежуточной культур не может быть признана рациональной, так как приводит к резкому возрастанию плотности механизированных работ. Поэтому обоснование системы обработки почвы должно быть связано с анализом агротехнической эффективности и энергоресурсозатрат.

Результаты научных исследований за рубежом показывают, что экономия энергии при эксплуатации машин возможна путем внедрения энергосберегающих технологий и снижения интенсивности обработки почвы.

Технология обработки почвы определяется системой орудий и процессов, которые в ней реализуются. Для представления такой системы необходимо учитывать технологический эффект по изменению состояния почвы, обеспечиваемый каждой машиной.

В соответствии с проведенными расчетами, наиболее рациональными являются агрегаты с плугами ПН-4-35А, ПЛН-4-35, дисковыми боронами БДТ-7, плоскорезами-глубококорыхлителями ПГ-3-5-. Для предпосевной обработки почвы наиболее эффективны комбинированные борона-каток КЗБ-21, дисковый луцильник ЛДГ-15, культиваторы КШУ-18, КШУ-12, КШП-8.

Обоснованное применение технических средств для обработки почвы в рамках энергоресурсосберегающей технологии предполагает выполнение требуемых показателей по качеству обработки почвы.

Результаты расчетов показывают, что максимальное значение комплексного оценочного показателя 15,2 получено при подготовке почвы за один проход агрегата АКП-2,5. Эффективна также чизельная технология с использованием КЧ-5,1 и широкозахватного комбинированного орудия КЗБ-

21. Некоторое повышение эффективности даст применение после плоскореза комплекта неэнергоемких орудий БИГ-ЗА и ЗКШ-6.

ТЕМА 6. Энергосбережение в общепроизводственных процессах и в быту

6.1. Значение энергетического анализа в животноводстве

Современное состояние сельского хозяйства Республики Беларусь характеризуется значительным потреблением энергоресурсов – жидкого топлива, электроэнергии, овеществленных энергозатрат, энергии живого труда. Так, на производство одного килограмма говядины затрачивается 4,86...5,44 кг у. т., свинины – 4,3...5,47 кг у.т., молока – 0,86...1,14 кг у.т. (данные 1990 г.). Эти показатели в 3-4 раза превышают уровень США.

Производственные процессы в современном животноводстве базируются на использовании машинных технологий, эффективность которых традиционно оценивается удельными затратами труда и денежных средств. Однако натуральная и стоимостная (денежная) оценка в настоящее время по ряду причин считается недостаточной:

1. Стоимостная характеризуется значительным разбросом показателей из-за несовершенства системы ценообразования на сельскохозяйственную продукцию. Так, наблюдается существенная разница результатов стоимостной и энергетической оценки основных фондов и валовой продукции. Удельный вес зданий и сооружений для животных в стоимости основных фондов составляет 4,8...6,9 %, а при энергетической – 2,6 %. При оценке технических средств они занимают соответственно 17...18 % и 60 %. Удельный вес растениеводческой продукции в стоимостной оценке валовой продукции отдельных хозяйств составляет 43,7 %, животноводческой – 56,3 %, а по энергетической оценке соответственно 63,5 и 36,5 %. Это отклонение определено разницей цен на виды сельскохозяйственной продукции.

2. В сельском хозяйстве наряду с чисто технической имеют место и специфические элементы биоэнергетики, связанные с протеканием процессов живой природы. Средством производства служат биологические организмы животных, а получаемая продукция характеризуется определенным содержанием питательных веществ и энергии, которое зависит от множества факторов, в том числе и неуправляемых.

Энергетическая оценка технологий в сельском хозяйстве не может заменить расчет экономических показателей, но дополняет его с учетом специфики сельхозпроизводства:

1. Изменяются акценты на значимость повышения эффективности сельскохозяйственного производства вне зависимости от ценообразующих факторов.

2. Энергетическая оценка отражает реальное материально-вещественное содержание продукции и средств производства.

3. Энергетическая оценка инвариантна к применяемым единицам измерения материальных и трудовых ресурсов.

Энергетический анализ технологий – это изучение, количественная оценка и оптимизация потоков энергии с целью максимального использования материальных и энергетических ресурсов для увеличения выхода и качества продукции и защиты окружающей среды.

В более узком смысле слова энергетический анализ в животноводстве ставит своей целью выявление энергоресурсосберегающих технологических процессов и технологий производства продукции, защите окружающей среды и др. процессов.

6.2. Баланс энергии в энергетических системах животноводства

Технология производства продукции животноводства представляет собой сочетание взаимосвязанных технологических процессов (приготовление и раздача кормов, удаление и транспортировка навоза, доение и др.). В свою очередь каждый технологический процесс состоит из отдельных операций, в ходе которых происходит преобразование веществ и перемещение потоков энергии.

Производство животноводческой продукции (мяса, молока, яиц и др.) представляет собой целостную энергетическую систему, баланс энергии в которой можно представить в виде уравнения

$$E_{\text{КОРМ}} + E_{\text{ЧЕЛ}} + E_{\text{ПР}} + E_{\text{ОВ}} = E_{\text{ПРОД}} + E_{\text{ОТХ}} + \Delta E, \quad (1)$$

где $E_{\text{КОРМ}}$ – энергия, получаемая животными при потреблении кормов;

$E_{\text{ЧЕЛ}}$ – энергия живого труда обслуживающего персонала;

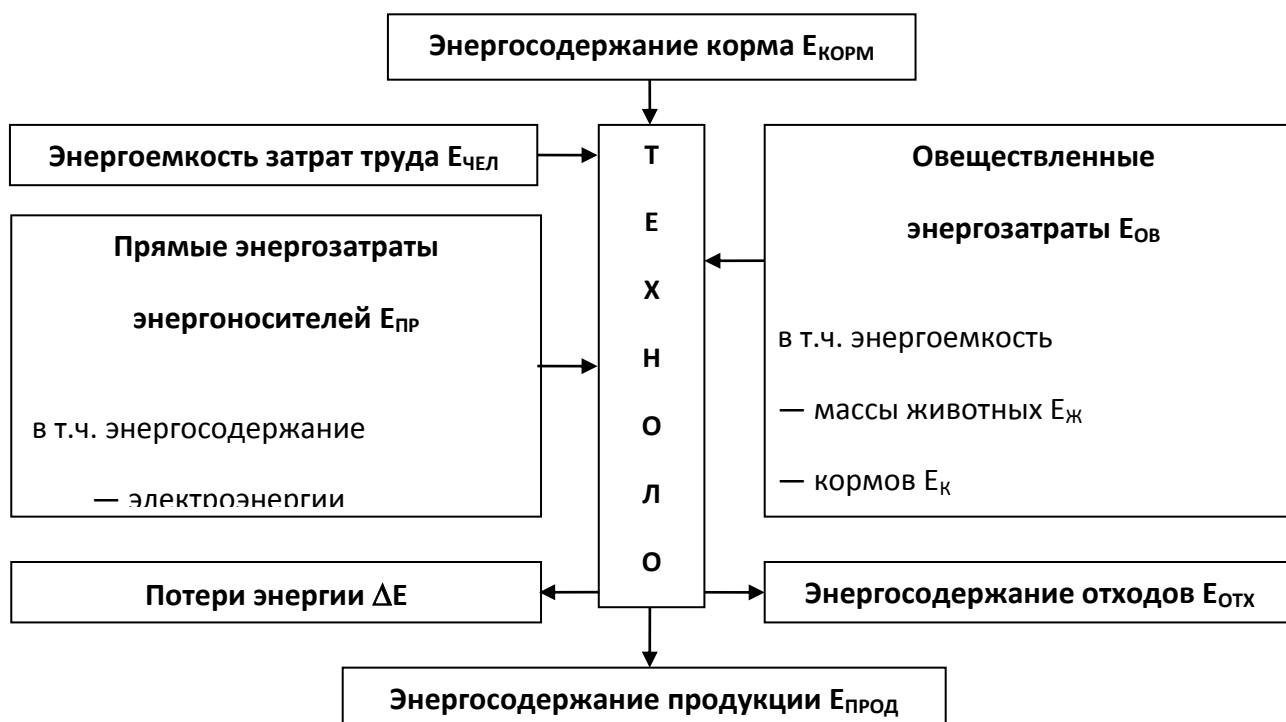
$E_{\text{ПР}}$ – прямые затраты энергии топлива, тепловой и электрической энергии;

$E_{\text{ОВ}}$ – затраты энергии, овеществленные в основных и оборотных средствах производства;

$E_{\text{ПРОД}}$ – энергия, заключенная в продукции;

$E_{\text{ОТХ}}$ – энергия, содержащаяся в отходах (отходами можно считать навоз и влагу, выделяемые животными).

ΔE – потери энергии, обусловленные естественными процессами живых организмов и несовершенством технологии.



С точки зрения эффективности производства необходимо стремиться к максимальному увеличению $E_{\text{ПРОД}}$. Из уравнения баланса энергии (1) в виде:

$$E_{\text{ПРОД}} = (E_{\text{КОРМ}} + E_{\text{ПР}} + E_{\text{ОВ}} + E_{\text{ЧЕЛ}}) - (E_{\text{ОТХ}} + \Delta E). \quad (2)$$

видно, что роста $E_{\text{ПРОД}}$ можно добиться следующими способами:

увеличением значений $E_{\text{КОРМ}}$, $E_{\text{ЧЕЛ}}$, $E_{\text{ПР}}$ и $E_{\text{ОВ}}$. Этот неэкономичный экстенсивный путь реально воплощен на ряде действующих предприятий;

уменьшением значений $E_{\text{ОТХ}}$ и ΔE (экономия затрат);

часть энергозатрат $E_{\text{ОТХ}}$ и ΔE использовать непосредственно для увеличения $E_{\text{ПРОД}}$. использовать часть энергии отходов $E_{\text{ОТХ}}$ для увеличения энергосодержания кормов $E_{\text{КОРМ}}$ или прямых энергозатрат $E_{\text{ПР}}$. Несмотря на свою сложность, этот путь может быстрее других привести к успеху.

6.3. Структура и критерии эффективности энергозатрат

В качестве основного критерия энергетической оценки технологий и комплексов машин принимают *удельные совокупные энергозатраты* $\mathcal{E}$ (полную энергоемкость), которая характеризует расход всех видов энергии и топлива на единицу (тонна, центнер, килограмм) валовой, основной продукции или их компонентов.

$$\mathcal{E} = E / Q_{\text{ПРОД}}, \text{ МДж/т}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{ПРОД}}$ – производство продукции за рассматриваемый промежуток времени, т.

Для удобства расчета расход энергии выражают в единицах системы СИ – джоулях (Дж). При необходимости производится пересчет согласно соотношениям между основными единицами измерения энергии (табл. 1).

Таблица 1

Перевод единиц измерения энергии и теплотворной способности топлива

Единицы энергии, работы, вид топлива	Энергосодержание e		
	МДж	кВт · ч	кг у.т.
1 МДж	1	0,278	0,034
1 кВт·ч	3,6	1	0,123
1 кг усл. топлива	29,3	8,15	1
1 ккал	$4,19 \cdot 10^{-3}$	$1,16 \cdot 10^{-3}$	$1,43 \cdot 10^{-4}$
1 кг бензина	44,7	12,43	1,53
1 кг дизельного топлива	42,2	11,731	1,45
1 кг нефти	41,02	11,40	1,39
1 кг мазута	40,7	11,31	1,37
1 кг природного газа	33,73	9,38	1,15
1 кг сжиженного газа	46,05	12,80	1,57
1 кг каменного угля	35,16	9,77	1,20
1 кг природного угля	24,0	6,67	0,82
1 кг торфа	11,72	3,26	0,40
1 кг древесины (дуб)	24,5	6,81	0,83
1 кг древесины (ива)	11,9	3,31	0,40

От понятия энергоемкости следует четко отличать *энергосодержание* V , под которым подразумевается внутреннее содержание энергии в единице массы материального или энергетического ресурса. Значения удельного энергосодержания e энергоносителей, кормов и материалов приведены в табл. 1 и 7 соответственно.

Совокупные энергозатраты E состоят из прямых затрат энергоносителей $E_{\text{ПР}}$, овеществленных энергозатрат различных материальных ресурсов $E_{\text{ОВ}}$ и энергозатрат человеческого труда $E_{\text{ЧЕЛ}}$:

$$E = E_{\text{ПР}} + E_{\text{ОВ}} + E_{\text{ЧЕЛ}}, \text{ МДж.} \quad (4)$$

Прямые затраты энергии $E_{\text{ПР}}$ – это затраты электрической, тепловой энергии и энергии топлива непосредственно в технологическом процессе. Они учитывают энергосодержание используемых энергоносителей (табл. 1) и затраты энергии на их производство, транспортировку и преобразование в пределах анализируемого процесса.

Овеществленные энергозатраты $E_{\text{ОВ}}$ определяются по формуле

$$E_{\text{ОВ}} = E_{\text{Ж}} + E_{\text{К}} + E_{\text{Р}} + E_{\text{ОЭ}} + E_{\text{М}} + E_{\text{ЗД}}, \text{ МДж,} \quad (5)$$

и учитывают следующие затраты энергии:

на воспроизводство поголовья $E_{\text{Ж}}$;

на создание кормов $E_{\text{К}}$;

на создание расходных материалов $E_{\text{Р}}$;

на добычу (производство) и доставку энергоносителей к потребителю вне анализируемого технологического процесса $E_{\text{ОЭ}}$;

на создание, транспортировку и установку всех машин и оборудования $E_{\text{М}}$;

на строительство и эксплуатацию зданий и сооружений $E_{\text{ЗД}}$.

Последние два компонента – $E_{\text{М}}$ и $E_{\text{ЗД}}$ – иногда относят к инвестиционным энергозатратам, т.к. они переносят свою энергоемкость на продукцию не

за один производственный цикл, а за весь срок использования (для машин и оборудования – 6-8 лет, для зданий и сооружений – 15-50 лет).

Энергозатраты живого труда $E_{ЧЕЛ}$ – это энергия, расходуемая на поддержание жизнедеятельности людей, занятых в животноводстве, с учетом прошлых затрат на подготовку и профессиональное образование.

В качестве критериев эффективности энергозатрат используются следующие показатели:

Удельные прямые затраты энергии (для характеристики отдельных машин или операций):

$$\mathcal{E}_{\text{ПР}} = E_{\text{ПР}} / Q_{\text{ПРОД}}, \quad \text{МДж/т.} \quad (6)$$

где $Q_{\text{ПРОД}}$ – производство продукции за рассматриваемый промежуток времени, т.

Коэффициент энергетической эффективности определяется как отношение энергии, содержащейся в конечном продукте, к совокупным затратам энергии на ее производство в течение года:

$$k_{\mathcal{E}} = \frac{Q_{\text{ПРОД}} \cdot e_{\text{ПРОД}}}{E} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где $e_{\text{ПРОД}}$ – содержание энергии в продукции, МДж/т.

Коэффициент биоэнергетической эффективности (биоконверсии) определяется как отношение энергии, содержащейся в конечном продукте, к совокупным затратам энергии с учетом энергосодержания кормов $V_{\text{КОРМ}}$:

$$\eta = \frac{Q_{\text{ПРОД}} \cdot e_{\text{ПРОД}}}{E + V_{\text{КОРМ}}} \cdot 100\%. \quad (8)$$

Коэффициент биоконверсии определяется как по основной, так и по общей частям животноводческой продукции. Наиболее высокие значения энергоконверсии достигаются при производстве молока (23-38%), яиц (25-31%), мяса птицы (20-25%), свинины (15-35%) и рыбы (20%), наименьшие – при производстве говядины и баранины (10-13%). Для продукции растениеводства $\eta = 110...140\%$ в зависимости от выращиваемой культуры.

При использовании показателей $k_{\mathcal{E}}$ и η следует учитывать, что они могут применяться лишь в пределах одной отрасли сельского хозяйства из-за несопоставимости источников энергозатрат. В животноводстве практически вся энергия вносится человеком в виде кормов, энергоносителей, затрат живого труда и при эксплуатации технических средств. В растениеводстве же аккумулированная энергия продукта включает значительную долю энергозатрат природы (солнечная радиация, гумус, влага и др.). Так как энергозатраты, вносимые в продукцию человеком и природой неотделимы друг от друга, поэтому относить их лишь к затратам энергии человеком некорректно.

Коэффициент энергетической эффективности кормов определяется как отношение энергии конечного продукта к энергии кормов, израсходованных на ее производство

$$k_K = V_{\text{ПРОД}} / V_{\text{КОРМ}} \cdot 100\% \quad (9)$$

Энергетическая эффективность преобразования кормов в продукцию в молочном скотоводстве и свиноводстве составляет около 30%, при производ-

стве яиц – около 20%, мяса птицы – 10%, говядины – около 7% [Опыт рационального использования энергии в Финляндии // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1982, № 4].

Критерий энергоэффективности новых машин и технологий используется при сравнительной оценке машин и технологий по новому ($\mathcal{E}'$) и базовому ($\mathcal{E}$) вариантам:

$$k_{\mathcal{E}M} = \mathcal{E}' / \mathcal{E}. \quad (10)$$

Уровень интенсификации характеризует степень совершенствования новой технологии производства продукции животноводства по сравнению со старой:

$$И_E = (1 - k_{\mathcal{E}M}) \cdot 100 \%. \quad (11)$$

6.4. Энергетические эквиваленты, их сущность и значения

Расчет совокупных затрат энергии на производство продукции производится с использованием энергетических эквивалентов.

Энергетические эквиваленты – это осредненные затраты совокупной энергии на единицу используемых ресурсов. При расчете эквивалентов учтены энергосодержание ресурсов, энергия, затраченная на добычу сырья, его переработку, изготовление и транспортирование машин, оборудования, инвентаря и запасных частей, строительство зданий и сооружений.

По специфике энергетические эквиваленты подразделяются на три группы:

1. Энергоэквиваленты основных средств производства (зданий и сооружений $\alpha_{зд}$, машин и оборудования α_M , автотракторных перевозок $\alpha_{тр}$) рассчитаны с учетом того, что ежегодно переносят на продукцию животноводства только часть своей совокупной энергии пропорционально сроку службы и времени, затрачиваемому на выполнение единицы работы (табл. 2-5).

2. Энергоэквиваленты оборотных фондов (энергоносителей $\alpha_{\mathcal{E}}$, кормов, сырья и материалов α_M) полностью переносят свою совокупную энергию на продукцию за время их использования.

3. Энергоэквиваленты трудовых ресурсов (затрат живого труда человека $\alpha_{чел}$) учитывают затраты мускульной и интеллектуальной энергии с учетом профессиональной подготовки, рода, характера и сложности выполняемых работ, а также затраты энергии на социально-бытовые нужды (табл. 9).

Приведенные значения энергетических эквивалентов являются осредненными и приближительными, т.к. они в свою очередь определяются принятой технологией на отдельных предприятиях сельского хозяйства, машиностроения, добывающей, перерабатывающей и химической промышленности. По возможности следует учитывать реальные энергозатраты в конкретном хозяйстве. Однако для сравнительных расчетов в учебных работах и проектах приведенные значения обеспечивают достаточную точность.

6.5. Методические принципы энергетического анализа технологий в животноводстве

Энергетический анализ производственных технологий в животноводстве проводится с целью оценки эффективности энергозатрат при сравнении вариантов технологических и проектных решений. Для достижения однозначных результатов при расчетах должны быть выполнены следующие условия:

1. Адекватность схем и методик анализа с различными технологиями;
2. Адекватность выбранных границ анализа;
3. Учет дополнительной информации об агроклиматических условиях и энергоемкости ресурсов за пределами анализируемой производственной технологии.

Энергетический анализ в различных отраслях сельского хозяйства проводится по *единой схеме*:

1. Устанавливается базовый вариант, в качестве которого принимаются реальные производственные процессы и технологии;
2. Проводится дифференцированная оценка энергоемкости базового варианта с определением составляющих прямых, овеществленных и полных энергозатрат;
3. Выполняется анализ структуры энергозатрат: оценивается возможность сокращения энергозатрат сначала наиболее энергоемких составляющих, а затем и всех остальных за счет применения энергосберегающих мероприятий. В первую очередь следует добиваться уменьшения расхода нефтепродуктов и затрат живого труда, применять альтернативные источники энергии, исключать или заменять компоненты производства, отрицательно влияющие на экологическую чистоту.
4. Разрабатывается новый, энергоресурсосберегающий вариант, в котором учтены конкретные способы сокращения энергозатрат по каждой составляющей базового варианта и определены их новые количественные значения.
5. Проводится оценка энергоемкости нового варианта.
6. Анализируется потребность в ресурсах на полный объем внедрения и дается заключение о целесообразности его внедрения.

Очень важен правильный выбор границ исследования, который зависит от поставленной цели. Рассмотрим следующие основные варианты:

1. Если требуется определить совокупные энергозатраты на единицу общей или основной продукции при сравнении различных технологий содержания животных, то определению подлежат совокупные энергозатраты по всем операциям технологии, начиная от транспортировки сырья до отгрузки конечной продукции.
2. Если требуется сравнить удельные энергозатраты по отдельной операции или технологической линии, то учитываются энергоемкость средств производства только в ее пределах, исключая затраты энергии, относящиеся к животноводческому объекту в целом.

Например, при энергетическом анализе технологии приготовления и раздачи кормов учитываются только те основные (здания и сооружения, машины и оборудование) и оборотные (энергоносители, расходные материалы и др.) средства производства, которые непосредственно используются при подготовке кормов и кормлении животных. При этом важно учесть энергоемкость расходных материалов (воды и др.), расходуемых при каждой операции рассматриваемого процесса.

Выбор продолжительности расчетного периода также обусловлен преследуемой целью энергетического анализа:

1. При укрупненном анализе технологий животноводства в целом с использованием метода аккумулированного исчисления по накопленному фактическому материалу в качестве расчетного периода целесообразно использовать один год, соответствующий полному циклу работы предприятия;

2. При анализе работы предприятий промышленного типа (например, крупных свиноводческих комплексов, работа которых мало подвержена сезонности) в качестве расчетного периода можно использовать продолжительность производственного цикла, который обычно составляет от двух до тридцати дней;

3. При анализе производственных процессов и отдельных технологических линий, характер работы которых определяется сезоном года, расчетный период может быть принят равным продолжительности периода с однородными операциями (например, стойловый или пастбищный периоды для молочных ферм и комплексов). В этом случае важно обеспечить сопоставимость сравниваемых вариантов, поэтому в качестве исходных данных целесообразно использовать существующие и перспективные технологические карты производства животноводческой продукции.

4. При анализе отдельных технологических линий и операций в качестве расчетного периода можно использовать один день (продолжительность минимального производственного цикла).

Исходными данными для сравнительного энергетического анализа технологий в животноводстве являются:

последовательность операций при сравниваемых технологиях;

параметры режима содержания животных, их кормления и обслуживания;

сведения о продуктивности животных и конечном выходе как основной, так и всех видов побочной продукции;

величина эффекта, получаемого от повышения продуктивности, снижения расхода кормов при использовании различных энергоустановок и энергоносителей;

техничко-экономические показатели применяемых машин и оборудования, построек и сооружений, включая затраты на их эксплуатацию;

затраты на производство, транспортировку и использование энергоносителей, включая расход первичных энергоресурсов.

6.6. Энергоемкость производства молока.

По данным ряда авторов, энергоемкость современных технологий производства молока в расчете на корову в год колеблется от 96,8 до 132,1 ГДж. Так, на ферме с поголовьем 800-1200 коров технологическое оборудование установленных мощностей забирает 21,3% энергии, централизованное и горячее водоснабжение – 28, электрокалориферы в системах вентиляции – 46,4% от всей использованной для указанных целей энергии. Большая часть энергобаланса приходится на тепловые процессы.

Расход совокупной энергии на 1 кг молока составляет 41,1 МДж. В структуре энергозатрат наибольший удельный вес приходится на корма – 63,6-73%, обогрев помещений и получение горячей воды для производственных нужд – 24,9-30,8, обслуживание животных – 4,21-5,33 и горюче-смазочные материалы – 2,05-3,8%.

Годовой удельный расход электроэнергии на корову по технологическим процессам составляет: на механизацию кормления от 16 до 40 кВт·ч, поддержание микроклимата – от 107 до 142, освещение от 17 до 41 кВт·ч (в зависимости от системы освещения и типа применяемых ламп).

На фермах с привязным содержанием общее потребление электроэнергии колеблется от 247 до 584 кВт·ч (средний показатель 378), а с беспривязным — от 237 до 551 кВт·ч на корову в год.

ТЕМА 7. Ресурсосбережение в сельскохозяйственном производстве

7.1. Основные потребители тепловой энергии

Основными потребителями тепловой энергии являются промышленные предприятия, сельское и жилищно-коммунальное хозяйство. Для большинства производственных потребителей требуется тепловая энергия в виде пара (насыщенного или перегретого) либо горячей воды. Например, для силовых агрегатов, которые имеют в качестве привода паровые машины или турбины (паровые молоты и прессы, ковочные машины, турбонасосы, турбокомпрессоры и т.д.), необходим пар давлением 0,8–3,5 МПа и перегретый до 250–450 °С.

Для технологических аппаратов и устройств (разного рода подогреватели, сушилки, выпарные аппараты, химические реакторы) преимущественно требуются насыщенный или слабо перегретый пар давлением 0,3–0,8 МПа и вода с температурой 150°С.

Теплоснабжение в АПК связано с наличием теплотрасс значительной протяженности (в отдельных случаях до 10-12 км), что обуславливает потери тепла до 25 - 40%. В этой связи создание оборудования для автономного

теплоснабжения и строительство котельных в непосредственной близости от объектов, использующих тепло для технологических нужд и обогрева зданий, позволяют существенно снизить потери. Широкое развитие децентрализованного теплоснабжения требует разработки нагревательных котлов с высокими технико-экономическими показателями (КПД до 94-96%).

Улучшение баланса ТЭР требует создания теплотехнического оборудования, использующего местные виды топлива (торф, дрова, древесные и растительные отходы древесины, опилки и т.п.).

Приоритетными направлениями развития систем теплоснабжения потребителей АПК должны быть следующие:

1 - замена физически и морально устаревших чугунных котлов с КПД менее 60% на современные стальные с КПД более 80%. перевод паровых котлов в водогрейный режим,

2 - внедрение котлов, работающих по принципу преобразования низкосортного, низкокалорийного твердого топлива в генераторный газ с последующим его сжиганием;

3 - децентрализация схем теплоснабжения сельскохозяйственных объектов на базе газогенераторных установок;

4 - внедрение экологически безопасных и технически обоснованных методов очистки котельного оборудования от накипи и нагара, моноблочных дешевых водонагревательных установок;

5 - организация сервиса теплоэнергетического оборудования, укомплектование котельных установок приборами учета поставляемой тепловой энергии, счетчиками расхода горячей и холодной воды, внедрение автоматических регуляторов и систем программного регулирования параметров теплоносителей;

6 - внедрение локальных систем обогрева с использованием теплогенераторов и горелок инфракрасного излучения.

В жилищно-коммунальном хозяйстве основными потребителями теплоты являются системы отопления и вентиляции жилых и общественных зданий, системы горячего водоснабжения и кондиционирования воздуха. В жилых и общественных зданиях температура поверхности отопительных приборов в соответствии с требованиями санитарно-гигиенических норм не должна превышать 95°C, а температура воды в кранах горячего водоснабжения должна быть не ниже 50–60°C в соответствии с требованиями комфортности и не выше 70°C по нормам техники безопасности. В связи с этим в системах отопления, вентиляции и горячего водоснабжения в качестве теплоносителя применяется горячая вода.

7.2. Системы теплоснабжения

Системой теплоснабжения называется комплекс устройств по выработке, транспорту и использованию теплоты.

Снабжение теплотой потребителей (систем отопления, вентиляции, горячего водоснабжения и технологических процессов) состоит из трех взаи-

мосвязанных процессов: сообщения теплоты теплоносителю, транспорта теплоносителя и использования теплового потенциала теплоносителя. Системы теплоснабжения классифицируются по следующим основным признакам: мощности, виду источника теплоты и виду теплоносителя. По мощности системы теплоснабжения характеризуются дальностью передачи теплоты и числом потребителей. Они могут быть местными и централизованными. Местные системы теплоснабжения – это системы, в которых три основных звена объединены и находятся в одном или смежных помещениях. При этом получение теплоты и передача ее воздуху помещений объединены в одном устройстве и расположены в отапливаемых помещениях (печи). Централизованные, системы теплоснабжения – системы, в которых от одного источника теплоты подается теплота для многих помещений.

По виду источника теплоты системы централизованного теплоснабжения разделяют на районное теплоснабжение и теплофикацию. При системе районного теплоснабжения источником теплоты служит районная котельная, теплофикации – ТЭЦ.

Теплоноситель получает теплоту в районной котельной (или ТЭЦ) и по наружным трубопроводам, которые носят название тепловых сетей, поступает в системы отопления, вентиляции промышленных, общественных и жилых зданий. В нагревательных приборах, расположенных внутри зданий, теплоноситель отдает часть аккумулированной в нем теплоты и отводится по специальным трубопроводам обратно к источнику теплоты.

Теплоноситель – среда, которая передает теплоту от источника теплоты к нагревательным приборам систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

По виду теплоносителя системы теплоснабжения делятся на 2 группы – водяные и паровые. В водяных системах теплоснабжения теплоносителем служит вода, в паровых – пар. В Беларуси для городов и жилых районов используются водяные системы теплоснабжения. Пар применяется на промышленных площадках для технологических целей.

Системы водяных теплопроводов могут быть однетрубными и двухтрубными (в отдельных случаях многотрубными). Наиболее распространенной является двухтрубная система теплоснабжения (по одной трубе подается горячая вода потребителю, по другой, обратной, охлажденная вода возвращается на ТЭЦ или в котельную). Различают открытую и закрытую системы теплоснабжения. В открытой системе осуществляется "непосредственный водоразбор", т. е. горячая вода из подающей сети разбирается потребителями для хозяйственных, санитарно-гигиенических нужд. При полном использовании горячей воды может быть применена однетрубная система. Для закрытой системы характерно почти полное возвращение сетевой воды на ТЭЦ (или районную котельную). Место присоединения потребителей тепла к теплопроводной сети называется абонентским вводом.

К теплоносителям систем централизованного теплоснабжения предъявляют санитарно-гигиенические (теплоноситель не должен ухудшать санитарные условия в закрытых помещениях – средняя температура поверхности

нагревательных приборов не может превышать 70–80°C), технико-экономические (чтобы стоимость транспортных трубопроводов была наименьшей, масса нагревательных приборов – малой и обеспечивался минимальный расход топлива для нагрева помещений) и эксплуатационные требования (возможность центральной регулировки теплоотдачи систем потребления в связи с переменными температурами наружного воздуха).

Параметры теплоносителей – температура и давление. Вместо давления в практике эксплуатации используется напор H . Напор и давление связаны зависимостью

$$H = P / \rho g, \quad (1)$$

где H – напор, м;

P – давление, Па;

ρ – плотность теплоносителя, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Мощность теплового потока Q (кВт), отдаваемого водой, характеризуется формулой

$$Q = G c_p (t_1 - t_2), \quad (2)$$

где G – массовый расход воды через систему теплоснабжения, кг/с;

c_p – удельная теплоемкость воды ($c_p = 4,19$ кДж/кг К);

t_1 – температура воды после источника теплоты до системы потребления;

t_2 – температура воды после системы потребления до источника теплоты.

В современных системах теплоснабжения применяют следующие значения температур воды: 1) $t_1 = 105^\circ\text{C}$ (95°C), $t_2 = 70^\circ\text{C}$ в системах отопления жилых и общественных зданий; 2) $t_1 = 150^\circ\text{C}$, $t_2 = 70^\circ\text{C}$ в системах централизованного теплоснабжения от котельной или ТЭЦ, а также в системах отопления промышленных зданий.

7.3. Тепловые сети

В Беларуси длина тепловых сетей (1996 г.) составляет: основных 794 км, распределительных 1341 км.

Основными элементами тепловых сетей являются трубопровод, состоящий из стальных труб, соединенных между собой с помощью сварки, изоляционная конструкция, предназначенная для защиты трубопровода от наружной коррозии и тепловых потерь, и несущая конструкция, воспринимающая вес трубопровода и усилия, возникающие при его эксплуатации.

Наиболее ответственными элементами являются трубы, которые должны быть достаточно прочными и герметичными при максимальных давлениях и температурах теплоносителя, обладать низким коэффициентом температурных деформаций, малой шероховатостью внутренней поверхности, антикоррозионной стойкостью, высоким термическим сопротивлением стенок,

способствующим сохранению теплоты, неизменностью свойств материала при длительном воздействии высоких температур и давлений.

Тепловая изоляция накладывается на трубопроводы для снижения потерь теплоты при транспортировке теплоносителя. Потери теплоты снижаются при надземной прокладке в 10–15 раз, а при подземной – в 3–5 раз по сравнению с неизолированными трубопроводами. Тепловая изоляция должна обладать достаточной механической прочностью, долговечностью, стойкостью против увлажнения (гидрофобностью), не создавать условий для возникновения коррозии и при этом быть дешевой. Она представлена следующими конструкциями: сегментной, оберточной, набивочной, литой и мастичной. Выбор изоляционной конструкции зависит от способа прокладки теплопровода.

Сегментная изоляция выполняется из ранее изготовленных формованных сегментов различной формы, которые накладываются на трубопровод, обвязываются проволокой, а снаружи покрываются асбоцементной штукатуркой. Сегменты изготавливаются из пенобетона, минеральной ваты, газостекла и др. Оберточная изоляция выполняется из минерального войлока, асбестового термоизоляционного шнура, алюминиевой фольги и асбестовых листовых материалов. Указанными материалами покрывают трубы в один или несколько слоев и крепят бандажами из полосового металла. Оберточные изоляционные материалы используют в основном для изоляции арматуры, компенсаторов, фланцевых соединений. Набивная изоляция применяется в виде чехлов, оболочек, сеток с заполнением порошкообразными сыпучими и волокнистыми материалами. Для набивки применяется минеральная вата, пенобетонная крошка и др. Литая изоляция используется при прокладках трубопроводов в непроходных каналах и бесканальных прокладках. В качестве изоляции используется пенобетон. Мастичная изоляция применяется только при ремонте тепловых сетей, проложенных или в помещениях, или в проходных каналах. Изоляция из мастики накладывается слоями по 10–15 мм на горячий трубопровод по мере высыхания предшествующих слоев. В качестве материалов применяется соеволит, вулканит и др. Температура на поверхности изоляционной конструкции не должна быть выше 60°C. Толщина слоя изоляции определяется на основе расчетов. Существует понятие критического диаметра изоляции, при котором тепловые потери минимальны. Критический диаметр определяется из выражения

$$d_{кр} = 2 \lambda_{из} / a_2, \quad (3)$$

где $\lambda_{из}$ – коэффициент теплопроводности изоляционного материала, Вт/мК;

a_2 – коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляции к окружающей среде, Вт/м²·К.

В настоящее время в Республике Беларусь имеется представительство финской компании "Партек", производящей изоляционные стройматериалы на основе минеральных ват. Минеральную вату получают из базальтовых пород при температуре около 1500°C. Образование волокон происходит путем центрифугирования расплавленного сырья при большой скорости вращения

дисков. Одновременно добавляются связующие вещества и масло. Волокна прочно удерживают воздух, который является отличным изолятором. Высокие пожаротехнические свойства и прекрасные механические параметры выгодно отличают минеральную вату от других строительных конструкций.

Изоляционные минеральные ваты поглощают производные фреона, который губительно действует на озоновый слой.

Прокладка трубопроводов производится над землей, на земле и под землей. Надземная прокладка применяется при высоком уровне грунтовых и внешних вод, на территории промышленных предприятий, при пересечении оврагов, рек, многоколейных железнодорожных путей. При подземной прокладке трубопроводы размещаются либо непосредственно в грунте (бесканальная прокладка), либо в непроходных, полупроходных и проходных каналах.

Бесканальная прокладка трубопроводов. Существующие конструкции можно разделить на 3 группы – в монолитных оболочках, засыпные и литые.

Трубопроводы в монолитных оболочках – в качестве изоляции используется битумперлит, битумкерамзит, другие материалы на битумном вяжущем. Недостатком таких трубопроводов является необходимость изоляции стыков.

Бесканальные засыпные трубопроводы – изготовление изоляционного слоя производится на трассе трубопровода: трубы засыпаются асфальтоизолом, нагреваются до 140–150°C и выдерживаются при этой температуре. В результате получается трехслойная изоляция – первый слой плотный из расплавленного асфальтоизола, второй – спекшийся с пористой структурой, третий – наружный из неспекшегося порошка.

Литые бесканальные трубопроводы – трубопроводы, предварительно покрытые защитным антикоррозионным слоем (асфальтовой мастикой), монтируются в траншее и заливаются жидкой пенобетонной массой. После затвердения засыпаются грунтом. Максимальный диаметр трубопровода при бесканальной прокладке не превышает 800–900 мм.

В канальных трубопроводах каналы сооружаются из сборных железобетонных элементов. Основное достоинство проходных каналов заключается в возможности доступа к трубопроводу, его ревизии и ремонта без вскрытия фунта. Проходные каналы (коллекторы) сооружаются при наличии большого числа трубопроводов. Оборудуются другими подземными коммуникациями – электрокабелями, водопроводом, газопроводом, телефонными кабелями, вентиляцией, электроосвещением низкого напряжения.

Полупроходные каналы применяются при прокладке небольшого числа труб (2–4) в тех местах, где по условиям эксплуатации недопустимо вскрытие грунта, и при прокладке трубопроводов больших диаметров (800–1400 мм).

Изоляцию трубопроводов в проходных и полупроходных каналах производят следующим образом: наружная поверхность покрывается антикоррозионным слоем (эмаль, изол, бризоли т.д.), поверх основного накладывается теплоизоляционный слой – скорлупы из минеральной ваты, армированные

стальной сеткой, затем асбоцементные футляры, закрепленные стальными бандажами на трубопроводе.

Непроходные каналы изготавливают из унифицированных железобетонных элементов. Они представляют собой корытообразный лоток с перекрытием из сборных железобетонных плит. Наружная поверхность стен лотка покрывается рубероидом на битумной мастике. Изоляция – антикоррозионный защитный слой, теплоизоляционный слой (минеральная вата или пеностекло), защитное механическое покрытие в виде металлической сетки или проволоки. Сверху – слой асбоцементной штукатурки.

7.4. Электроэнергетические системы и электрические сети

Электрическая часть электростанции включает в себя разнообразное основное и вспомогательное оборудование. К основному оборудованию, предназначенному для производства и распределения электроэнергии, относятся:

- синхронные генераторы, вырабатывающие электроэнергию (на ТЭС – турбогенераторы);
- сборные шины, предназначенные для приема электроэнергии от генераторов и распределения ее к потребителям;
- коммутационные аппараты-выключатели, предназначенные для включения и отключения цепей в нормальных и аварийных условиях, и разъединители, предназначенные для снятия напряжения с обесточенных частей электроустановок и для создания видимого разрыва цепи;
- электроприемники собственных нужд (насосы, вентиляторы, аварийное электрическое освещение и т.д.).

Вспомогательное оборудование предназначено для выполнения функций измерения, сигнализации, защиты и автоматики и т.д.

Энергетическая система (энергосистема) состоит из электрических станций, электрических сетей и потребителей электроэнергии, соединенных между собой и связанных общностью режима в непрерывном процессе производства, распределения и потребления электрической и тепловой энергии при общем управлении этим режимом.

Электроэнергетическая (электрическая) система – это совокупность электрических частей электростанций, электрических сетей и потребителей электроэнергии, связанных общностью режима и непрерывностью процесса производства, распределения и потребления электроэнергии. Электрическая система – часть энергосистемы, за исключением тепловых сетей и тепловых потребителей. Электрическая сеть – совокупность электроустановок для распределения электрической энергии, состоящая из подстанций, распределительных устройств, воздушных и кабельных линий электропередачи. По электрической сети осуществляется распределение электроэнергии от электростанций к потребителям. Линия электропередачи (воздушная или кабельная) – электроустановка, предназначенная для передачи электроэнергии.

В нашей стране применяются стандартные номинальные (междуфазные) напряжения трехфазного тока частотой 50 Гц в диапазоне 6–750 кВ, а также

напряжения 0,66; 0,38 кВ. Для генераторов применяют номинальные напряжения 3–21 кВ.

Передача электроэнергии от электростанций по линиям электропередачи осуществляется при напряжениях 110–750 кВ, т.е. значительно превышающих напряжения генераторов. Электрические подстанции применяются для преобразования электроэнергии одного напряжения в электроэнергию другого напряжения. Электрическая подстанция – это электроустановка, предназначенная для преобразования и распределения электрической энергии. Подстанции состоят из трансформаторов, сборных шин и коммутационных аппаратов, а также вспомогательного оборудования: устройств релейной защиты и автоматики, измерительных приборов. Подстанции предназначены для связи генераторов и потребителей с линиями электропередачи.

Классификация электрических сетей может осуществляться по роду тока, номинальному напряжению, выполняемым функциям, характеру потребителя, конфигурации схемы сети и т.д.

По роду тока различаются сети переменного и постоянного тока; по напряжению: сверхвысокого напряжения ($U_{\text{НОМ}} \geq 330$ кВ), высокого напряжения $U_{\text{НОМ}} = 3\text{--}220$ кВ, низкого напряжения ($U_{\text{НОМ}} < 1$ кВ). По конфигурации схемы сети делятся на замкнутые и разомкнутые.

По выполняемым функциям различаются системообразующие, питающие и распределительные сети. Систообразующие сети напряжением 330–1150 кВ осуществляют функции формирования объединенных энергосистем, включающих мощные электростанции, обеспечивают их функционирование как единого объекта управления и одновременно передачу электроэнергии от мощных электростанций. Они же осуществляют системные связи, т.е. связи между энергосистемами очень большой длины. Режимом системообразующих сетей управляет диспетчер объединенного диспетчерского управления (ОДУ). В ОДУ входит несколько районных энергосистем – районных энергетических управлений (РЭУ).

Питающие сети предназначены для передачи электроэнергии от подстанций системообразующей сети и частично от шин 110–220 кВ электростанций к центрам питания (ЦП) распределительных сетей – районным подстанциям. Питающие сети обычно замкнутые. Как правило, напряжение этих сетей 110–220 кВ, по мере роста плотности нагрузок, мощности станций и протяженности электрических сетей напряжение иногда достигает 330–500 кВ.

Районная подстанция обычно имеет высшее напряжение 110–220 кВ и низшее напряжение 6–35 кВ. На этой подстанции устанавливают трансформаторы, позволяющие регулировать под нагрузкой напряжение на шинах низшего напряжения.

Распределительная сеть предназначена для передачи электроэнергии на небольшие расстояния от шин низшего напряжения районных подстанций к промышленным, городским, сельским потребителям. Такие распределительные сети обычно разомкнутые. Различают распределительные сети высокого ($U_{\text{НОМ}} > 1$ кВ) и низкого ($U_{\text{НОМ}} < 1$ кВ) напряжения. В свою очередь по харак-

теру потребителя распределительные сети подразделяются на сети промышленного, городского и сельскохозяйственного назначения. Преимущественное распространение в распределительных сетях имеет напряжение 10 кВ, сети 6 кВ применяются при наличии на предприятиях значительной нагрузки электродвигателей с номинальным напряжением 6 кВ. Напряжение 35 кВ широко используется для создания центров питания сетей 6 и 10 кВ в основном в сельской местности.

Для электроснабжения больших промышленных предприятий и крупных городов осуществляется глубокий ввод высокого напряжения, т.е. сооружение подстанций с первичным напряжением 110–500 кВ вблизи центров нагрузок. Сети внутреннего электроснабжения крупных городов – это сети 110 кВ, в отдельных случаях к ним относятся глубокие вводы 220/10 кВ. Сети сельскохозяйственного назначения в настоящее время выполняют на напряжение 0,4–110 кВ.

Воздушные линии электропередач (ВЛ) предназначены для передачи электроэнергии на расстояние по проводам. Основными конструктивными элементами ВЛ являются провода (служат для передачи электроэнергии), тросы (служат для защиты ВЛ от грозовых перенапряжений), опоры (поддерживают провода и тросы на определенной высоте), изоляторы (изолируют провода от опоры), линейная арматура (с ее помощью провода закрепляются на изоляторах, а изоляторы на опорах).

Длина линий электропередач в Беларуси (1996 г.): 750 кВ – 418 км, 330 кВ – 3951 км, 220 кВ – 2279 км, 110 кВ – 16 034 км.

Наиболее распространенные провода – алюминиевые, сталеалюминиевые, а также из сплавов алюминия. Силовые кабели состоят из одной или нескольких токопроводящих жил, отделенных друг от друга и от земли изоляцией. Токопроводящие жилы – из алюминия однопроволочные (сечением до 16 мм²) или многопроволочные. Кабель с медными жилами применяется во взрывоопасных помещениях.

Изоляция выполняется из специальной пропитанной минеральным маслом кабельной бумаги, накладываемой в виде лент на токопроводящие жилы, а также может быть резиновой или полиэтиленовой. Защитные оболочки, накладываемые поверх изоляции для предохранения ее от влаги и воздуха, бывают свинцовыми, алюминиевыми или поливинилхлоридными. Для защиты от механических повреждений предусмотрена броня из стальных лент или проволок. Между оболочкой и броней – внутренние и внешние защитные покровы. Внутренний защитный покров (подушка под броней) – джутовая прослойка из хлопчатобумажной пропитанной пряжи или из кабельной сульфатной бумаги. Наружный защитный покров – из джута, покрытого антикоррозионным составом.

Существенную часть в потреблении электроэнергии составляют потери в сетях (7–9%).

7.5. Качественные параметры электрической энергии.

Для эффективного электроснабжения сельского хозяйства необходимо обеспечивать высокое качество электрической энергии и надежность, постоянно контролируя режим электропотребления и значение коэффициента мощности.

Качество электрической энергии трехфазного тока, который применяется для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей, определяется стабильностью его частоты, уровнем напряжения у потребителей и степенью несимметрии фазных напряжений.

Значительное снижение частоты сказывается на работе осветительных приемников, создается пульсация светового потока и следовательно, освещенности.

Повышение и особенно снижение частоты тока влияют на работу электродвигателей. Уменьшение частоты вращения электродвигателей при заданной нагрузке приводит к увеличению потребляемых ими токов, что отражается на режиме питающей сети, увеличивая в ней потери напряжения и энергии. Изменения активной мощности и частоты тока приводят к возрастанию потребления реактивной мощности. Изменение частоты вращения электродвигателей сопровождается нарушением технологических процессов в приводимых ими механизмах.

Правила устройства электроустановок (ПУЭ) и ГОСТ" на качество электроэнергии регламентируют требования для поддержания частоты 50 Гц в мощных системах с точностью до $\pm 0,1$ ($\pm 0,2$) Гц. Для передвижных автоматизированных электростанций при их изолированной работе отклонение частоты при питании потребителей допускается в пределах $\pm 10\%$.

Важный показатель, определяющий качество электроэнергии - уровень напряжения у потребителей.

Снижение напряжения приводит:

- к уменьшению светового потока ламп, причем на каждый процент снижения напряжения получается уменьшение потока на 3-4%;
- к уменьшению вращающего момента электродвигателей, что при заданной на грузке сопровождается увеличением потребляемого тока, а значит, и потери напряжения в питающей сети.

Повышение напряжения у потребителей резко сокращает срок службы осветительных и бытовых приборов, увеличивает потребление реактивной мощности электродвигателями, что отражается и на работе питающей сети.

Стандартом установлены предельно допустимые отклонения напряжений от номинальных значений: $\pm 5\%$ для большинства потребителей и от $+5$ до -10% для отдельных групп потребителей. Для сельских потребителей значение предельных допустимых отклонений напряжения установлено $\pm 7,5\%$, а для сельских электродвигателей - от $+10$ до $-7,5\%$.

7.6. Понятие о потребителях электрической энергии

Требование к надежности электроснабжения со стороны отдельных потребителей зависит от уровня электрификации производственных процессов

и быта. Отдельные потребители в разное время предъявляют различные требования к надежности электроснабжения.

Учитывая исключительно важное значение фактора надежности при проектировании и эксплуатации систем электроснабжения сельскохозяйственных объектов, потребителей делят на **три** категории.

Первая категория включает объекты, нарушение электроснабжения которых **на 0,5 ч** влечет за собой значительный материальный ущерб, вследствие массовой порчи продукции и серьезные нарушения технологического процесса.

К потребителям **первой** категории относятся;

- 1) фермы и комплексы по производству молока на 800 коров и более;
- 2) по выращиванию и откорму свиней на 12 тыс. голов и более;
- 3) молодняка крупного рогатого скота на 10 тыс. гол. и более;
- 4) открытые площадки по откорму молодняка крупного рогатого скота на 20 тыс. скотомест и более;
- 5) по откорму коров мясных пород на 600 гол. и более;
- 6) племенные хозяйства и хозяйства по выращиванию ремонтного молодняка кур на 25 тыс. гол. и более;
- 7) гусей, уток и индюшек на 10 тыс. гол. и более;
- 8) кур-несушек на 100 тыс. гол. и более;
- 9) мясных цыплят на 1 млн. гол. и более.

К потребителям **первой** категории относятся **также** электроприемники особо важных объектов несельскохозяйственного назначения, расположенных в сельской местности:

- 1) пункты неотложной помощи,
- 2) родильные дома;
- 3) операционные отделения больниц и т. д.

Эти потребители **кроме основного** источника питания должны обеспечиваться **резервным** электроснабжением. Резервные источники электроснабжения наиболее ответственных потребителей первой категории (по спискам, утвержденным республиканскими органами сельского хозяйства) должны вводиться в действие автоматически. При неавтоматическом вводе в действие резервное питание должно быть обеспечено **не позднее чем через 30 мин** после отключения основного источника электроснабжения.

Вторая категория включает объекты перерывы в электроснабжении которых **свыше 3,5 ч** приводят к нарушению производственных процессов, снижению выхода сельскохозяйственной продукции и ее частичной порче.

К потребителям **второй** категории относятся:

- 1) электрифицированные доильные установки и установки первичной обработки молока;
- 2) линии по откорму свиней и крупного рогатого скота;
- 3) животноводческие и птицеводческие фермы колхозов и совхозов;
- 4) кормоприготовительные цехи и заводы по электромеханизированному приготвлению и раздаче кормов;
- 5) водоснабжение для нужд животноводства и птицеводства.

К потребителям третьей категории относятся потребители, не относящиеся к первой и второй категориям.

Для потребителей **третьей** категории допускаются перерывы в электроснабжении на время, необходимое для ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, но **не более одних суток**.

7.7. Снижение потерь энергии в системах электроснабжения сельскохозяйственных потребителей

При расчете и сооружении электрических сетей всегда преследуется цель уменьшить в них потери энергии, что возможно при реализации следующих мероприятий.

Уменьшение длины воздушных линий напряжением 10 и 0,38 кВ за счет строительства дополнительных трансформаторных подстанций снижает потери электроэнергии в распределительной сети в 2-4 раза.

Замена проводов перегруженных электрических линий проводами увеличенного сечения уменьшает потери электроэнергии в линиях в 1,3-2,0 раза.

Замена на трансформаторных подстанциях 10/0,4 кВ перегруженных трансформаторов на трансформаторы большей, а недогруженных — меньшей мощности для обеспечения соответствия коэффициентов систематических перегрузок K_p и минимальной загрузки K_m допустимым их значениям.

Обычно на двухтрансформаторных подстанциях в период минимальных нагрузок сезонного или годового графика электропотребления один из трансформаторов отключают от сети, если при этом сумма потерь электроэнергии в его элементах, например, за сезон, меньше суммы таких же потерь в обоих трансформаторах за этот же срок.

Подключение регулируемых и нерегулируемых конденсаторных установок на вводах в производственные помещения и на шинах 0,4 кВ трансформаторной подстанции необходимо для компенсации реактивной мощности электрической нагрузки. Так, например, относительное снижение потерь энергии при компенсации реактивной мощности до коэффициента мощности 0,96 при начальном его значении 0,86 в линиях 0,38-20,0 кВ происходит в 1,06-1,12.

Для снижения потерь энергии в системах электроснабжения необходимо применять в сетях 0,38 кВ регулируемые комплектные конденсаторные установки УКН -0,38 мощностью от 75 до 300 кВ А со встроенным автоматическим регулятором с числом ступеней регулирования до 6.

Перечень мероприятий, проводимых с целью снижения потребления электроэнергии:

1. Учет и контроль расхода электроэнергии;
2. Составление электробалансов отдельных машин, агрегатов, технологических линий, производственных помещений, ферм, комплексов и предприятия в целом;
3. Нормирование электропотребления;
4. Разработку и реализацию мероприятий по снижению потерь электро-

энергии в электрических сетях, трансформаторных подстанциях и потребителями.

Для реализации указанных мероприятий необходимо располагать точными схемами системы электроснабжения потребителей, наладить достоверный учет расхода электроэнергии последними и на подстанции. Для такого учета нужно располагать достаточным количеством контрольно-измерительных приборов, рационально размещенных.

7.8. Энергетическое хозяйство промышленных предприятий и потенциал энергосбережения

В промышленности более 2/3 потенциала энергосбережения находится в сфере потребления наиболее энергоемкими отраслями – химической и нефтехимической, топливной, строительных материалов, машиностроения, черной металлургии, лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной, пищевой и легкой промышленностью.

Значительные резервы экономии ТЭР в этих отраслях обусловлены несовершенством технологических процессов и оборудования, схем энергоснабжения, недостаточным внедрением новых энергосберегающих и безотходных технологий, уровнем утилизации вторичных энергоресурсов, малой единичной мощностью технологических линий и агрегатов, применением неэкономичной осветительной аппаратуры, нерегулируемого электропривода, неэффективной загрузкой энергооборудования, низкой оснащенностью приборами учета, контроля и регулирования технологических и энергетических процессов, недостатками, заложенными при проектировании и строительстве предприятий и отдельных производств, низким уровнем эксплуатации оборудования, зданий и сооружений.

Машиностроение и металлургия. Примерно треть всего используемого в машиностроении котельно-печного топлива идет на нужды литейного, кузнечно-прессового и термического производства. На технологические нужды используется около половины всей потребляемой теплоты и около трети всей электроэнергии. Свыше трети всей электроэнергии идет на механическую обработку. Основными потребителями энергоресурсов в машиностроении являются мартеновские печи, вагранки, плавильные печи, тягодутьевые машины (вентиляторы и дымососы), нагревательные печи, сушилки, прокатные станы, гальваническое оборудование, сварочные агрегаты, прессовое хозяйство.

Причинами малой эффективности использования топлива и энергии в отраслях машиностроения являются низкий технический уровень печного хозяйства, высокая металлоемкость изделий, большие отходы металла при его обработке, незначительный уровень рекуперации сбросной теплоты, нерациональная структура используемых энергоносителей, значительные потери в тепловых и электрических сетях.

Более половины резервов экономии энергоресурсов может быть реализовано в процессе плавки металлов и литейного производства. Остальная

экономия связана с совершенствованием процессов металлообработки, в том числе за счет повышения уровня ее автоматизации, расширения использования менее энергоемких по сравнению с металлом пластмасс и других конструкционных материалов.

Доля затрат на топливо и энергию в общих затратах на производство продукции черной металлургии составляет около 1/3.

Наиболее крупными потребителями топлива в отрасли являются доменное и прокатное производство, самыми энергоемкими – ферросплавное, горнорудное, прокатное, электросталеплавильное и кислородное производство, самым теплоемким – коксохимическое производство.

Химическая и нефтехимическая промышленность. В этих отраслях промышленности существует разнообразие технологических процессов, при которых потребляется, или выделяется большое количество теплоты. Уголь, нефть и газ используются как в качестве топлива, так и в качестве сырья.

Основными направлениями энергосбережения в этих отраслях являются:

- применение высокоэффективных процессов горения в технологических печах и аппаратах (установка рекуператоров для подогрева воды);
- использование погруженных газовых горелок для замены парового разогрева негорючих жидкостей;
- внедрение новой технологии безотходного экологически чистого производства капролактама с получением тепловой энергии в виде пара и горючих газов (ПО "Азот");
- повышение эффективности процессов ректификации (оптимизация технологического процесса с использованием тепловых насосов, повышение активности и селективности катализаторов);
- совершенствование и укрупнение единичной мощности агрегатов в производстве химических волокон;
- снижение потерь топлива и сырья в низкотемпературных процессах;
- перепрофилирование производства аммиака на менее энергоемкое производство метанола (ПО "Азот").

Крупным резервом экономии энергоресурсов в нефтехимической промышленности является утилизация вторичных энергетических ресурсов, в том числе внедрение котлов-утилизаторов для производства пара и горячей воды с целью утилизации тепла высокопотенциальных газовых выбросов. Среди промышленных производств выпуск минеральных удобрений является одним из наиболее энергоемких. Энергетические затраты в себестоимости отдельных видов продукции этой отрасли составляют примерно третью часть. Повышение энергетической эффективности связано с необходимостью разработки принципиально новых видов оборудования для производства минеральных удобрений, основанных на применении современных физических, физико-химических и физико-механических воздействий (акустических, вибрационных, электромагнитных) на технологические процессы, в том числе теплообменных аппаратов, фильтров, перемешивающих устройств, грануляторов и др.

Производство строительных материалов. Производство высококачественных строительных материалов основано на огневых процессах, связанных с расходом значительных количеств мазута, природного газа и кокса, т.е. наиболее ценных топлив. При этом коэффициент полезного использования этих топлив в отрасли не превышает 40%.

Наибольшее количество энергоресурсов внутри отрасли строительных материалов потребляется при производстве цемента. Наиболее энергоемким процессом в производстве цемента является отжиг клинкера (клинкер – обожженная до спекания смесь известняка и глины – сырьё для производства цемента). При так называемом мокром способе производства удельный расход энергоресурсов на отжиг клинкера примерно в 1,5 раза выше, чем при сухом способе. Поэтому важным направлением энергосбережения является применение сухого способа производства цемента из переувлажненного сырья.

В производстве бетона энергосберегающими являются производство и внедрение добавок-ускорителей отверждения бетона для перехода на мало-энергоёмкую технологию производства сборного железобетона, а также использование теплогенераторов для тепловлажностной обработки железобетона в ямных камерах; в производстве кирпича – внедрение метода вакуумированных автоклавов на кирпичных заводах, внедрение обжиговых печей панельных конструкций в цельнометаллическом корпусе для производства глиняного кирпича.

Необходимы организация выпуска строительных и изоляционных материалов и конструкций, снижающих теплопотери через ограждающие конструкции, и разработка и внедрение системы мероприятий по использованию потенциала местных видов топлив для обжига стеновой керамики.

В стекольной промышленности тепловой КПД пламенных стекловаренных печей (основных потребителей топлива) не превышает 20–25%. Наибольшие энергетические потери происходят через ограждающие конструкции печей (30–40%) и с отходящими газами (30–40%). Главные задачи в области энергосбережения в стекольной промышленности состоят в повышении КПД стекловаренных печей, замещении дефицитных видов органического топлива и в утилизации вторичных тепловых ресурсов.

В лесной, бумажной и деревообрабатывающей промышленности основными направлениями энергосбережения являются:

- внедрение экономичных агрегатов для сушки щепы в производстве древесно-стружечных плит;
- разработка и внедрение новых экономичных способов производства бумажных изделий, включая производство нетканых материалов и бумаги с синтетическим волокном;
- увеличение производства мебели менее энергоёмкими способами с применением новых видов облицовочных материалов вместо ламинирования;
- изготовление деталей из древесно-стружечных плит;

- утилизация теплоты вентиляционных выбросов и низкопотенциальной теплоты паровоздушных смесей;

- разработка и внедрение оборудования по производству и использованию генераторного газа из древесных отходов для получения тепловой и электроэнергии;

- переоборудование сушильных камер ПАП-32 с электроэнергии на производство древесных отходов.

Основные направления энергосбережения в легкой промышленности:

- совершенствование технологических процессов обжига фарфора;

- внедрение теплообменников-утилизаторов, использующих теплоту сушильного агента теплоиспользующего оборудования на предприятиях легкой промышленности.

В сельском хозяйстве около половины экономии энергии может быть обеспечено в результате внедрения энергосберегающих машин, технологических процессов и оборудования.

Преобладающая доля потенциала энергосбережения приходится на устранение прямого расточительства и повышения экономичности работы сельскохозяйственной техники, сокращение потребления ТЭР животноводческими фермами и тепличными хозяйствами за счет улучшения теплофизических характеристик ограждающих конструкций, утилизации низкопотенциальных ВЭР, оптимизации энергобалансов в сочетании с использованием нетрадиционных источников (биогаза и др.), снижение расходов топлива на сушку зерна, использование экономичных котлов с кипящим слоем вместо электрокотлов, использование отходов (соломы и др.) вместо традиционных видов топлива.

Основные направления энергосбережения в сельском хозяйстве наряду с созданием новой техники следующие:

- совершенствование технологии сушки зерна и кормов, методов применения минеральных и органических удобрений;

- разработка и внедрение систем использования отходов растениеводства и животноводства в энергетических целях, а также для производства удобрений и кормовых добавок;

- использование теплоты вентиляционных выбросов животноводческих помещений для подогрева воды и обогрева помещений для молодняка (с применением пластинчатых рекуператоров);

- обеспечение оптимальных температурных режимов и секционирование системы отопления животноводческих помещений;

- применение тепловых насосов в системах теплохладоснабжения и устройств для плавного регулирования работы систем вентиляции, внедрение современных контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации, установка приборов учета и контроля энергоресурсов, а также строительство биогазовых установок.

В пищевой промышленности к числу наиболее энергоемких относится производство сахара. Основная экономия энергоресурсов в сахарном производстве может быть достигнута в результате совершенствования технологи-

ческих схем и целенаправленного внедрения энергосберегающего оборудования, использование низкопотенциальной теплоты вторичных паров выпарных и вакуумкристаллизационных установок и конденсатов в тепловых схемах.

Энергоемким является также производство спирта. Для снижения расхода теплоты здесь необходимо внедрение ферментативного гидролиза при подготовке крахмала, содержащего сырье к сбраживанию.

Сущность энергосберегающей политики в рассматриваемый период состоит в максимально возможном обеспечении потребности в ТЭР за счет их экономии в промышленности, сельском хозяйстве, коммунально-бытовом секторе и более эффективном использовании в электроэнергетике.

Главные причины неэффективного использования ТЭР в Беларуси обусловлены отсутствием комплексной технической, экономической, нормативно-правовой политики энергосбережения, недостатками проектирования, строительства и эксплуатации, отсутствием технической базы по производству необходимого оборудования, приборов, аппаратуры, средств автоматизации и систем управления.

Потенциал энергосбережения в электроэнергетике формируется за счет широкого развития теплофикации на базе ГТУ и ПГУ, модернизации и реконструкции действующих энергетических объектов, совершенствования технологических схем и оптимизации режимов работы оборудования, повышения эффективности процессов сжигания топлива и их автоматизации, внедрения автоматизированных систем управления.

В коммунально-бытовом секторе потенциал энергосбережения формируется за счет улучшения теплофизических характеристик ограждающих конструкций зданий и сооружений, модернизации и повышения уровня эксплуатации мелких котельных, использования более экономичных осветительных приборов, регулируемого электропривода, широкого внедрения приборов учета, контроля, регулирования, улучшения содержания зданий и сооружений, повышения экономичности электротранспорта, КПД газовых плит, качества теплоизоляции и др.

ТЕМА 8. Организационно-техническое обеспечение ресурсосберегающих технологий производства кормов для животноводства

8.1. Средства измерения основных параметров

В ходе теплоэнергетических процессов требуется получать информацию о различных параметрах, характеризующих функционирование тех или иных объектов. Рассмотрим основные устройства для измерения таких параметров, как температура, влажность, давление, расход, количество теплоты, электроэнергия.

8.2. Датчики расхода

Масса или объем вещества, проходящего через сечение канала за определенный промежуток времени, называется расходом вещества, а измеряющие его приборы — расходомерами. Расходомер, снабженный интегратором для суммирования показаний за какой-то промежуток времени, называют счетчиком.

Для измерения расхода жидкости при ее течении по трубопроводам постоянного сечения применяются дроссельные датчики. Сужение сечения при помощи такого датчика, например, диафрагмы, достигается путем установки в трубопроводе тонкого диска диаметром D с концентрическим отверстием определенного диаметра d_0 и профиля (рис. 9, а). В суженном сечении происходит увеличение скорости и падение статического давления потока. По измеренному дифманометром перепаду давления Δp определяют скорость жидкости и ее расход (рис. 9, б).

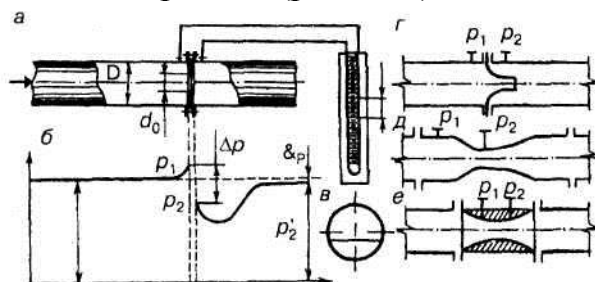


Рис. 9

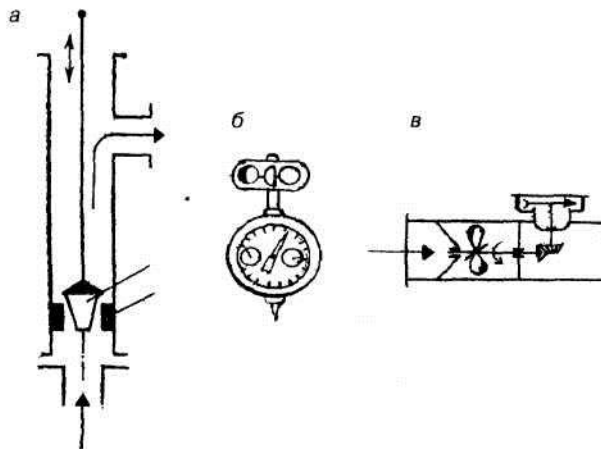


Рис. 10

В качестве других устройств используются сегментные диафрагмы (рис. 10, в), сопла (рис. 10, г) и трубы Вентури и Фостера (рис. 10, д и е).

Из расходомеров с постоянным перепадом давления наибольшее распространение получили ротаметры. Основным элементом прибора — конический поплавок 1, вертикально перемещающийся под действием динамического давления потока внутри кольцевой диафрагмы 2. Перемещение поплавка прекращается при уравнивании сил тяжести поплавка и давления потока, при этом каждому значению расхода соответствует определенное положение поплавка. Обычно перемещение поплавка передается в электроизмерительную схему вторичного прибора.

В основу скоростного метода положено измерение при помощи стационарных напорных трубок средней скорости потока v_m , связанной с расходом:

$V = v_m F$ (F — площадь поперечного сечения потока). Для косвенных измерений скорости потока используются счетчики с лопастными колесами, вертушками, взаимодействующими с потоком, средняя скорость движения которого влияет на частоту вращения датчика, например, в анемометрах, водометрах. В электротермоанемометре, степень охлаждения датчиков-термопар или терморезисторов которого пропорциональна скорости потока, формируется электрический сигнал об изменении расхода.

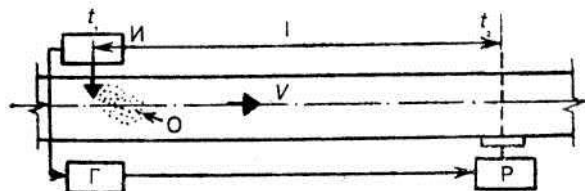


Рис. 11

Широкое распространение для измерения нестационарных расходов получили бесконтактные методы — индукционные, ультразвуковые, СВЧ, ионизационные, радиоизотопные и др. Их сущность заключается в том, что под воздействием излучения от какого-либо источника И в потоке происходит соответствующая флуктуация, например образуется ионное облачко-метка О, движущееся вместе с потоком (рис. 11). Зная момент подачи t_x частотного импульса генератором Г, расстояние l и момент t_2 прохождения облачком чувствительного элемента приемника-регистратора Р, определяют расход вещества V . Так, в газоснабжении измеряется расход газа с помощью радиоактивных меток — порций криптона или ксенона, поступающих из специального баллончика-дозатора.

8.3. Счетчики учета воды

В коммунальном хозяйстве Республики Беларусь и за рубежом наибольшее распространение получили так называемые тахометрические (скоростные) счетчики воды, принцип действия которых состоит в суммировании числа оборотов рабочего органа, установленного в поток жидкости. В зависимости от конструкции рабочего органа различают две группы счетчиков — турбинные и камерные. Для счетчиков с тангенциальной турбиной широко распространено название «крыльчатые», а счетчики с аксиальной турбиной называются «турбинные». В крыльчатых счетчиках ось вращения тангенциальной турбины перпендикулярна направлению движения воды в трубопроводе, а в турбинных счетчиках — параллельна. Камерные счетчики (объемные) изготавливают с рабочим органом в виде диска, кольцевого поршня или овальных колес. Такие счетчики выпускают некоторые зарубежные фирмы для измерения малых расходов (квартирные счетчики), но у нас они не получили широкого распространения. Крыльчатые и турбинные счетчики получили широкое распространение для учета воды, использованной отдельными потребителями (жилые и общественные здания, промышленные предприятия) с максимальным расходом до $800 \dots 1000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Крыльчатые счетчики воды выполняют одноструйными и многоструйными. В одноструйном счетчике вода подводится к крыльчатке одной струей, направленной по касательной к окружности, проходящей через центры лопаток крыльчатки (рис. 12).

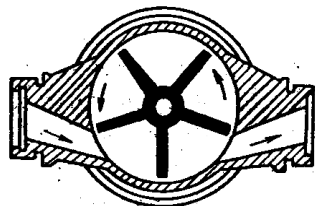


Рис. 12. Схема движения потока воды в одноструйном крыльчатом счетчике воды

В многоструйных вода с помощью направляющего аппарата подводится к крыльчатке несколькими струями, распределено равномерно по ее окружности (рис. 13).

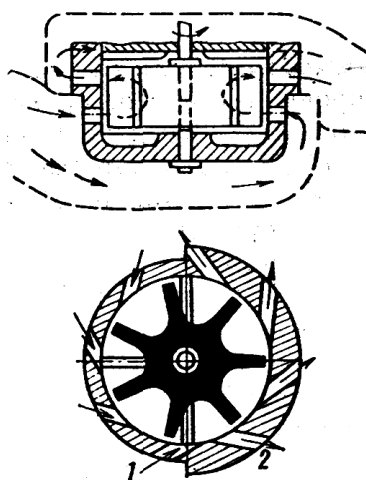


Рис. 13. Схема движения потока воды в многоструйном крыльчатом счетчике:
1—подводящие каналы; 2—отводящие каналы

Одноструйные счетчики по конструкции проще многоструйных и менее материалоемки (рис. 14).

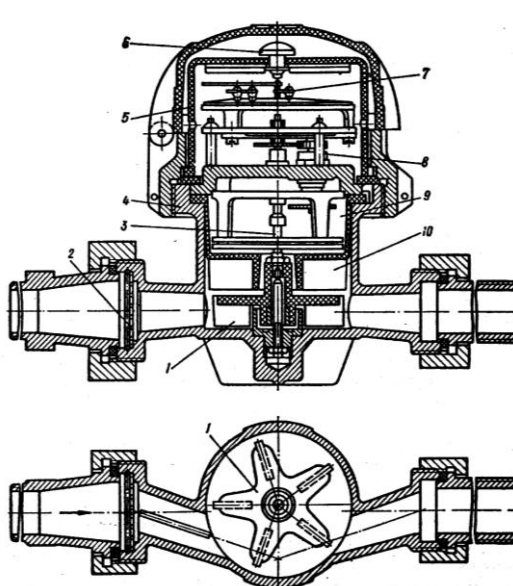


Рис. 14. Крыльчатый одноструйный счетчик воды:

1–крыльчатка; 2–сетка; 3–ось крыльчатки; 4–корпус; 5–крышка; 6–стеклоочиститель; 7–счетный механизм; 8–сальник; 9–редуктор; 10–регулирующая чашка.

Одноструйные и многоструйные счетчики могут быть «мокроходами», если их счетный механизм постоянно находится в контакте с водой, или «сухоходами», если счетный механизм отделен от воды перегородкой. Во втором случае вращение крыльчатки передается на счетный механизм с помощью сальника, через который пропущена ось крыльчатки, или специальной магнитной муфты, состоящей из двух полумуфт – ведущей, насаженной на ось крыльчатки и находящейся в воде, и ведомой, расположенной в сухом пространстве счетного механизма. Использование магнитных муфт позволяет снизить порог чувствительности счетчиков по сравнению со счетчиками, имеющими сальник. Зарубежные фирмы выпускают счетчики с магнитными муфтами.

Счетчики «мокроходы», по сравнению с сальниковыми «сухоходами» имеют более простую конструкцию и меньший порог чувствительности. Недостатком «мокроходов» является возможность засорения счетного механизма, что ведет к его остановке или зарастанию стекла частицами отложений настолько, что становится невозможным отсчет показаний счетчика.

Крыльчатые счетчики «Струмень», тип СВ – 25, СВ 32, СВ – 40.

Температура холодной воды до 50 °С, горячей до 130 °С, максимальное давление 1,6 МПа.

СВХ – 15, СВГ – 15.

Х – до 50 °С. Г – до 90 °С, давление 1,6 МПа.

Основной частью турбинных счетчиков воды является измерительная камера, обеспечивающая преобразование скорости потока во вращательное движение турбины. Измерительная камера расположена горизонтально или вертикально (рис. 15) в корпусе счетчика, где встроены также блок счетного механизма и регулятор.

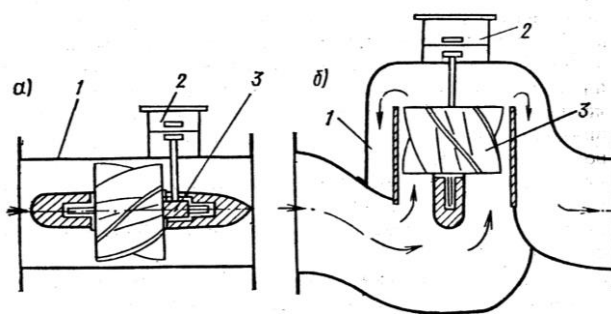


Рис. 15. Схема движения потока в турбинных счетчиках воды:
а–с горизонтально расположенной турбиной; б– с вертикально расположенной турбиной.

Конструкция турбинного счетчика представлена на рис. 16.

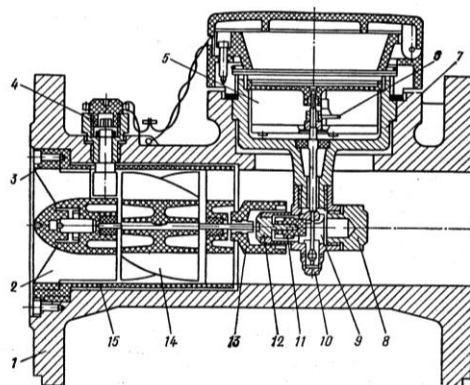


Рис. 16. Разрез турбинного счетчика воды МР:

1–фланцы; 2–измерительная камера; 3–струевыпрямитель; 4–регулятор; 5–блок счетного механизма; 6–фиксатор; 7–чаша; 8–заглушка; 9–уплотнитель; 10–регулирующий винт; 11–ведомая часть магнитной муфты; 12–опора; 13–ведущая часть магнитной муфты; 14–турбина; 15–уплотнитель.

Счетчики воды турбинные, тип МР – 01, МР – 150, MW, MW 150.

Учет холодной воды с температурой до 50 °С, горячей воды до 130 °С. Максимальное давление 1,6 МПа.

Предназначены для измерения и коммерческого учета расхода воды (рекомендуются для установки в жилых и производственных помещениях).

Счетчики воды турбинные для мелиорации, тип MW1, MW1К. Максимальная температура до 50 °С. Давление 1,6 МПа.

Предназначены для работы в особо тяжелых условиях с большим количеством химических и механических загрязнений. Величина механической частицы, проходящей через счетчик может достигать 50% площади поперечного сечения счетчика. Рекомендуется для установки в водозаборах с открытых водоемов, для измерения количества сточных вод в канализационных системах и на объектах сельского хозяйства.

Множество счетчиков воды в городах, их установка зачастую в труднодоступных местах (подвалы, колодцы), необходимость часто снимать показания счетчиков для оплаты воды делают актуальной задачу автоматизации учета водопотребления с целью снижения затрат на эксплуатацию. Вопросам автоматизации учета водопотребления уделяется большое внимание в промышленно развитых странах.

Автоматизация учета водопотребления связана с разработкой приставок (датчиков) к счетчикам (рис. 17), обеспечивающих получение электрических импульсов, частота которых пропорциональна расходу воды через счетчик. Датчики бывают двух типов – активные и пассивные.

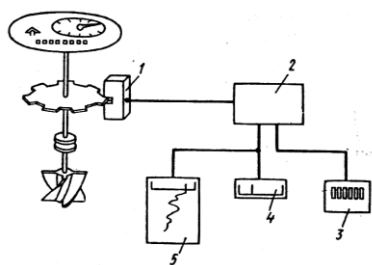


Рис. 17. Схема устройства для автоматической регистрации показаний счетчиков воды:

1–датчик импульсов; 2–преобразователь сигналов; 3–счетчик импульсов; 4–индикатор расхода; 5–самописец.

Активные датчики предназначены для непрерывной передачи импульсов, частота которых пропорциональна расходу воды, а пассивные имеют электронный сумматор, показания которых считываются и передаются по линиям связи лишь по команде с центрального диспетчерского пункта.

Счетчики воды с дистанционным контролем показаний

Крыльчатые СВХ15И, СВГ15И

Напряжение питания – 100 В. Ток коммутации – 0,5 А; Коммутируемая мощность 10 Вт.

Конструктивно представляют водомеры холодной и горячей воды, у которых вместо одного из стрелочных указателей, считывающих объем протекающей воды, установлен специальный указатель с магнитом, рядом с которым крепится геркон в пазу крышки, закрывающей счетный механизм.

Счетчики воды турбинные, сопряженные, тип MW/ JS – S – NK

Максимальная температура воды 50 °С, где в течении времени происходят перепады в водоснабжении. Выпускаются с датчиками импульсов, предназначены для дистанционного снятия показаний и передачи информации. Детали счетчика, контактируемые с водой, изготовлены из материалов не снижающие качество воды.

8.4. Измерение количества теплоты

Необходимость оперативного определения расхода теплоты и теплопотерь с особой остротой выявилась в последнее время в связи с требованием экономии топливно-энергетических ресурсов. Тепловая мощность потока

$$q = M h, \quad (1)$$

где M — массовый расход теплоносителя;

h — удельная энтальпия теплоносителя.

Отпуск теплоты Q находят интегрированием q по времени. При этом в соответствии с видом теплоносителя энтальпия зависит от температуры и давления.

Процесс измерения сводится к комплексному измерению давлений, перепадов давлений (расходов) и температур с последующими расчетными операциями.

Измерительная система теплосчетчика "Квант" (рис. 18) состоит из электромагнитного (индукционного) расходомера (ИР), платиновых терморезисторов — датчиков температуры прямого и обратного потоков и автоматического вычислительного прибора (АВП). Подающий трубопровод расположен между полюсами электромагнита M , под действием которого ионы жидкости отдают заряды измерительным электродам $\mathcal{E}$, создавая ток, пропорциональный расходу V . Измерительный блок (ИБ) трансформирует сигнал о расходе и передает на АВП, куда также поступают сигналы от терморезисторов $RK1$ и $RK2$. АВП производит счетные операции с выходом на регистрирующий прибор (РП) и АСУ.

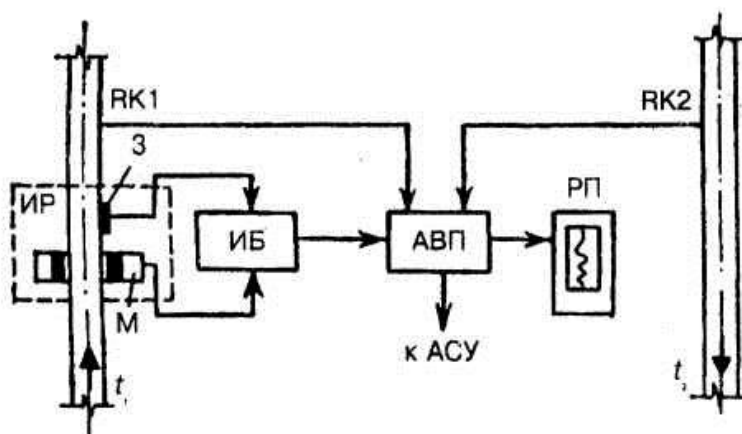


Рис. 18

На рис. 19 показан комплект приборов теплосчетчика НПТО "Термо". В состав комплекта входят: электромагнитный расходомер РОСТ-1; измерительный преобразователь ЭП-8006; термометры сопротивления КТСР для измерения разности температур.

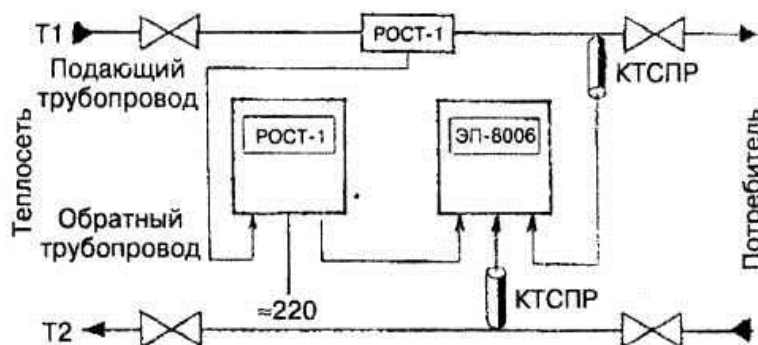


Рис. 19

Теплосчетчик отличается высокой точностью измерения, отсутствием требований к прямолинейности участков трубопровода, отсутствием подвижных элементов в потоке. Комплект имеет цифровой шестиразрядный счетчик количества теплоты в гигаджоулях, цифровую индикацию расхода теплоносителя, аналоговые выходные сигналы постоянного тока, частотный выходной сигнал, телеметрический датчик для передачи данных в систему учета энергии ИИСЭ.

Индивидуальные тепломеры, широко распространенные в ряде европейских стран, оценивают расход теплоты индивидуальными потребителями, например радиаторами центрального отопления. Стеклопаянная градуированная трубочка, заполненная тетралином, прикрепляется к поверхности радиатора. Систематический ее нагрев приводит к испарению жидкости, по уровню которого судят о расходе теплоты.

8.5. Счетчики газа

Во всех промышленных и коммунально-бытовых предприятиях на общем вводе газопровода должен устанавливаться газовый счетчик. Измерение количества газа производится или непосредственным измерением объема—

при помощи ротационных или поршневых счетчиков, или путем измерения некоторых других величин, являющихся функцией газа, проходящего по газопроводу. Например, перепад давления, происходящий при увеличении скорости потока в суженном сечении трубы. Данный метод получил наибольшее распространение в промышленности.

Объемные счетчики наиболее широко применяются в коммунально-бытовых предприятиях. Наиболее широкое распространение получили ротационные счетчики типа СГД – 2,5, в которых использована способность двух взаимосвязанных роторов (рис. 20), вращаться под напором газа, поступающего во входную камеру. С каждым оборотом роторов происходит чередующее наполнение и опорожнение объемов с левой и правой сторон рабочей камеры, соответствующее вполне определенному количеству газа, прошедшему через данный прибор, что фиксируется обычным счетчиком оборотов, связанным передачей с валом одного из роторов.

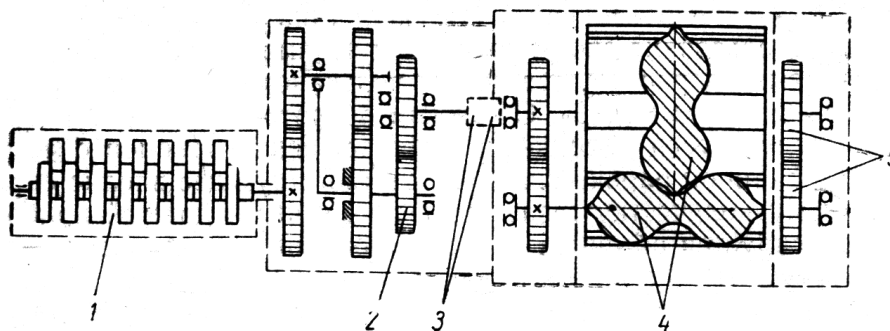


Рис. 20. Схема устройства ротационного счетчика:
1–счетный механизм, 2–планетарный регулятор, 3–магнитные муфты, 4–роторы, 5–шестерни.

Ротационные счетчики обеспечивают точность измерений $\pm 2\%$ на расходе от 20 до 120% от номинального расхода.

В связи с тем, что объем газов значительно изменяется при нагревании, охлаждении и сжатии. Для сравнения объемных количеств газа их приводят к нормальным и стандартным условиям.

Нормальными условиями принято считать температуру равную 0°C при давлении 101,325 кПа. На практике за единицу измерения количества газа принимают 1 м^3 газа, взятого при давлении 101,325 кПа, температуре 20°C и влажности равной 0. Эти условия принято считать стандартными. Для пересчета параметров, характеризующих состояние газа, на нормальные или стандартные условия можно использовать следующие формулы:

приведение газа к нормальным условиям:

$$V_0 = V_t \cdot \frac{273,2 \cdot P_t}{(273,2 + t) \cdot P_0}, \text{ м}^3, \quad (2)$$

приведение газа к стандартным условиям:

$$V_{20} = V_t \cdot \frac{(273,2 + 20) \cdot P_t}{(273,2 + t) \cdot P_0}, \text{ м}^3, \quad (3)$$

где V_0 – объем газа при нормальных условиях, м^3 ;
 V_t – объем газа при заданном давлении и температуре t , м^3 ;
 P_t – давление газа в момент измерения объема при температуре t ,
кПа;

P_0 – нормальное давление газа, равное 101,325 кПа.

Масса газа в единице объема называется плотностью. Применительно к газам плотность имеет размерность $\text{кг}/\text{м}^3$ и определяется обычно при температуре 0°C и давлении 101,325 кПа.

Чтобы показать, насколько 1 м^3 данного газа легче или тяжелее 1 м^3 воздуха, определяют относительную плотность. Для этого необходимо плотность газа разделить на плотность воздуха при нормальных условиях.

Так как ротационные счетчики рассчитаны на давление не более 13 кПа, их обычно устанавливают после регулятора давления газорегуляторного пункта.

8.6. Счетчики электрической энергии

Счетчики электрической энергии, трехфазные многофункциональные «Каскад», «Каскад – 04» (рис. 21).

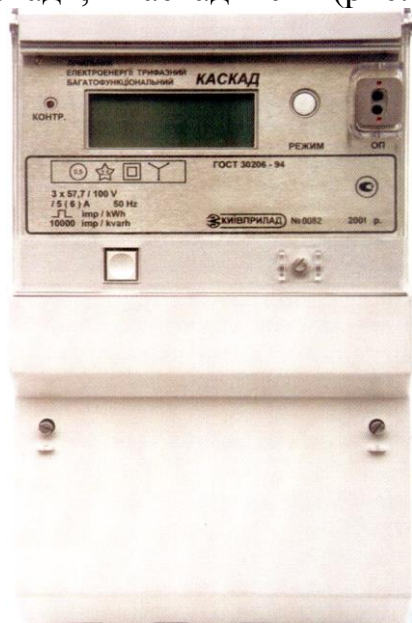


Рис. 21. Счетчики электроэнергии «Каскад».

Многофункциональный счетчик «Каскад» - основа построения современных распределенных многоуровневых систем учета и управления электрической мощностью и энергией. Используются в следующих системах управления:

- автоматизированных системах контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ);
- системах управления электро – и теплоснабжением;
- автоматизированных системах диспетчерского управления (АСДУ);

- системах контроля и управления качеством электроэнергии;
- автоматизированных системах управления электроприводом.

Счетчики осуществляют измерение активной энергии прямого и обратного направлений и реактивной энергии в режиме многотарифности с записью профиля нагрузки в трехфазных и трех – и четырехпроводных электрических сетях при трансформаторном включении.

Измерительная информация о параметрах режимов представляется счетчиком в виде текущих и интегральных значений.

Текущие значения:

- действующие значения фазных токов и напряжений;
- активные, реактивные и полные мощности;
- коэффициенты мощности фаз;
- частота сети.

Интегральные значения – усредненные значения активной, реактивной и полной мощностей на фиксированном временном интервале.

В памяти счетчика хранится ретроспектива значений следующих измеряемых величин за разные временные периоды:

- полученной и отпущенной активной и реактивной энергии по каждой из тарифных зон;
- максимальных усредненных активной и реактивной мощностей, даты и времени их фиксации;
- максимальной текущей мощности, даты и времени ее фиксации.

Программные средства защиты

Каждый счетчик имеет свой пароль, который используется на уровне обмена информации, с помощью которого осуществляется доступ к данным счетчика и его программам.

Электронные узлы счетчика под управлением его программных средств подвергаются самодиагностике каждые 24 часа в 00 часов.

Регистрирует время отключения питания, сбросов максимальной мощности, журнал регистрации связей.

ТЕМА 9. Резервы энергосбережения в сельскохозяйственном производстве

В жилищном хозяйстве потребляется около 30% тепловой энергии, получаемой от сжигания добываемого в стране твердого и газообразного топлива, и поэтому здесь экономия теплоты является важнейшей народнохозяйственной задачей, решать которую необходимо немедленно. Важность этой задачи объясняется прежде всего тем, что суммарная потребность эксплуатируемых жилых зданий в тепловой энергии примерно в 30 раз больше этой потребности для новых жилых зданий, вводимых в эксплуатацию в течение одного года, а возможности экономии теплоты в эксплуатируемых зданиях значительно больше, чем в новых.

Следует также учитывать то, что в последние годы стоимость добычи и перевозки топлива значительно увеличилась: его месторождения

истощаются, и топливодобывающая промышленность перебазирована на восток и север, где горно-геологические условия добычи топлива более тяжелые. Необходимость перевозки его к потребителям на тысячи километров вызвала резкое увеличение капитальных вложений в газопроводы и реконструкцию железнодорожного транспорта.

Существующий перерасход тепловой энергии в эксплуатируемых жилых зданиях по сравнению с расчетным расходом сейчас в среднем оценивают в 25% и более. Причин такого большого перерасхода много: пониженные теплозащитные свойства наружных ограждающих конструкций – стен, заполнений световых проемов (окон и балконных дверей), совмещенных покрытий зданий; перерасход теплоты, расходуемой на нагрев наружного воздуха, проникающего в помещения через неплотности в притворах оконных переплетов и балконных дверей (из-за их большой щелистости); неотрегулированность систем отопления, что приводит к перегреву ряда помещений здания; работа котельных с низким коэффициентом полезного действия; перерасход горячей воды, поступающей из системы горячего водоснабжения в зданиях повышенной этажности и др.

Основным мероприятием, позволяющим сократить перерасход тепловой энергии в жилых зданиях, является оснащение систем отопления и горячего водоснабжения приборами, автоматически регулирующими их работу. Однако реализовать его будет сложно, так как выпуск указанных приборов еще невелик. Для этого потребуются не только большие капитальные вложения, но и выполнение частичной реконструкции помещений, где будут установлены приборы, а также подготовка обслуживающего персонала и организация соответствующих ремонтных баз. Поэтому в настоящее время необходимо выявить и реализовать такие энергосберегающие мероприятия, которые могут быть осуществлены более просто, без установки автоматически действующих приборов или устройств, заводское изготовление которых должно быть освоено вновь.

Обязательным предварительным условием проведения теплосберегающих мероприятий является приведение в исправное состояние всех контрольно-измерительных приборов и арматуры систем отопления и горячего водоснабжения. Задвижки в котельных и на вводах в зданиях, а также проходные краны на стояках системы отопления должны быть отрегулированы, и положение в таком состоянии их элементов, регулирующих расход воды, должно быть зафиксировано; расход воды в нагревательных приборах необходимо привести в соответствие с расчетным расходом с помощью кранов двойной регулировки. Необходимо устранить избыточные поверхности нагрева, установленные жильцами. Проверка выполнения перечисленных мероприятий должна производиться не реже двух раз в год (в начале и в конце отопительного периода). Одновременно необходимо выявить и устранить все неисправности наружных ограждающих конструкций здания с предъявлением санкций к жильцам, не выполняющим требования экономии тепла (заклейка притворов оконных переплетов на зимний период, отсутствие в них стекол и др.).

Таким образом, имеется пять показателей, изменение которых при проведении определенных мероприятий позволяет экономить тепловую энергию и топливо. Это снижение:

1) потерь теплоты через наружные ограждающие конструкции зданий (обычно такие мероприятия осуществляются при реконструкции или капитальном ремонте жилого здания);

2) количества поступающего в помещения наружного воздуха (через неплотности притворов в заполнениях световых проемов) до нормальной величины;

3) расхода тепловой энергии в системе отопления здания;

4) расхода тепловой энергии в системе горячего водоснабжения здания;

5) расхода топлива в котельных.

9.1. Энергосбережение в зданиях и сооружениях

В настоящее время расходы на отопление становятся очень высокими, а это приводит к увеличению теплового загрязнения окружающей среды, атмосферы, перерасходу драгоценного топлива. Те, кто сэкономил на теплоизоляции дома, несут в последующем неизмеримо большие расходы на отопление. Можно привести множество примеров, которые подтверждают этот факт. Если учесть ситуацию с энергоресурсами и ценами на нефть, то для Беларуси она представляется очень сложной. Здания всех типов являются крупнейшими потребителями энергии (около 30–40% потребления в Республике Беларусь). По уровню потребления энергоресурсов с ними может сравниться только промышленный сектор.

По оценкам как отечественных, так и зарубежных экспертов, потенциал экономии электроэнергии в зданиях и сооружениях равен 30–40%, а тепловой энергии – около 50%.

Типовая структура расхода тепловой энергии зданием, а также потенциал энергосбережения приведены на рис. 1:

- наружные стены – 30% (потенциал 50%);
- окна – 35% (потенциал 50%);
- вентиляция – 15% (потенциал 50%);
- горячая вода – 10% (потенциал 30%);
- крыша, пол – 8% (потенциал 50%);
- трубопровод, арматура – 2% (потенциал 5%).

Как видно, основное потребление связано с отоплением здания для компенсации тепловых потерь через окна, стены, крышу, пол, за счет вентиляции.

Например, частные домовладельцы в Западной Европе используют почти 30% всей получаемой энергии, что составляет почти столько же, сколько и промышленность, и больше, чем весь вместе взятый транспорт. Большая часть расходуемой энергии (70%) идет на отопление помещений (рис. 2).

В Беларуси в настоящее время строится огромное количество зданий и сооружений, поэтому необходимо уделять огромное внимание теплоизоляции и энергосбережению. Например, затраты на отопление 1 м² в Германии и Беларуси относятся как 1:1,25.

Необходимая для осуществления жизненных функций энергия, ее получение и использование связаны с нагрузкой на окружающую среду: добыча угля, нефти, газа, ядерного топлива, эмиссия продуктов сгорания, тепловое загрязнение окружающей среды. Основным пунктом дискуссии об окружающей среде является неизбежное появление углекислого газа после сгорания углеводных носителей энергии.

Поднимаясь в атмосферу, он способствует возникновению так называемого парникового эффекта, который может привести к катастрофическим последствиям в будущем. Эта опасность должна быть ликвидирована или существенно снижена. Здания, которые теперь разрабатываются или модернизируются, определяют новые пределы потребления энергии и теплового давления на окружающую среду, а также цены на энергию в будущем. Как правило, теплоизоляция домов не соответствует стандартам.

Энергосберегающие мероприятия также являются средством сокращения общего энергопотребления. Несмотря на снижение мировых цен на нефть в 90-е годы, наблюдается тенденция повышения цен на энергию, что особенно актуально для Беларуси.

Жилое помещение, например, согласно немецким стандартам теплоизоляции, соответствует следующим параметрам:

- средний коэффициент теплопроводности стен – 0,66 Вт/(м·К);
- норма воздуха обмена – 0,8 раз/час;
- КПД приборов отопления – 80%;
- годовая потребность тепла – 26 200 кВт·ч;
- годовое потребление тепла на 1 м² – 140 кВт·ч.

При применении современной строительной и теплозащитной технологии появляется возможность удержать годовое потребление энергии в пределах 30–70 кВт·ч/м² полезной площади. Это соответствует потреблению 37 л нефти или 3–7 м³ газа на 1 м² жилой площади в год.

Между тем Швеция уже давно имеет более жесткие требования по энергосбережению, чем другие страны Западной Европы. Так, потребление тепла на 1 м² жилого пространства по нормам там составляет 60–70 кВт·ч.

Коэффициент теплопередачи k – единица, которая обозначает прохождение теплового потока мощностью 1 Вт сквозь элемент строительной конструкции площадью 1 м² при разнице внутренней и внешней температуры в 1 Кельвин. Так, для жилого дома k равно:

- потолок (12 см изоляции) – 0,35;

- пенобетон 30 – 36 см или легкий кирпич – 0,66;
- пол (5 см теплоизоляции) – 0,68;
- теплоизолированные окна – 0,3.

Годовой приток и потери энергии обычного дома составляют:

- приток солнечной энергии – 6700 кВт-ч;
- внутренние источники тепла – 2700 кВтч;
- вентиляция – 7700 кВтч;
- потери через окна – 9000 кВт-ч;
- потери через пол, подвал – 3100 кВт-ч;
- потери через стены – 6600 кВт-ч;
- потери через крышу – 4000 кВт-ч;
- потери через систему вентиляции – 5200 кВт-ч.

В виде стандарта рассматривается дом с низким энергопотреблением (ДНЭ), который потребляет тепловой энергии меньше 70 кВт-ч/м² в год (от 70 до 30 кВт-ч/м²). Это соответствует годовому потреблению тепловой энергии от 300–700 м³ газа при жилой площади 100 м². Кроме этого, ДНЭ отличается также малым потреблением энергии для обеспечения горячей водой.

Низкое энергопотребление зданием обеспечивают:

- хорошие теплоизолирующие свойства строительных элементов (стен, окон, крыши, пола, подвала);
- добросовестное выполнение изоляции: недопущение теплопотерь;
- плотная оболочка строения (защита от ветра и т.п.);
- пассивное использование солнечной энергии и ее аккумулирование (суточное или сезонное);
- управляемый воздухообмен (по возможности возвращение тепла);
- хорошо регулируемые отопительные устройства;
- энергоэкономное обеспечение горячей водой, возможно посредством солнечной энергии в летнее время;
- устранение бесполезных расходов электроэнергии.

9.2. Использование прогрессивных строительных материалов для ограждающих конструкций в сельском хозяйстве

Зарубежные специалисты считают, что необходимый микроклимат в животноводческих помещениях следует создавать в первую очередь за счет повышения сопротивления теплопередаче наружных ограждений, а затем в случае необходимости использовать системы отопления.

Установлено, что в условиях умеренного климата требуемые параметры микроклимата в помещении можно поддерживать только за счет

биологического тепла, выделяемого животными, для чего необходимо уменьшить через ограждения до 20% от количества тепла, выделяемого животными.

Потери тепла через ограждающие конструкции (стены, окна, перекрытия) зависят от их площади, разницы температур внутри и снаружи помещения, толщины, материала и состояния ограждения.

Зоогигиеническими исследованиями установлено, что стандартные стеновые панели из железобетона с термическим сопротивлением $R = 0,9 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C} / \text{ккал}$ и совмещенные крышные перекрытия ($R = 1 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C} / \text{ккал}$) при отсутствии отопления внутри помещения не обеспечивают требуемых параметров микроклимата.

Для улучшения эксплуатационных качеств проектируемых и существующих производственных зданий необходимо выполнение следующих условий:

- для железобетонных зданий необходимо их дополнительное утепление, обеспечивающее термическое сопротивление стен не менее $2 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C} / \text{ккал}$, перекрытий – $2,5\text{-}3 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C} / \text{ккал}$.

- увеличение толщины стен:

- дерево в различных вариантах – 20-24 см,

- шлак+опилки+цемент – 46-50 см,

- кирпич в сочетании с утеплителем – 60-72 см,

- керамзитобетон с утеплителем (пенополистирол) – 35-40 см.

- при строительстве новых ферм следует по возможности уменьшать высоту зданий при обеспечении кубатуры помещения, приходящейся на одно животное.

- следует предусматривать минимальное количество окон и размещать их преимущественно с южной стороны. Остекление, как правило, должно быть двойное, на зиму необходим третий слой из пленки.

- перекрытие должно быть, как правило, в чердачном варианте, так как через совмещенное перекрытие теплопотери составляют около 70% от общих. Толщина утепляющего слоя (шлак с опилками) должна быть 30-35 см.

- обеспечение относительной влажности воздуха в помещении не более 70% путем дополнительного подогрева приточного воздуха с помощью установок обеспечения микроклимата.

- использование материалов с термическим сопротивлением не ниже $1,8\text{-}2,0 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C} / \text{ккал}$. Для обеспечения такого уровня теплоизоляции толщина стены из тяжелого бетона должна быть не менее 1 м. Более экономичный путь – использование теплоизоляционных материалов для возведения построек облегченной конструкции.

Слой пенополистирола в 2,5 см эквивалентен кирпичной конструкции толщиной 60 см, пенобетонной – 18 см и деревянной – 15 см.

- применение легких ограждающих конструкций заводского изготовления типа АСД, ПСАД, ПСАВД, ПАС, «Сандвич» и др. Панели состоят из деревянного каркаса, двух наружных слоев волокнистого материала (асбоцемент) и теплоизолятора (внутренний слой).
- применение при реконструкции зданий цельнопрессованных стеновых листов из фенольного стеклопластика (масса – до 10 кг/м^2 и термическим сопротивлением не менее $1,8 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C/ккал}$).
- применение клееных деревянных конструкций, энергоемкость изготовления которых в 4 раза ниже, чем одного только цемента. Они могут использоваться в помещениях при влажности до 75% и более.
- увеличение толщины северной стены здания на 10-15 см.
- расположение материалов в убывающей последовательности по теплопроводности от внутренней поверхности к наружной.

Использование легких ограждающих конструкций позволяет снизить сметную стоимость зданий на 5-12% и уменьшить массу в 2-4 раза, снизить трудоемкость монтажа на 25-40%.

9.3. Тепловая изоляция трубопроводов, зданий и сооружений

Изоляционные свойства материала характеризуются значением теплопроводности λ , измеряемой в $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Хороший изолятор – это материал, у которого низкое значение теплопроводности. Среди свойств, благодаря которым пенополиуретаны (ППУ) широко используются в изоляции труб для централизованного теплоснабжения, прежде всего следует назвать высокую механическую прочность, хорошую термостойкость, возможность заполнения узких пространств, низкое водопоглощение.

Так как полиуретановая пена является превосходным изоляционным материалом, ее применение позволяет эффективно снизить потери тепла во время транспортировки горячей воды или пара в предизолированных трубах централизованного теплоснабжения.

Пенополиуретан содержит от 92 до 98% закрытых пор, которые заполнены изоляционными газами. Только от 8 до 2% пенополиуретанов включают твердый полимер. Содержание твердого полимера определяется плотностью ППУ: чем выше плотность ППУ, тем выше процент твердого полимера. Закрытые поры заполнены газом, который образуется во время производства полиуретановой пены.

Существует возможность воздействия на структуру пор путем использования различных вспенивающих агентов. Это влияет на термостойкость пены, так как структура газа определяет конечную

термическую проводимость ППУ до 60%. Можно снизить термическую проводимость ППУ и путем заполнения пор лучшим изоляционным газом.

Качество теплоизоляции является важнейшим параметром энергопотребления здания. Коэффициент теплопередачи должен находиться в пределах от 0,3 Вт/(м²·К) до 0,2 Вт/(м²·К), что соответствует увеличению средней толщины утепляемого слоя от 15 до 20 см. Этих значений можно добиться во всевозможных конструкциях зданий и сооружений, используя следующие подходы:

1) кладка с утепляющим слоем 15–20 см и воздушной прослойкой под наружной оболочкой;

2) двойная стена с толщиной утепляющего слоя 15 см из пористого наполнителя;

3) однослойная кладка из низкотеплопроводного материала, оштукатуренная с двух сторон (например, прессованный соломенный или газобетонный блок минимальной толщиной 49 см).

Среди теплоизоляторов-наполнителей существуют определенные отличия, например, широко используемый пенопласт не вполне безопасен. Предпочтение следует отдавать природным, экологически чистым материалам (аглопорит, керамзит, перлит и др.), которые получают из отходов производства при разработке карьеров, например суглинки.

9.4. Изоляционные характеристики остекления и стеклопакеты

В идеале заполнения оконных проемов должны обладать такими же характеристиками по защите от шума, потерям тепла и прочности, как и стеновые ограждающие конструкции, обеспечивая при этом необходимую освещенность, комфортное проветривание, простоту и удобство в эксплуатации.

Соппротивление теплопередаче применяемых окон должно быть не ниже установленного в Республике Беларусь показателя $R_0 > 0,6$ (м²·К)/Вт (R_0 – величина, обратная коэффициенту теплопередачи). Это достигается обычными средствами: установкой рамы с двухслойным теплозащитным стеклом. Теплозащитные окна имеют специальный слой, не видимый глазом, но значительно уменьшающий потери тепла. Этот эффект увеличивается при наличии небольшого зазора между первым и вторым слоем; в таком случае расход тепла уменьшается почти в два раза. Окна в теплозащитном исполнении стоят на 15–20% дороже обычных, но затраты компенсируются экономией на отоплении. Оконная рама должна иметь утепляющий слой как с наружной, так и с внутренней стороны. Если этого нет, следует предусмотреть термическое разделение. Сейчас для заполнения оконных проемов широко применяются стеклопакеты. Стеклопакет представляет

собой изделие, состоящее из двух или более слоев стекла, соединенных между собой по контуру таким образом, что между ними образуются герметически замкнутые полости, заполненные обезвоженным воздухом или другим газом.

Сопротивление теплопередаче одного обычного стекла составляет примерно $0,17 \text{ (м}^2 \cdot \text{К) / Вт}$, а стеклопакета из двух обычных стекол – $0,36 - 0,39 \text{ (м}^2 \cdot \text{К) / Вт}$. Сопротивление теплопередаче трехстекольного окна с учетом материала, из которого оно изготовлено, может превышать $0,6 \text{ (м}^2 \cdot \text{К) / Вт}$. Наибольший эффект достигается при использовании в стеклопакете одного из стекол с селективным покрытием, способным отражать тепловые волны внутрь помещения и одновременно пропускать снаружи солнечное тепловое излучение. Только за счет применения в стеклопакете такого стекла, а также введения в межстекольное пространство более плотного, чем воздух, газа, например аргона, криптона или ксенона, можно добиться величины термического сопротивления, приближающейся к единице. Исследования показывают, что конструктивные решения окон, и прежде всего их стеклянной части, смогут способствовать достижению термического сопротивления теплопередаче, равного $1,8-2,0 \text{ (м}^2 \cdot \text{К) / Вт}$.

Традиционная технология изготовления стеклопакетов сводится к соединению на определенном расстоянии друг от друга двух или трех стекол. В качестве материала, обеспечивающего требуемое межстекольное расстояние, применяется алюминиевый перфорированный профиль коробчатого сечения (средник), внутрь которого засыпается зернистый осушитель воздуха – силикогель. Профиль крепится к стеклам с помощью бутиловой массы (внутренний шов), а по торцам образованного стеклопакета укладывается прочная полисульфидная масса (наружный шов). Методы производства стекло-пакетов постоянно совершенствуются. Например, известен метод, когда промежуточное пространство (средник) заполняется при помощи бутиловой резиновой ленты, упрочненной металлом. Необходимо отметить, что материал, из которого сделан средник, оказывает влияние на теплоизолирующие свойства краев стеклопакета.

9.5. Повышение эффективности систем отопления

Основной особенностью существующих систем отопления является то, что они рассчитаны на постоянный расход теплоносителя. Регулирование поступления теплоносителя в нагревательные приборы потребителей может привести к нарушению гидравлического режима системы отопления. Для предотвращения перегрева помещений в переходные периоды отопительного сезона (весной и осенью), а также разрегулирования системы отопления необходимо провести изменения схемы теплового узла, прежде чем

устанавливать индивидуальные средства регулирования (автоматические или ручные) в зданиях (у жильцов).

Рассмотрим пример такой системы отопления, удовлетворяющей вышеприведенным требованиям (рис. 4).

На тепловом узле должны быть установлены: запорная арматура (краны, задвижки); фильтры механической очистки; автоматические регуляторы температуры воды, подаваемой на каждый фасад здания, работающие в зависимости от температуры наружного и внутреннего воздуха (для этого система должна быть разделена на две половины: южную и северную): циркуляционный насос; регулятор расхода (давления). Трубы, задвижки и другие элементы должны быть изолированы.

В здании на радиаторах устанавливаются: индивидуальные средства регулирования (ручные либо термостатические вентили); счетчики-распределители тепла, предназначенные для оценки индивидуального энергопотребления.

Мероприятия по совершенствованию систем отопления представлены в табл. 4. Из таблицы видно, что наиболее эффективными являются автоматизация теплового узла и установка ручных регуляторов на каждом отопительном приборе, которые обеспечивают наименьший срок окупаемости затрат.

Для обеспечения надежной работы все системы должны проектироваться индивидуально, с предварительным энергетическим обследованием.

В последнее время получили распространение электронные системы регулирования. Типичная схема одной из них приведена на рис. 5.

Основными элементами таких систем являются блок регулирования, подмешивающий циркуляционный насос и регулирующий клапан. Они позволяют обеспечить суточное регулирование подачи теплоносителя в двух режимах. Их недостаток – отсутствие гибкости при программировании недельных и годовых циклов и отсутствие защиты от несанкционированного вмешательства в работу.

Одним из удобных, наиболее гибких по своим функциям устройств является семейство регуляторов ДИТ-541 и ДИТ-520, разработанных в НИПТИС Минстройархитектуры. Эти устройства выполнены на основе однокристалльных микроЭВМ. Они имеют программируемый календарь с возможностью учета выходных и праздничных дней и гибкое программирование режимов работы. Изменяя степень закрытия клапана, устройство регулирует температуру подаваемого в здание теплоносителя. Постоянство объема циркуляции теплоносителя достигается наличием циркулирующего насоса. Управляется и программируется устройство с помощью инфракрасного пульта ручного управления, что обеспечивает полную защиту от несанкционированного доступа. Датчики температуры, выполняемые на основе микросхем, позволяют вести опрос любого количества датчиков по трехпроводной линии. С помощью стандартного

интерфейса RS485 можно объединять устройства в сеть и программировать их работу с центральной ЭВМ. Устройство ДИТ-541 позволяет выполнять независимое регулирование трех контуров теплоснабжения.

На рис. 6 приведен график изменения температуры в помещениях в течение двух суток при автоматическом регулировании теплопотребления с учетом температурной инерционности здания. Для того чтобы температура в помещении соответствовала графику на рис. 6, график изменения теплоносителя, потребляемого системой отопления, должен иметь вид, приведенный на рис. 7. Из рис. 7 следует, что в течение суток есть интервал времени (Δt_1), когда система отопления не потребляет тепловой энергии, интервал времени (Δt_2), когда система потребляет только часть энергии по сравнению с режимом работы без регулирования, интервал времени (Δt_3), когда система отопления потребляет больше тепловой энергии, чем в обычном режиме.

Учитывая, что значительная часть отопительного сезона в Республике Беларусь имеет положительную температуру наружного воздуха, можно утверждать, что автоматическое регулирование расхода теплоносителя позволит сэкономить не менее 15% тепловой энергии за отопительный сезон. Для зданий, которые потребляют за отопительный сезон 1000 и более Гкал тепловой энергии, при нынешней стоимости энергоресурсов окупаемость программируемых устройств автоматического управления

теплоснабжением составляет 2–3 месяца отопительного сезона.

9.6. Автономные энергоустановки

В последнее время широко применяются газовые отопительные приборы для квартир, особняков, офисов, магазинов, мастерских, коммунальных сооружений. Приборы монтируются на стену и подключаются к дымоходу, благодаря чему производится нагрев воды и отопления зданий. Преимущества таких приборов – энергоэкономичность, рентабельность, равномерное отопление, чистота и удобство в эксплуатации, простота в обращении.

Постоянная температура отопительной воды обеспечивается термостатом. Эффективная циркуляция и давление воды с помощью насоса дают возможность применять трубы небольшого диаметра. Тепловая энергия сожженного на горелке газа передается воде, циркулирующей от насоса через теплообменник и через радиаторы, подключенные к нему, а затем передается воздуху в помещение.

На ЗАО "Амкодор" (Республика Беларусь) производят эффективные системы отопления, основанные на отоплении мягким инфракрасным излучением, которые, в отличие от конвективного способа обогрева, позволяют снизить на 90% потребление энергоресурсов. Работа систем основана на принципе преобразования теплоты сгорания газа в тепловые лучи без промежуточных теплоносителей (вода, пар). Источниками инфракрасного излучения служат специальные теплоизлучающие трубы,

внутри которых циркулируют высокотемпературные газы низкого давления. В последние годы в Республике Беларусь различными фирмами производится большое количество энергоэкономичных газогенераторных установок, котлоагрегатов, которые предназначены для теплоснабжения зданий и сооружений, получения горячей воды и пара в различных технологических процессах и для бытовых нужд. Основным топливом для них служат отходы деревообработки, мелочь торфяных брикетов, щепа, кора, лигнин и другие твердые горючие материалы. Преимуществом вышеуказанных агрегатов является их высокий КПД, низкая стоимость, простота конструкций и обслуживания, а также возможность использования дешевых местных видов топлива и отходов промышленности.

9.7. Бытовые приборы регулирования и учета потребляемых энергоресурсов

Не имея счетчика, нельзя судить, насколько эффективны мероприятия по снижению энергопотребления. Сам по себе счетчик не снижает потребление, однако создает стимул к сбережению энергии. За счет установки счетчика, а также правильных расчетов с поставщиком энергии, по результатам анализа статистических и фактических данных, снижается сумма оплаты за тепловую энергию на 20–30%.

В настоящее время получили распространение приборы для учета расхода жидкости, газа и тепла. Ввиду особой актуальности бытового энергосбережения и связанного с ним учета энергоресурсов в Республике Беларусь обеспечено их производство. Так, в Минске среднесуточная подача воды составляет 770 000 м³, а установленная электрическая мощность оборудования для подачи воды – около 50 000 кВт, удельный расход электроэнергии на "производство" 1 м³ воды равен 0,6 кВт·ч. При потреблении воды без учета считается, что каждый житель потребляет в день 120 л горячей и 180 л холодной воды. Для учета расхода воды применяют крыльчатые и турбинные водосчетчики, технические требования которых изложены в ГОСТах 60019-83, 14167-83, 8156-83.

Для учета расхода газа в квартирах и на дачах применяются бытовые счетчики ротационного типа РЛ-2,5, РЛ-4, РЛ-6, которые обеспечивают надежную работу при пульсирующих давлениях газа.

Известно, что чрезмерный расход тепла сказывается на себестоимости продукции, поэтому эффективный учет тепла возможен с помощью теплосчетчиков. Среди них известен "Струмень-ТС400", работа которого основана на электромагнитном принципе без механических устройств.

Данные теплосчетчики используются в системах отопления и горячего водоснабжения. В комплект входят расходомер, термосопротивления и процессор. Диапазон измерения температур теплоносителя 5–180 °С, диапазон измерения расхода теплоносителя 0,2–120 м³/ч, диаметр условного прохода трубы 20–80 мм.

9.8. Эффективное использование электробытовых приборов

Выбор и использование наиболее экономичных электроприборов позволяет существенно сократить потребление электроэнергии.

Электроплиты. Они являются самым энергоемким потребителем электроэнергии. Годовое потребление электроэнергии одной электроплитой составляет 1200–1400 кВт·ч. Их применение вместо газовых плит и плит на твердом топливе существенно улучшает санитарно-гигиенические условия на кухне и в доме (отсутствие угарного газа). Для экономии энергии необходима своевременная смена неисправных конфорок, для улучшения теплопередачи – плотный контакт используемых для нагрева поверхностей, применение специальной посуды и другие мероприятия.

Холодильники. Следует отметить, что компрессорный холодильник в зависимости от объема потребляет 250–450 кВт·ч, абсорбционный – 500–1400 кВт·ч в год. Экономичность их использования зависит от режима работы и соблюдения правил эксплуатации. Бытовые холодильники рассчитаны на работу в сухом, отапливаемом помещении при температуре окружающего воздуха 16–32°C.

При эксплуатации холодильника можно сэкономить до 2-3% электроэнергии, если вовремя его размораживать. В странах Европейского Союза все холодильники подразделяются на 7 категорий экономичности: А, В, С, D, E, F, G. Холодильники А, В являются высокоэкономичными и потребляют в год 300 кВт·ч электроэнергии. Холодильник категории G имеют самую низкую эффективность. Холодильники минского завода «Атлант» соответствуют средневропейскому стандарту и отвечают категории С. Имея ввиду, что в РБ на долю холодильников и морозильников приходится 30-40% общего расхода электроэнергии в быту и переход на выпуск холодильной бытовой техники категории А даст экономию около 170000 т. у. т.

Стиральные машины. Наиболее энергоэкономичными являются автоматические машины, включение и выключение которых производится по программе.

Утюги с регулированием температуры. Установлено, что оптимальная температура глажения для изделий из искусственного шелка 85–115°C, шерсти – 140–165, натурального шелка – 115–140, хлопчатобумажной ткани – 165–190, льняной – 190–230°C. Использование этих данных позволяет повысить производительность труда на 40–60%, а расход электроэнергии снизить на 20–25%.

Пылесосы. Для эффективной работы пылесоса большое значение имеет хорошая очистка пылесборника, что улучшает тягу воздуха.

Бытовые кондиционеры. Для внутриквартирного использования часто применяется кондиционер типа БК-1500, который эффективно работает при закрытых форточках и дверях.

Радиотелевизионная аппаратура. Для ее эффективной работы необходимы своевременное охлаждение и систематическая очистка от пыли.

2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1. Тематический план лабораторных занятий по дисциплине «Основы энерго- и ресурсосбережения» для специальности 1–74 06 01 Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства

№ п.п.	Тема лабораторного занятия	Количество часов для форм обучения	
		дневная, сокр. срок обучения	заочная, сокр. сроки обучения
1	Топливо-энергетические ресурсы Республики Беларусь	1	-
2	Производство энергии традиционными методами	2	1
3	Производство энергии на основе возобновляемых источников	2	1
4	Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР)	4	-
5	Управление энергосбережением и энергопотреблением	2	-
6	Энергосбережение в общепроизводственных процессах и в быту	2	-
7	Ресурсосбережение в сельскохозяйственном производстве		1
8	Организационно-техническое обеспечение ресурсосберегающих технологий производства кормов для животноводства		1
9	Резервы энергосбережения в сельскохозяйственном производстве	1	-
	Итого:	14	4

2.2. Методические указания по выполнению лабораторных работ

Тема 1. Топливо-энергетические ресурсы Республики Беларусь

Тема представлена в примерном конспекте лекций.

Тема 2. Производство энергии традиционными методами

Тема 3. Производство энергии на основе возобновляемых источников

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Конструкция и принцип действия солнечных батарей

Цель работы: изучить устройство и принцип действия фотоэлектрических преобразователей и солнечных батарей.

При выполнении работы необходимо:

- 1) изучить назначение, классификацию, устройство и принцип действия фотоэлектрических преобразователей энергии;
- 2) рассмотреть устройство и принцип действия солнечных батарей;
- 3) экспериментально исследовать процесс солнечной генерации электрической энергии;
- 4) составить отчет о выполненной работе.

Материальное обеспечение: плакаты, лабораторная установка, солнечная батарея JKM195M-72 (RID GmbH, Германия), люксметр ТКА-ПКМ, амперметр, вольтметр.

1. ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ

Фотоэлектрические преобразователи, или солнечные элементы (*solar cells*), – это полупроводниковые изделия, преобразующие солнечное излучение в электрическую энергию за счет внутреннего фотоэффекта.

В настоящее время наибольшее распространение получили кристаллические кремниевые (80–85 % мирового рынка) и тонкопленочные солнечные элементы (менее 10 % рынка).

Самой важной и дорогой частью солнечного элемента является кремниевая пластина. Она может быть как поликристаллической, так и монокристаллической.

Поликристаллические пластины (рис. 1, а) изготавливают из полуфабриката высокой степени очистки, состоящего из мелких кристаллитов кремния. Такие пластины имеют правильную квадратную форму. Более простая технология производства поликристаллических солнечных элементов (*multi-Si*) обеспечивает их меньшую стоимость, однако неоднородная атомная структура снижает эффективность генерации электроэнергии (12–20 %) и сокращает срок их службы по сравнению с монокристаллическими.

Монокристаллические пластины (рис. 1, б) представляют собой фрагмент одного кристалла кремния. Кристалл выращивают в виде цилиндрических слитков, из которых проволоочной резкой получают псевдоквадратные пластины требуемой толщины. Такая форма обеспечивает рациональное использование кремния из слитка и лучшее заполнение поверхности будущего солнечного модуля (солнечной батареи). Эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую у монокристаллических солнечных элементов (*mono-Si*) составляет 20–25 %.

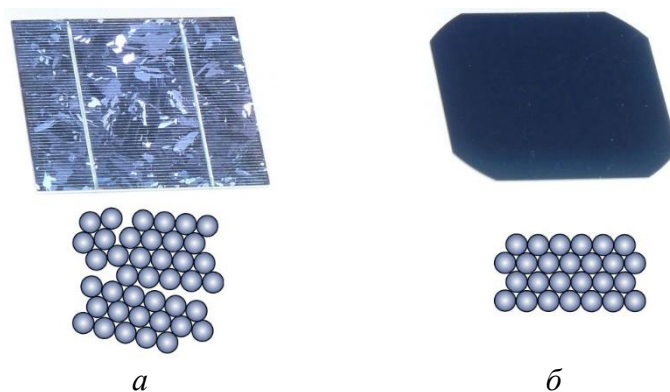


Рис. 1. Пластины солнечных элементов и структура атомов кремния:
а – поликристаллическая; б – монокристаллическая

После резки и последующей химической обработки пластины имеют гладкую поверхность, которая отражает существенную часть падающего на нее излучения. Так как для получения эффективных солнечных элементов важно преобразовать в электричество как можно больше солнечного света, то поверхность стараются сделать неровной на микроуровне. Эта операция называется текстурированием и выполняется последовательным травлением пластин в кислотных и щелочных растворах.

Текстурированная поверхность представляет собой множество хаотично расположенных микропирамид (рис. 2, а). Излучение попадает на поверхность пирамиды и, отразившись от нее, направляется в глубь пластины, где вновь встречается с гранью соседней пирамидки (рис. 2, б). Таким образом, за счет создания текстурированной поверхности удастся снизить коэффициент отражения пластины с 35 до 11 %.

Ключевым элементом конструкции кристаллических кремниевых солнечных элементов является *p-n* переход. Полупроводник в зависимости от типа проводимости может быть *n*-типа (электронная проводимость) или *p*-типа (дырочная проводимость). При этом если на пластину полупроводника одного типа нанести слой другого типа, то место их контакта будет являться *p-n* переходом.

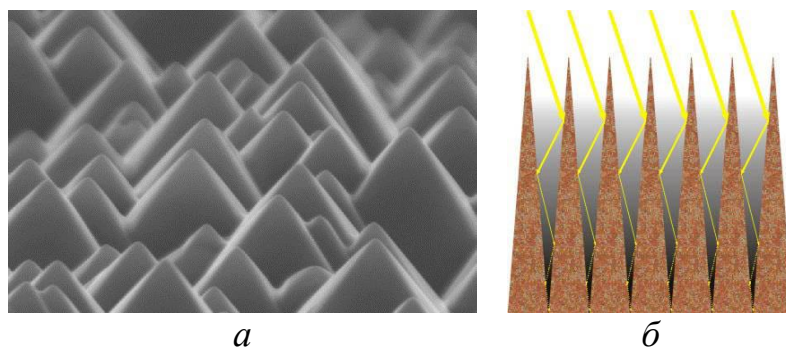


Рис. 2. Текстурирование кремниевых пластин:
 а – поверхность пластины; б – схема поглощения излучения

Одним из главных свойств p - n перехода является его способность быть энергетическим барьером для носителей тока, т. е. пропускать их только в одном направлении. На этом эффекте базируется генерация электрической энергии в солнечных элементах.

Фотоны солнечного света 1 (рис. 3), падающего на поверхность элемента, проникают внутрь пластины, где встречаются с атомами кремния и «выбивают» из них электроны. При этом одновременно образуется две заряженные частицы: отрицательный электрон e^- и положительная дырка – незаполненная валентная связь атома, которая проявляет себя как положительный заряд, численно равный заряду электрона.

Благодаря наличию p - n перехода в солнечном элементе электроны и дырки движутся во взаимно противоположных направлениях. Электроны беспрепятственно проникают через p - n переход и накапливаются в полупроводнике n -типа 4, который получает отрицательный заряд. Дырки не могут преодолеть p - n переход и вынуждены оставаться в полупроводнике p -типа 5, заряжая его положительно. Таким образом, между полупроводниками p - и n -типов образуется разность потенциалов, или электродвижущая сила (ЭДС), которая обеспечивает протекание постоянного тока от положительной тыльной 6 к отрицательной лицевой 2 контактной площадке при подключении солнечного элемента во внешнюю сеть 7.

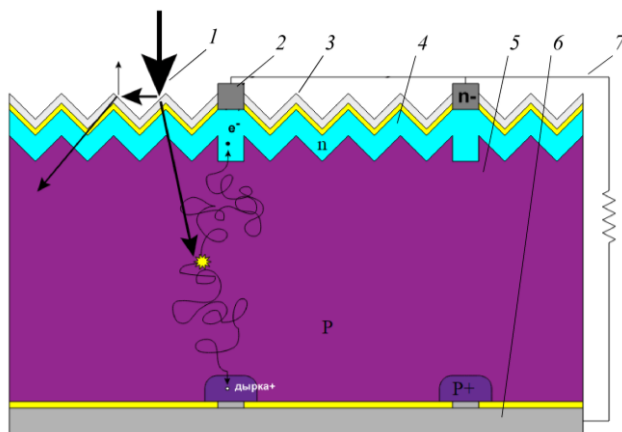


Рис. 3. Принцип работы солнечного элемента:
 1 – солнечное излучение; 2 – лицевая контактная площадка;

- 3 – антиотражающее покрытие; 4 – слой полупроводника *n*-типа;
5 – кремниевая пластина (полупроводник *p*-типа);
6 – тыльная контактная площадка; 7 – внешняя сеть

Для создания слоя полупроводника *n*-типа поверхность кремниевой пластины подвергают диффузии (насыщению) атомами бора или фосфора. В процессе диффузии, выполняемой в специальных печах при температуре около 800 °С, на пластинах толщиной 200 мкм формируется слой *n*-типа, проникающий на глубину всего 0,5 мкм, т. е. *p-n* переход залегает у самой поверхности солнечного элемента. Это сделано для того, чтобы носители заряда различных знаков, сгенерированные под действием излучения, как можно скорее попадали в зону влияния *p-n* перехода, иначе они вновь встретятся друг с другом и самокомпенсируются, не внося никакого вклада в генерацию электрического тока.

На рабочую поверхность солнечных элементов наносится антиотражающее покрытие 3 (см. рис. 3), уменьшающее отражение с 11 до 1–2 %.

Лицевая поверхность элементов служит для максимального поглощения излучения, падающего на нее. По этой причине контакт, расположенный на этой стороне солнечного элемента, выполняется в виде решетки, обычно состоящей из двух-трех широких контактных площадок и нескольких десятков тонких токособирающих линий, расположенных перпендикулярно к широким (рис. 4). Контактная решетка выполняется методом трафаретной печати серебросодержащими пастами.

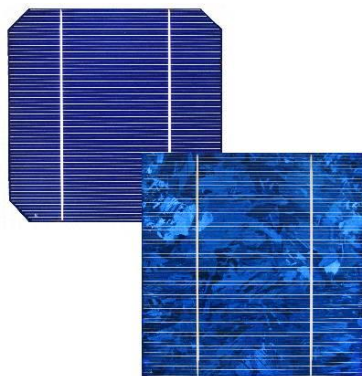


Рис. 4. Лицевая металлизация солнечного элемента

Важным моментом при нанесении лицевой металлизации является то, что *p-n* переход залегает на глубине около 0,5 мкм и металл серебряной пасты должен надежно войти в *n*-слой кремния, но при этом не достичь *p*-слоя, иначе будет иметь место электрический контакт между двумя типами полупроводника и солнечный элемент окажется короткозамкнутым.

На тыльную поверхность солнечного элемента наносится два типа металла: сплошной слой алюминия и точечная серебряная металлизация, выполняющая функцию контакта.

После нанесения каждого слоя пасты солнечный элемент сушат в специальных печах, а после нанесения всех трех слоев (один на лицевой и два на тыльной стороне) он отправляется на завершающий обжиг.

Кроме рассмотренных выше кристаллических кремниевых элементов в последнее время активно развивается производство тонкопленочных солнечных элементов, в составе которых содержится всего около 1 % кремния по отношению к массе подложки. Из-за меньшего расхода материалов на поглощающий слой такие элементы дешевле в производстве, но пока имеют меньшую эффективность (менее 20 %) и неустранимую деградацию характеристик во времени.

Мировой рекорд эффективности прямого преобразования солнечной энергии в электрическую принадлежит французским компаниям Soitec и CEA-Leti, чей многослойный солнечный элемент обеспечил 46 % КПД.

2. СОЛНЕЧНЫЕ БАТАРЕИ

Солнечные батареи состоят из набора солнечных элементов (фотоэлектрических преобразователей), которые непосредственно преобразуют солнечную энергию в электрическую. Установка нескольких солнечных батарей на одно основание называется солнечной панелью (рис. 5).

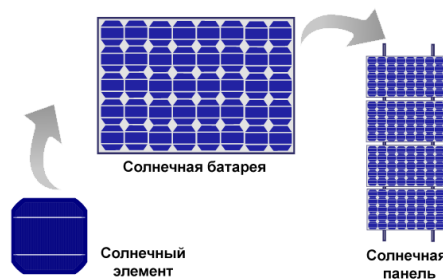


Рис. 5. Структура солнечной генерации

В составе батареи солнечные элементы соединяются последовательно и параллельно. При последовательном соединении элементов увеличивается выходное напряжение, при параллельном – ток. Для получения солнечной батареи с требуемыми параметрами тока и напряжения комбинируют оба способа соединения (рис. 6).

Номинальные значения напряжения (U_{SB} , В) и силы электрического тока (I_{SB} , А) солнечной батареи определяются формулами:

$$U_{SB} = n \cdot U_{PE}; \quad (1)$$

$$I_{SB} = m \cdot I_{PE}, \quad (2)$$

где U_{PE} – номинальное напряжение солнечного элемента, В;

I_{PE} – номинальная сила тока солнечного элемента, А;

n – количество последовательно соединенных солнечных элементов в одной цепочке;

m – количество параллельно соединенных цепочек.

Электрическая мощность (P_{SB} , Вт) солнечной батареи определяется по следующей формуле:

$$P_{SB} = U_{SB} I_{SB} \cdot \quad (3)$$

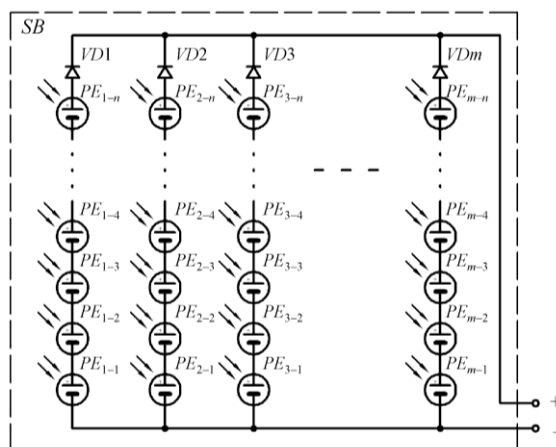


Рис. 6. Электрическая схема солнечной батареи

При затенении поверхности батареи солнечные элементы прекращают вырабатывать электрический ток и превращаются в его потребители. Они потребляют энергию из внешней сети, например, накопленную в аккумуляторе, что приводит к их перегреву и выходу из строя. Для предотвращения этого цепочки солнечных элементов шунтируются диодами $VD1...VDM$ (см. рис. 6), которые допускают протекание электрического тока только в одном направлении.

Конструкция солнечной батареи (рис. 7) должна обеспечивать уменьшение световой деградации элементов, эффективное использование света и механическую прочность. Первое достигается применением специального стекла, поглощающего ту часть спектра солнечного света, которая заведомо не будет преобразована в электричество и лишь негативно повлияет на срок службы элементов. Поверх закаленного стекла наносится пленка ЭВА (этиленвинилацетатная пленка), уменьшающая светопреломление и боковое отражение.

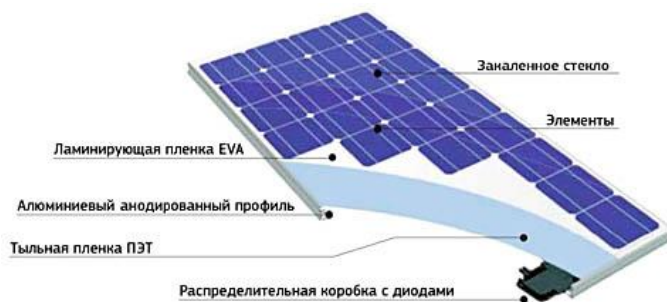


Рис. 7. Конструкция солнечной батареи

Солнечные элементы, стекло, пленка ЭВА укладываются на ПЭТ-подкладку и соединяются в единый «пирог» без воздушных зазоров, который помещается в металлический корпус, служащий также теплоотводом. Корпус тщательно герметизируется.

Особенностью солнечных батарей является то, что на эффективность их работы влияют место установки, время суток, пора года, погода и т. п. Поэтому для корректного сравнения различных моделей между собой необходимо стандартизировать условия измерения их параметров.

Солнечное излучение характеризуется удельной мощностью на единицу площади поверхности. Этот параметр отличается в различных регионах Земли, причем максимальная мощность солнечного излучения на нашей планете превышает 1300 Вт/м^2 , но для удобства за стандартное значение для солнечных батарей принято 1000 Вт/м^2 .

Другим важным параметром является распределение солнечного излучения по длинам волн, т. е. спектральный состав света. Для его характеристики введено понятие «воздушная масса» *AM* (*Air Mass*). Спектральный состав излучения с воздушной массой *AM* 0 соответствует спектру солнечного света за пределами атмосферы Земли; *AM* 1 – излучению на поверхности Земли при условии, что Солнце находится строго над точкой наблюдения и лучи света проходят сквозь атмосферу планеты по кратчайшему пути. Для солнечных батарей стандартом является *AM* 1,5, соответствующий солнечному излучению, прошедшему через 1,5 атмосферы Земли.

Значительное влияние на работу солнечных батарей оказывает температура, увеличение которой на 1°C снижает эффективность генерации электроэнергии на 0,5 %. Обычно характеристики батарей задаются для температуры 25°C .

Стандартные условия, в которых обеспечиваются заявленные технические характеристики солнечных батарей, обозначаются аббревиатурой *STC* (*Standard Test Conditions*) и указываются в следующем виде: *STC*: 1000 W/m^2 ; *AM* 1,5; 25°C .

Технические характеристики солнечных батарей включают следующие параметры:

- номинальная мощность, Вт;
- номинальное напряжение, В;
- номинальная сила тока, А;
- напряжение холостого хода (максимальное напряжение), В;
- сила тока короткого замыкания (максимальная сила тока), А;
- рабочий диапазон температур, $^\circ\text{C}$;
- масса, кг;
- размеры, мм;
- стандартные условия (*STC*).

Солнечные батареи выпускаются следующих кондиций: *Grade A*, *Grade B*, *Grade C* и *Ungrade* (некондиция). В зависимости от кондиции мощность солнечной батареи к концу срока службы падает на величину: до 5 %, 5–30 % и свыше 30 % соответственно. Срок службы солнечных батарей не ре-

гламентирован стандартом, поэтому производители устанавливают его по своему усмотрению: 5, 10, 15 и 25 лет.

3. ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА СОЛНЕЧНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Лабораторная установка (рис. 8) для изучения процесса солнечной генерации электрической энергии состоит из солнечной батареи SB (модель JKM195M-72, RID GmbH, Германия), амперметра PA , вольтметра PV , выключателей $SB0 \dots SB4$, ламп накаливания $HL_{1-1} \dots HL_{4-4}$.

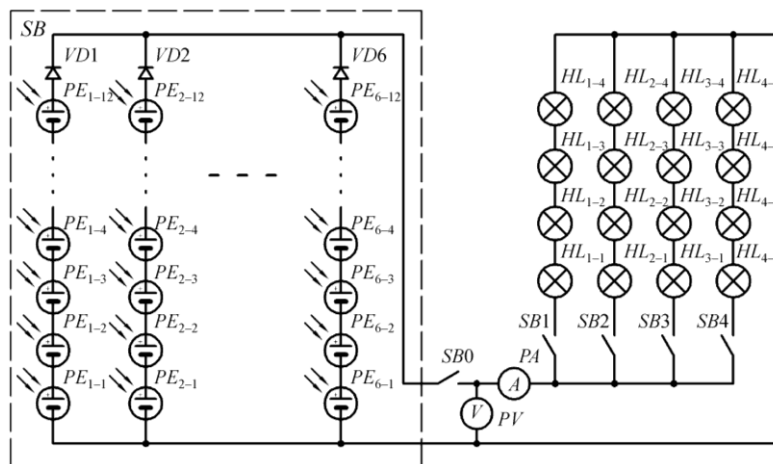


Рис. 8. Электрическая схема лабораторной установки

Солнечная батарея имеет 72 фотоэлемента $PE_{1-1} \dots PE_{6-12}$, соединенных в 6 цепочек по 12 элементов в каждой.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией и техническими характеристиками солнечной батареи, определить тип фотоэлементов.

2. Люксметром ТКА-ПКМ замерить освещенность ($E_{v1} \dots E_{v5}$, лк) лицевой поверхности солнечной батареи в пяти точках (четыре по углам и одна в центре батареи), рассчитать среднее значение $\overline{E_v}$.

3. Замерить напряжение (U_{SB} , В) и силу электрического тока (I_{SB} , А) при работе солнечной батареи на различных уровнях нагрузки ($1/4$, $1/2$, $3/4$, полная) и холостом ходе. Уровень нагрузки задается выключателями $SB1 \dots SB4$.

4. Выполнить необходимые расчеты.

Световой поток (лм)

$$\Phi_v = \overline{E_v} ab, \quad (4)$$

где $\overline{E_v}$ – средняя освещенность солнечной батареи, лк;

a, b – длина и ширина солнечной батареи, м.

Мощность световой энергии (Вт)

$$Q_v = \frac{\Phi_v}{K_v}, \quad (5)$$

где K_v – коэффициент световой эффективности излучения, равный 683 лм/Вт.

Электрическая мощность (Вт) солнечной батареи

$$P_{SB} = U_{SB} I_{SB}. \quad (6)$$

Коэффициент преобразования световой энергии в электрическую

$$\eta_{SB} = \frac{P_{SB}}{Q_v}. \quad (7)$$

5. Занести результаты измерений и расчетов в таблицу, построить графические зависимости $U_{SB}(I_{SB})$ и $\eta_{SB}(P_{SB})$.

Результаты измерений и расчетов

	U_{SB} , В	I_{SB} , А	P_{SB} , Вт	η_{SB}	E_{v1} , ЛК	E_{v2} , ЛК	E_{v3} , ЛК	E_{v4} , ЛК	E_{v5} , ЛК	$\overline{E_v}$, ЛК	Φ_v , ЛМ	Q_v , Вт
Холостой ход (все выключатели отключены)												
$\frac{1}{4}$ (1 включен)												
$\frac{1}{2}$ (2 включены)												
$\frac{3}{4}$ (3 включены)												
Полная (4 выключателя включены)												

Тема 4. Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР)

Тема 5. Управление энергосбережением и энергопотреблением.

Темы 4 и 5 представлены в примерном конспекте лекций.

Тема 6. Энергосбережение в общепроизводственных процессах и быту

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 Исследование рабочих параметров ветроэнергетической установки

Цель работы: изучить различные типы ветрогенераторных установок и режимов их работы.

Содержание работы:

1. Изучить назначение, устройство и принцип работы ветроэнергетических установок.
2. Ознакомиться с правилами эксплуатации лабораторной установки.
3. Провести опытные испытания и произвести расчет необходимых показателей.
4. Составить отчет.

Материальное обеспечение: методические указания по выполнению работы, лабораторный стенд.

ВВЕДЕНИЕ

Выполнение лабораторной работы по исследованию рабочих параметров ветроэнергетической установки способствует развитию у студентов навыков самостоятельной работы, углубляет и закрепляет теоретические знания, полученные в результате изучения теоретического курса дисциплины «Основы энерго- и ресурсосбережению».

Лабораторная работа позволяет проверить научно-теоретические положения отдельных явлений, способствуют более глубокому их пониманию, развивают наблюдательность, внимание, память, прививают навыки в проведении измерений, учат пользоваться измерительными приборами, знакомят с оборудованием, аппаратурой, с техникой практического эксперимента.

Подготовка теоретического материала данной работы и окончательная обработка полученных данных может выполняться студентом вне лабораторного времени.

Произведя все необходимые вычисления и оформив отчет, студент отчитывается по лабораторной работе.

Для получения зачета по лабораторной работе необходимо знать цель работы, порядок ее выполнения, понимать процессы и явления, которые изучаются в данной работе, знать принципиальную схему эксперимента и принцип действия приборов.

Основные требования безопасности при выполнении работ в аудитории.

При работе с электрическими установками необходимо помнить, что электрический ток при неосторожном обращении может вызвать серьезные, а иногда и смертельные поражения.

Сила тока, проходящего через организм, зависит от приложенного напряжения и от сопротивления того участка тела, через который проходит ток. Сопротивление, в свою очередь, зависит от состояния кожи. Так, чистые и грязные, сухие и влажные руки обладают различным сопротивлением.

Необходимо помнить, что предел безопасной величины переменного тока с частотой 50 Гц равен 10 мА. При прохождении через организм тока 50 мА мышцы судорожно сжимаются и человек не может оторвать руки от провода. Ток свыше 100 мА вызывает смертельные поражения. Безопасным можно считать напряжение меньше 12 В. Напряжение в городской сети, равное 220 В, крайне опасно, и при работе с ним необходимо соблюдать следующие правила:

1. Приступать к работе с электрическими установками только после детального ознакомления с их устройством и схемой. Во время выполнения работы быть внимательным.

2. При работе с электрическими схемами руки должны быть сухими.

3. Собирать электрическую схему только проводами с исправной изоляцией.
4. Подключение схемы к источнику тока проводить только с разрешения преподавателя.
5. Переключение проводов и замена деталей схемы при включенном напряжении **категорически запрещается**.
6. Прикасаться к тумблерам и ручкам управления различных приборов разрешается одной рукой, не держась другой рукой за корпус прибора.
7. Не оставлять без наблюдения схему, находящуюся под напряжением.
8. При появлении запаха гари, треска или обнаружении искрящегося контакта необходимо немедленно отключить напряжение в схеме и заявить об этом преподавателю или лаборанту.
9. По окончании работы отключить лабораторную установку от источника тока и привести в порядок рабочее место.
10. При несоблюдении правил охраны труда студент отстраняется от работы.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Ветер представляет собой движение воздушных масс земной атмосферы, вызванное перепадом температуры в атмосфере из-за неравномерного ее нагрева солнцем. Устройства, обеспечивающие преобразование энергии ветра в полезную механическую, электрическую или тепловую энергии, называются ветроэнергетическими установками (ВЭУ).

Энергия ветра на Земном шаре оценивается в 175-219 тыс. ТВт ·ч в год. Это примерно в 2,7 раза больше суммарного расхода энергии на планете. Постоянные воздушные течения к экватору со стороны северного и южного полушарий образуют систему пассатов. Существуют периодические движения воздуха с моря на сушу и обратно в течение суток (бризы) и года (муссоны). Полезно может быть использовано лишь 5% указанной величины энергии ветра. Используется же значительно меньше. Выявим причины этого и перспективы развития ветроэнергетики.

Наиболее эффективный способ утилизации энергии ветра – производство электроэнергии. В ветроэнергетической установке (ВЭУ) кинетическая энергия движения воздуха превращается в энергию вращения ротора генератора, который вырабатывает электроэнергию. Выходная мощность установки пропорциональна площади лопастей ветрового ротора и скорости ветра в кубе. Поэтому ВЭУ большой мощности оказываются крупногабаритными, ведь скорость ветра в среднем бывает небольшой. Для защиты от разрушения сильными случайными порывами ветра установки проектируются со значительным запасом прочности. Трудности в использовании ВЭУ связаны с непостоянством скорости ветра. Приходится управлять частотой вращения ветроколеса и согласовывать ее с частотой вращения электрогенератора. Кроме того, в периоды безветрия электроэнергия не производится. Для исключения перерывов в электроснабжении ВЭУ должны иметь аккумуляторы энергии.

Крупномасштабное применение ВЭУ в каком-то одном районе может вызвать значительные климатические изменения, испортить ландшафт. ВЭУ создают шум и электромагнитные помехи.

Территория Республики Беларусь находится в умеренной ветровой зоне. Стабильная скорость ветра составляет 4-5 м/с и соответствует нижнему пределу устойчивой работы отечественных ВЭУ. Это позволяет использовать лишь 1,5-2,5% ветровой энергии. К зонам, благоприятным для развития ветроэнергетики, со среднегодовой скоростью ветра выше 5-5,5 м/с, относится 20% территории страны. Поэтому ветроэнергетику можно рассматривать в качестве вспомогательного энергоресурса, решающего местные проблемы, например, отдельных фермерских хозяйств. По некоторым оценкам, возможная установленная мощность ВЭУ к 2021 г. в республике составляет 217,87 МВт.



Рис. 1. Суммарная произведенная электрическая энергия от возобновляемых источников энергии, млн. кВт·ч

Ветроэнергетическая установка представляет собой комплекс оборудования, в состав которого входят:

- ветрогенератор,
- аккумулятор,
- инвертор,
- коммутационное оборудование, кабель, прочие устройства.

Принцип действия ветроустановок основан на использовании энергии ветра. Поток воздействует на лопасти рабочего колеса, приводя их во вращение. Оно передается на генератор, производящий электроток. Генератор заряжает аккумуляторы, напряжение с которых подается на инвертор, создающий переменный ток 220 В 50 Гц, необходимый для потребителей.

Существуют отдельные ветряки, питающие насосы или иные несложные устройства, которые подают напряжение напрямую на потребляющий прибор. Но, при возникновении нештатных ситуаций, например, внезапном уси-

лении ветра, потребитель может выйти из строя вследствие резкого скачка напряжения.



Рис. 2. Схема ветроэнергетической установки

Максимальное использование энергии ветрового потока согласно расчетам, **не может превышать 59,3%**, а реальное использование намного ниже и составляет от 10%.

Ветровые установки классифицируются по двум основным признакам – геометрии ветрового колеса и ориентации оси вращения ветрового колеса относительно направления ветра. Установки, использующие подъемную силу (лифт-машины), имеют, как правило, линейную скорость концов лопастей ветрового колеса больше скорости ветра.

Установки, использующие силу лобового сопротивления (драг-машины), как правило, вращаются с линейной скоростью, меньшей скорости ветра.

Принципиальным отличием этих двух типов конструкции является необходимость ориентирования горизонтальных устройств по направлению ветра и нетребовательность к этому вертикальных ветряков. Кроме того, для горизонтальных устройств обязательно наличие высокой мачты, так как расположение на высоте обеспечивает более интенсивное воздействие потоков ветра на ротор. Вертикальные конструкции в подъеме над уровнем земли нуждаются в меньшей степени.

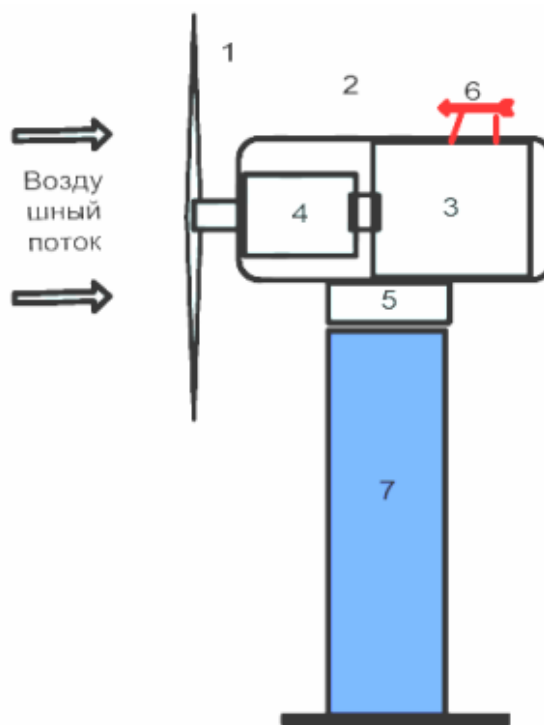


Рис. 3. Конструкция ветроэлектрической установки:

1 - ветродвигатель (ветроколесо); 2 – ветроголовка; 3 – генератор; 4 – редуктор; 5 - поворотная платформа; 6 - измерительное устройство; 7 - мачта ВЭУ содержит ветротурбину и электрогенератор, связанный с валом ветротурбины непосредственно или через редуктор.

При этом, эффективность горизонтальных ветряков в целом выше, чем у вертикальных устройств. Это происходит потому, что лопасти вертикальных роторов испытывают как полезное воздействие на рабочие части, так и противодействующие нагрузки на обратные стороны. Снижение уравнивающего воздействия потока на обратные стороны лопастей является основной задачей конструкторов, пытающихся разработать наиболее удачную форму рабочего колеса.

Горизонтальные ветрогенераторы

Установки с горизонтальной осью вращения имеют практически одну конструкцию. Они представляют собой горизонтальную ось с хвостом и ротором на противоположных концах. Ось имеет возможность свободного вращения вокруг вертикальной оси, необходимое для установки ротора по направлению ветра. Это происходит автоматически, при помощи хвоста. Ротор представляет собой род пропеллера, вращающегося при воздействии ветрового потока на лопасти. Разные модификации горизонтальных установок имеют от одной до трех лопастей и более.

Ветрогенератор, устроенный по типу парусника

Тарелкообразная конструкция под напором воздуха приводит в движение поршни, которые активируют гидросистему. Как результат, происходит трансформация физической энергии в электрическую.

Во время работы установка не шумит. Высокие показатели мощности. Легко управляемая.



Рис. 4. Ветрогенератор, устроенный по типу парусника

Летающий ветрогенератор-крыло

Используется без мачты, генератора, ротора и лопастей. В сравнении с классическими конструкциями, которые функционируют на небольшой высоте при непостоянной силе ветра, а сооружение высоких мачт дело трудоемкое и дорогое, «крыло» таких проблем не имеет.



Рис. 5. Летающий ветрогенератор-крыло

Его запускают на высоту 550 метров. Выработка электрической энергии составляет 1 мВт в год. Производителем «крыла» является компания Makani Power.

Недостатки ветрогенераторов – в необходимости ориентировать их на направление ветра. Постоянное перемещение снижает скорость вращения, что понижает его производительность.

Вертикальные ветрогенераторы

Ветрогенераторы вертикальных конструкций имеют меньшую эффективность использования потока ветра, но с точки зрения эксплуатации они намного предпочтительнее.

Их преимущества:

- нет нужды ориентировать ротор по направлению ветра;
- устанавливать устройство на высокую мачту необязательно, так как большой разницы в эффективности нет;
- устройства имеют более простую конструкцию, что удобнее при самостоятельном изготовлении.

Изначально вертикальные конструкции имели две лопасти, имеющие форму желоба, расположенные диаметрально вдоль оси вращения. Впоследствии появились другие варианты, имеющие большее количество лопастей или иную форму. На сегодня различных конструкций известно довольно много.

Генераторы с ротором Савониуса

Состоят из двух цилиндров. Постоянное осевое вращение и поток ветра не находятся в зависимости друг от друга. Даже при резких порывах он крутится с заданной изначально скоростью.

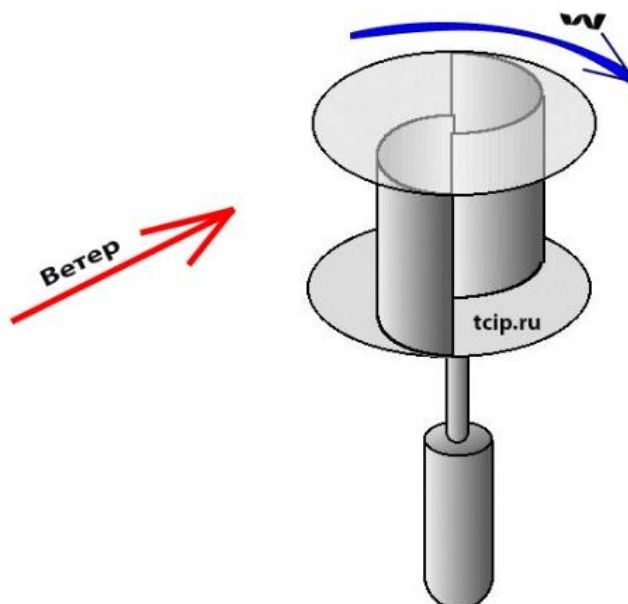


Рис. 6. Генератор с ротором Савониуса

Отсутствие влияния ветра на скорость вращения, бесспорно, – его хорошее преимущество. Плохо то, что он использует силу стихии не на всю ее мощь, а только на треть. Устройство лопастей в виде полуцилиндров позволяют работать лишь в четверть оборота.

Генераторы с ротором Дарье

Имеют две или три лопасти. Легко монтируются. Конструкция простая и понятная. Начинают работать от запуска вручную.

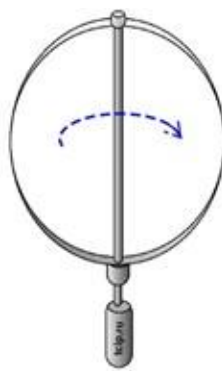


Рис. 7. Генератор с ротором Дарье

Минус – турбины не отличаются мощной работой. Сильная вибрация становится причиной сильного шума. Этому способствует большое количество лопастей.

Геликоидный ротор

Вращение ветрогенератора происходит равномерно благодаря закрученным лопастям. Подшипники не подвержены быстрому износу, что значительно продляет срок эксплуатации.

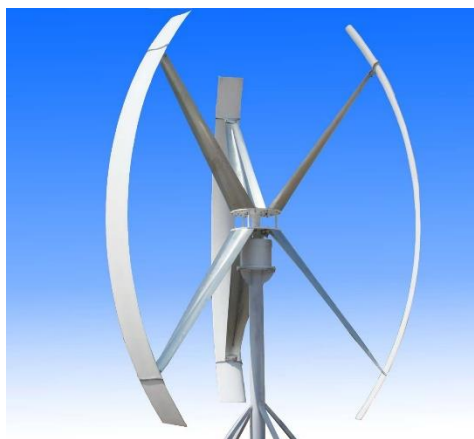


Рис. 8. Геликоидный ротор

Монтаж установки требует времени и сопряжен с трудностями сборки. Сложная технология изготовления отразилась на высокой цене.

Многолопастный ротор

Вертикально – осевая конструкция с большим количеством лопастей делает его чувствительным даже к очень слабому ветру. Эффективность таких ветрогенераторов очень высокая.



Рис. 9. Геликоидный ротор

Это мощный преобразователь. Энергия ветра используется максимально. Стоит он дорого. Недостаток – высокий звуковой фон. Может давать большой объем электротока.

Ортогональный ротор

Начинает вырабатывать энергию при скорости ветра в 0,7 м/сек. Состоит из вертикальной оси и лопастей. Не производит много шума, отличается красивым необычным дизайном. Срок службы несколько лет.



Рис. 8. Ортогональный ротор

Лопастей с большим весом делает его громоздким, что усложняет монтажные работы.

Положительные стороны вертикальных ветрогенераторов:

- Использование генераторов возможно даже при слабом ветре.
- Не настраиваются на ветровые потоки, так как не зависят от его направления.

- Устанавливаются на короткой мачте, что позволяет производить обслуживание систем на земле.
- Шум в пределах 30 дБ.
- Разнообразный, приятный внешний вид.
- Основной изъян – используют силу и энергию ветра не полностью из-за невысокой вращательной скорости ротора.

2. ИЗУЧЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Конструктивно стенд состоит из:

- испытательной установки;
- блока управления и измерения.

Блок управления состоит из корпуса, на котором установлены: источники питания, электронные платы, нагрузочные резисторы, лицевая панель и столешница интегрированного рабочего стола.

На лицевой панели блока управления изображена схема ветрогенератора, подключения нагрузки и измерительных приборов.

На лицевой панели также расположены:

- сетевой выключатель;
- функциональные переключатели;
- блок нагрузочных светильников (2 лампы);
- цифровые индикаторы (частота вращения генератора, напряжение, ток и мощность);
- силовой разъем подключения установки для испытаний.

Испытательная установка (рис. 9, 10) представляет собой передвижную раму, на которой установлено оборудование.



Рис. 9. Общий вид установки:

- 1 – блок управления; 2 – рама испытательной установки; 3 – центробежный вентилятор; 4 – кожух аэродинамического туннеля; 5 – стойка генератора; 6 – панель электрической коммуникации; 7 – инвертор; 8 – защитная сетка; 9 – разъем подключения питания инвертора

Воздушный поток создается центробежным вентилятором, регулируя скорость которого возможно изменять интенсивность потока. Применение ячеистого выпрямителя потока (на выходе вентилятора) снижает завихрения воздуха в туннеле. Воздух подается на крыльчатку ветрогенератора через выходное отверстие туннеля, что обеспечивает равномерность потока и увеличивает скорость в сечении крыльчатки.

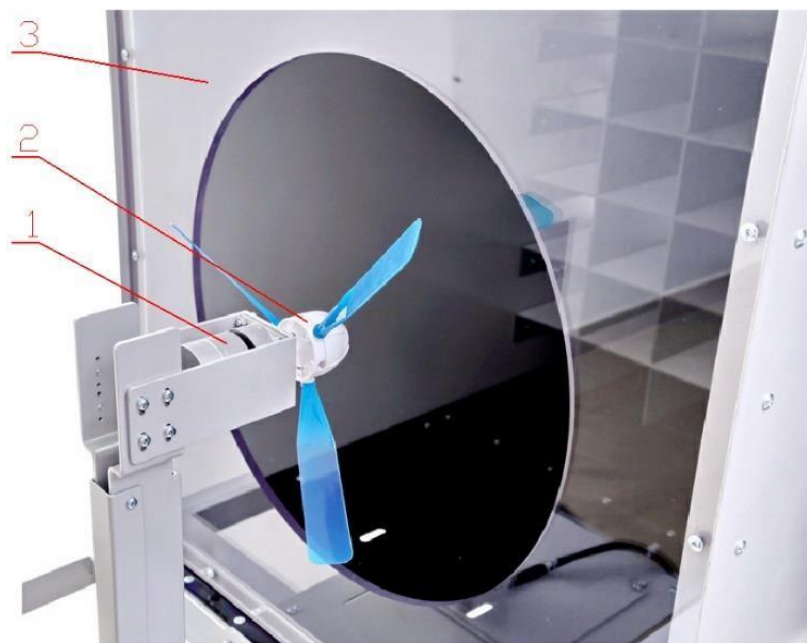


Рис. 10. Рабочий орган установки:
1 – генератор; 2 – крыльчатка генератора; 3 – выходное отверстие

Скорость вентилятора регулируется при помощи инвертора (рис. 11).



Рис. 11. Управление инвертором:
1 – панель управления инвертора; 2 – кнопка запуска; 3 – кнопка остановки; 4 – регулятор частоты; 5 – индикатор

Поток воздуха от вентилятора проходя по коробу выходит к крыльчатке ветрогенератора и приводит ее во вращение. Крыльчатка выполнена съемной.

Стенд комплектуется анемометром дифференциального давления с трубкой Пито (рис. 12). Прибор позволяет измерять скорость, давление и

температуру воздушного потока. Для выполнения замера трубка вводится в вентиляционный канал.



Рис. 12. Анемометр Testo 512 дифференциального давления с трубкой Пито:

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ВЕНТИЛЯТОРА

1. Подготовить установку к работе.
2. Включить вентилятор.
3. Задать частоту вращения вентилятора 5Гц.
4. С помощью анемометра измерить скорости воздушного потока в центре и по краям выходного отверстия (рис. 13). Значение скоростей занести в таблицу 1.

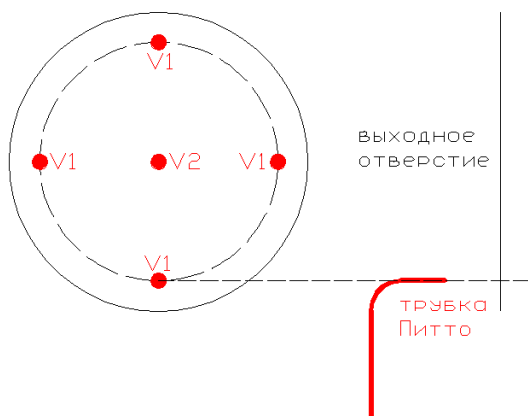


Рис. 13. Схема измерения скорости воздуха

При измерении скорости ветра конец трубки Пито направлять строго перпендикулярно плоскости выходного отверстия. Измерения производить на расстоянии 5...15 см от выходного отверстия.

5. Повторить пункты 3, 4 для всех частот f из таблицы 1.

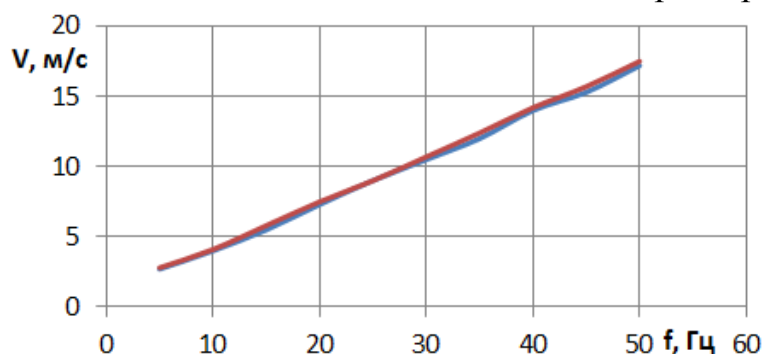
Таблица 1. Скорости воздушного потока при изменении частоты вращения вентилятора

Частота АД, f	Скорость ветра V_1 , м/с	Скорость ветра V_2 , м/с	Скорость ветра V , м/с
5			
10			
15			
20			
25			
30			
35			
40			
45			
50			

6. Выключить вентилятор.

7. Выключить питание стенда.

8. По данным таблицы 1 построить зависимости $V_1 = f(f)$ и $V_2 = f(f)$. Убедиться, что указанные зависимости имеют линейный характер (рис. 5).



9. Определить коэффициент k при котором выполняется равенство:

$$V = k \cdot f \quad (1)$$

10. Задав коэффициент k рассчитать скорость V для всех частот f в таблице 1. Проверить, чтобы скорость V соответствовала V_1 и (или) V_2 . Если имеется сильное расхождение V и $V_1(V_2)$ – уточнить величину k (лежит в пределах $k=0,3 \dots 0,4$ (м/с)/Гц).

4. ИЗУЧЕНИЕ СКОРОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОУСТАНОВКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА КРЫЛЬЧАТКИ И УГЛА НАКЛОНА ЛОПАСТЕЙ

1. Подготовить установку к работе.

2. Установить на вал генератора крыльчатку с регулируемыми лопастями типа А. Установить вторую ступень наклона лопастей (крыльчатка типа А не вращается на первой ступени наклона лопастей).

3. Включить вентилятор.

4. Плавное увеличение частоты вращения вентилятора до тех пор, пока крыльчатка генератора не начнет крутиться с постоянной скоростью (ско-

рость страгивания). В таблицу 2 занести данные о частоте питания вентилятора f и скорости вращения крыльчатки n .

Таблица 2. Скоростные характеристики ветроустановки в зависимости от типа крыльчатки и угла наклона лопастей

Частота АД, f	Лопасть типа А				Лопасть типа В						Лопасть типа С					
	2		3		1		2		3		1		2		3	
	V	n	V	n	V	n	V	n	V	n	V	n	V	n	V	n
8																
10																
12																
14																
16																
18																
20																
22																
24																
26																
28																
30																

5. Увеличить частоту f на 1...2 Гц. В таблицу 1 занести данные о частоте питания вентилятора f и скорости вращения крыльчатки n .

6. Повторять пункт 5 до достижения крыльчаткой критической скорости. На критической скорости лопасти крыльчатки начинают изгибаться. Возможно возникновение вибрации и неравномерности вращения. При достижении этой скорости, следует прекратить опыт и уменьшить скорость вентилятора. Выполнение опыта следует прекратить при скорости вентилятора на 2...5 Гц ниже критической, эту последнюю скорость ($V_{\max}$) считать максимальной (максимальная рабочая скорость).

7. Плавно уменьшить скорость вентилятора и найти скорость при которой крыльчатка начинает останавливаться (скорость n уменьшается при неизменной f). Скорость ветра (частоту f) при этом считать минимальной ($V_{\min}$).

8. Выключить вентилятор.

9. Установить третью ступень угла наклона лопастей крыльчатки.

10. Повторить пункты 3...8. Данные занести в таблицу 2.

11. Установить на вал генератора крыльчатку с регулируемыми лопастями типа В. Установить первую ступень наклона лопастей.

12. Повторить пункты 3...8. Данные занести в таблицу 2.

13. Установить вторую ступень угла наклона лопастей крыльчатки.

14. Повторить пункты 3...8. Данные занести в таблицу 2.

15. Установить третью ступень угла наклона лопастей крыльчатки.
16. Повторить пункты 3...8. Данные занести в таблицу 2.
17. Установить на вал генератора крыльчатку с регулируемыми лопастями типа С. Установить первую ступень наклона лопастей.
18. Повторить пункты 12...16. Данные занести в таблицу.
19. Выключить питание стенда.
20. По формуле 1 рассчитать для всех случаев скорость ветра V , используя коэффициент k полученный при выполнении работы. Заполнить таблицу 2.
21. По данным таблицы 2 построить зависимости скорости вращения крыльчатки генератора от скорости ветра $n = f(V)$.

5. ЗАВИСИМОСТЬ МОЩНОСТИ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА ОТ СКОРОСТИ ВЕТРА

1. Подготовить установку к работе.
2. Установить на вал генератора крыльчатку с нерегулируемыми лопастями.
3. Собрать на панели схему, как показано на рис. 14.

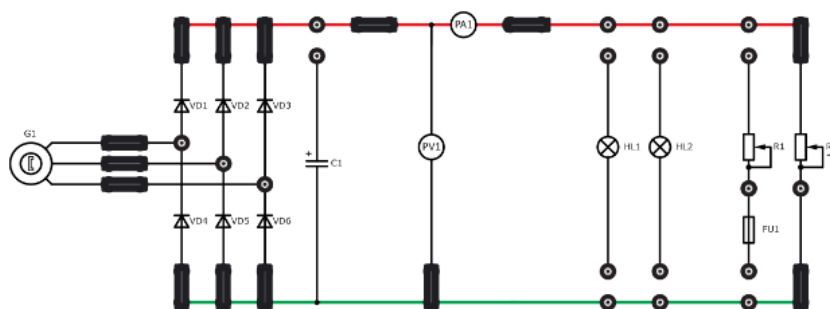


Рис. 14. Схема подключения лабораторной установки

4. Установит переключателем нагрузки $R2$ ступень нагрузки номер 6.
5. Включить вентилятор.
6. Плавное увеличение частоты вращения вентилятора до 20 Гц. Измеренное значение мощности по PW_1 занести в таблицу 3.

Таблица 3. Зависимость мощности ветрогенератора от скорости ветра

Частота АД, f	Ступень нагрузки 6		Ступень нагрузки 7	
	Скорость V , м/с	Мощность P , Вт	Скорость V , м/с	Мощность P , Вт
5				
10				
15				
20				
25				
30				
35				

40				
45				
50				
55				

7. Повторить пункт 6 для всех частот f в таблице 3.
8. Выключить вентилятор.
9. Установит переключателем нагрузки R2 ступень нагрузки номер 7.
10. Повторить пункты 6...8. Данные занести в таблицу 9.
11. Выключить питание стенда.
12. По формуле (1) рассчитать для всех случаев скорость ветра V . Заполнить таблицу.
13. По данным таблицы 3 построить зависимости мощности ветрогенератора генератора от скорости ветра $P=f(V)$.

6. ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА ПРИ ПОСТОЯННОЙ СКОРОСТИ ВЕТРА

1. Подготовить установку к работе.
2. Установить на вал генератора крыльчатку с нерегулируемыми лопастями.
3. Собрать на панели схему, как показано на рис. 15.

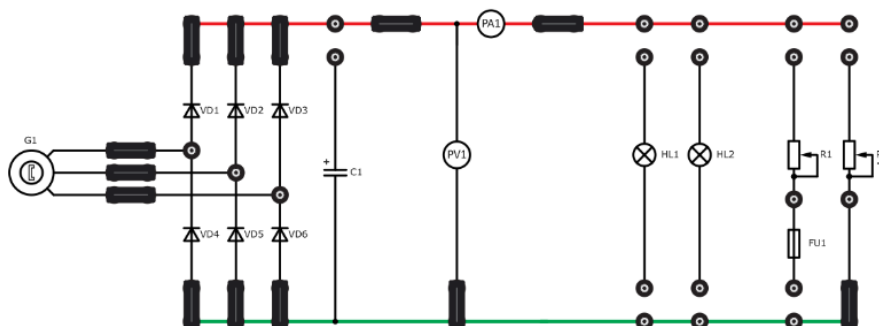


Рис. 15. Опыт холостого хода

5. Включить вентилятор.
6. Плавно увеличить частоту вращения вентилятора до 25 Гц. Рассчитать по (1) скорость ветра V , записать в таблицу 4.

Таблица 4. Мощностные характеристики ветрогенератора при постоянной скорости ветра

Частота АД, f	Скорость V , м/с	Мощность вет- ра P_V , Вт
25		

7. Определить мощность, создаваемую потоком воздуха на крыльчатку. Расчетная формула, для определения мощности ветра:

$$P_V = \frac{\rho \cdot S \cdot V^3}{2} \quad (2)$$

где ρ – плотность воздуха кг/м³;

S – площадь круга, описываемого крыльчаткой, м²;

D – диаметр крыльчатки, м.

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (3)$$

8. Измеренные значения скорости вращения крыльчатки n и напряжения холостого хода генератора по прибору P_{V1} в зависимости от нагрузки занести в таблицу 5.

Таблица 5. Характеристики ветрогенератора при постоянной скорости ветра на холостом ходу

N	n, об/мин	U, В	I, А	P, Вт	η
1			0	0	
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
K3		0		0	

9. Изменить на панели схему, как показано на рис. 16.

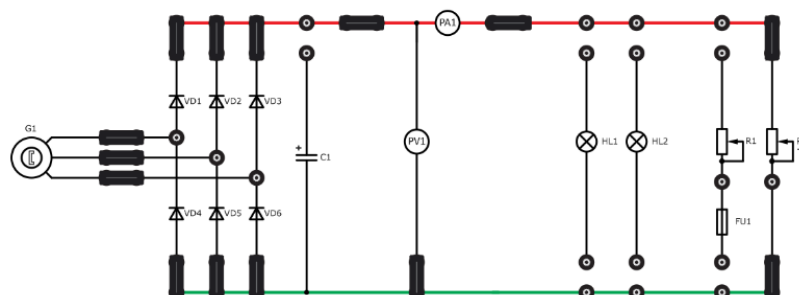


Рис. 16. Работа генератора на активную нагрузку

10. Установит переключателем нагрузки $R2$ ступень нагрузки номер 1. Измеренные значения скорости вращения крыльчатки n , напряжения U , тока I и мощности P генератора занести в таблицу 6.

Таблица 6. Характеристики ветрогенератора при постоянной скорости ветра на активной нагрузке

N	n, об/мин	U, В	I, А	P, Вт	η
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
K3		0		0	

11. Повторить пункт 10 для всех ступеней нагрузки R2.
12. Изменить на панели схему, как показано на рис. 17.

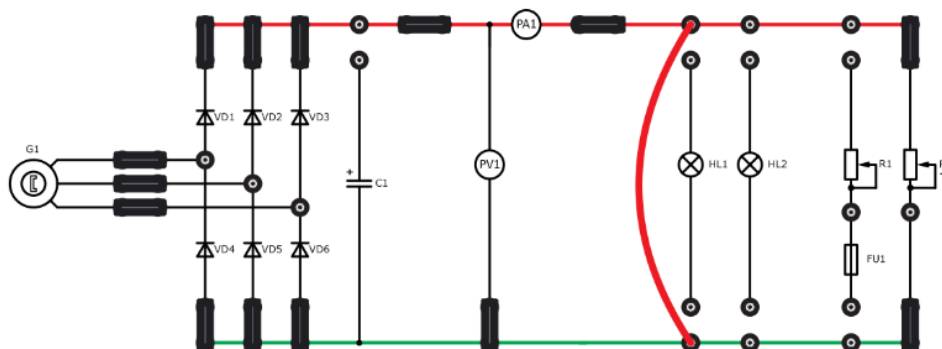


Рис. 17. Опыт короткого замыкания

13. Измеренные значения скорости вращения крыльчатки n и тока короткого замыкания по прибору P_{A1} занести в таблицу 5.
14. Установить частоту вращения вентилятора 30 Гц.
15. Повторить пункты 8...13. Данные занести в таблицу типа 5 и 6.

Таблица 7. Мощностные характеристики ветрогенератора при постоянной скорости ветра

Частота АД, f	Скорость V, м/с	Мощность ветра PV, Вт
30		

16. Повторить пункты 14, 15 для скоростей вентилятора 35, 40, 45, 50 Гц.
 17. Выключить вентилятор.
 18. Выключить питание стенда.
 19. Определить КПД ветрогенератора. Заполнить таблицы.
- Расчет КПД ветрогенератора:

$$\eta = \frac{P}{P_V} \quad (4)$$

P – мощность ветрогенератора при постоянной скорости ветра

20. По данным таблиц построить зависимости мощности и напряжения генератора от тока нагрузки $P = f(I)$ и $U = f(I)$.

21. Для каждой таблицы найти максимальную мощность, развиваемую генератором ($P_{\max}$) и КПД при этой мощности. Данные занести в таблицу 8.

Таблица 8. Максимальную мощность, развиваемая генератором

V , м/с	$P_{\max}$, Вт	$\eta_{\max}$
20		
25		
30		
35		
40		
45		
50		

22. По данным таблицы 8 построить зависимости мощности и КПД генератора от скорости ветра $P_{\max} = f(V)$ и $\eta_{\max} = f(V)$.

7. ХАРАКТЕРИСТИКИ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

1. Подготовить установку к работе.
2. Установить на вал генератора крыльчатку с нерегулируемыми лопастями.
3. Собрать на панели схему, как показано на рис. 18

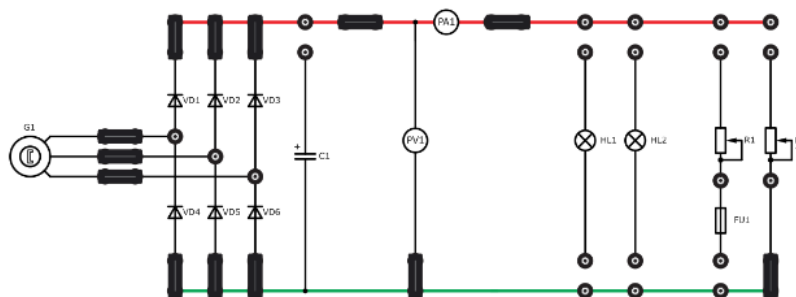


Рис. 18. Схема для определения характеристик генератора

4. Включить вентилятор.
5. Плавно увеличить частоту вращения вентилятора до 40 Гц. Данные занести (n , U) занести в таблицу 9

Таблица 9. Характеристики синхронного генератора

n , об/мин	f , Гц	V , м/с	I , А	P , Вт	U , В
	40				

--	--	--	--	--	--

6. Изменить на панели схему, как показано на рис. 19.

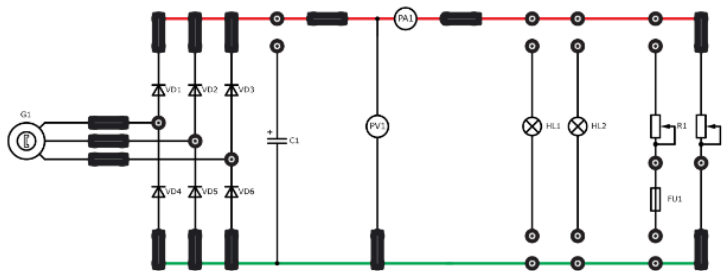


Рис. 19. Работа генератора на активную нагрузку

7. Установить переключателем R2 ступень нагрузки номер 1.
8. Для компенсации снижения скорости генератора n , увеличить частоту вращения вентилятора (при выполнении опыта скорость генератора n поддерживается постоянной)
9. Занести данные в таблицу 9: f , U , I , P .
10. Повторить пункты 8,9 для всех ступеней нагрузки R2.
11. Выключить вентилятор.
12. Выключить питание стенда.
13. Рассчитать по зависимостям 1,2,4 скорость ветра, мощность ветра, КПД генератора и занести в таблицу 9.
14. По данным таблицы 9 построить зависимости мощности, напряжения и КПД генератора от тока нагрузки $P=f(I)$, $U=f(I)$ и $\eta=f(I)$ при постоянной скорости вращения

Тема 7. Ресурсосбережение в сельскохозяйственном производстве.

Тема 8. Организационно-техническое обеспечение ресурсосберегающих технологий производства кормов для животноводства.

Тема 9. Резервы энергосбережения в сельскохозяйственном производстве

Темы представлены в примерном конспекте лекций.

2.3. Тематический план практических занятий по дисциплине «Основы энерго- и ресурсосбережения» для специальности 1–74 06 01 Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного

№ п.п.	Тема лабораторного занятия	Количество часов для форм обучения			
		дневная, полный срок обучения	дневная, сокр. срок обучения	заочная, полн. срок обучения	заочная, сокр. срок обучения
1	Производство энергии традиционными методами	2	2	1	
2	Производство энергии на основе возобновляемых источников	6	2	2	1
3	Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР)	2	-	1	1
4	Управление энергосбережением и энергопотреблением	2	-	-	-
5	Энергосбережение в общепроизводственных процессах и в быту	2	-	-	-
6	Ресурсосбережение в сельскохозяйственном производстве	4	2	1	
7	Организационно техническое обеспечение ресурсосберегающих технологий производства кормов для животноводства	4	2	1	1
8	Резервы энергосбережения в сельскохозяйственном производстве	2	-	-	1
	Итого:	24	8	6	4

2.4. Методические указания к практическим занятиям

Тема 1. Производство энергии традиционными методами,
Тема 2. Производство энергии на основе возобновляемых источников

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

Изучение способов получения электроэнергии: традиционный и нетрадиционный

Цель работы: изучить различные способы получения электрической энергии с помощью традиционных возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и перспективных.

Приборы и оборудование: лабораторный стенд, плакаты, проспекты.

Рабочее задание:

1. Изучить традиционные способы получения электрической энергии.
2. Изучить и провести анализ нетрадиционных способов получения электрической энергии.
3. Вычертить схему установки для получения биогаза и определить количество электроэнергии, вырабатываемой при его сжигании от комплекса мясо-молочного направления (производительность комплекса задается преподавателем для специальности 1-74 06 01 Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства).
4. Изучить принцип, достоинства и недостатки получения электрической энергии при помощи газотурбинных и парогазовых установок.
5. Определить необходимую мощность ветроустановки для обеспечения электроэнергией населенного пункта с числом жителей 4000 человек (для специальностей 1-74 06 04 Техническое обеспечение мелиоративных и водохозяйственных работ и 1-74 06 06 Материально-техническое обеспечение АПК).

1. ТРАДИЦИОННЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Человечество за всю историю своего существования израсходовало примерно 900 – 950 трлн. кВт·ч энергии всех видов и около 2/3 этого количества приходится на последние 30 лет.

Основные источники энергии на нашей планете имеют четкие сроки истощения ресурсов:

- уголь — первая половина этого тысячелетия;
- нефть — на границе XXI и XXII веков;
- газ — первая половина XXI века;
- уран — начало следующего столетия.

В Республике Беларусь собственные топливно-энергетические ресурсы представлены древесиной; нефтью; торфом; бурым углем; горючими сланцами. Общие запасы древесины в стране оцениваются примерно в 1093,2 млн. м³, что составляет около 1 % запасов древесины СНГ. Лесистость территории составляет 38 %, запас спелого древостоя – около 74,7 млн. м³. На душу населения приходится 0,6 га леса и 93 м³ запасов древесины. Средний возраст древостоя – 40 лет, средний прирост – 3,7 м³ на 1 га; средний запас на 1 га в спелых лесах – 205 м³. Основная часть лесов (45 %) приходится на Гомельскую и Минскую области. Значение древесины в топливном балансе страны пока незначительно, поскольку начавшаяся в 1960 году и продолжающаяся сегодня повсеместная газификация вытеснила древесину как вид топлива, а работающие на отходах котельные деревообрабатывающих предприятий были переведены на газ. В последнее время в связи с возникшими проблемами в использовании дорогостоящего покупного топлива, и в первую очередь газа, все больше субъектов хозяйствования переходит на древесное топливо, особенно на отходы деревообработки.

Структура энергопотребления в мире представлена в виде диаграммы рис.1

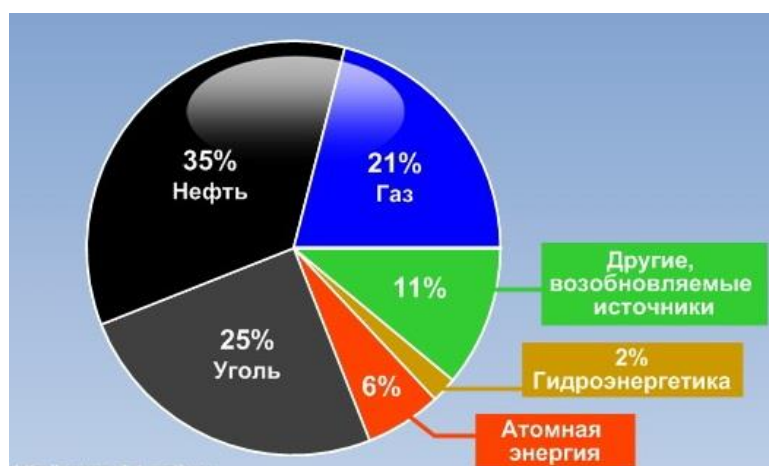


Рис. 1. Структура энергопотребления в мире

Прогнозируемые объемы годовой добычи местных видов топлива составляют:

- нефть, млн. т: 2000 г. (факт) – 1,84; 2005 г. – 1,55; 2010 г. – 1,29; 2015 г. – 1,102;
- попутный газ, млн. м³: 2005 г. – 230; 2010 г. – 210; 2015 г. – 180;
- торф, 1 млн. т у. т./год (на весь рассматриваемый период);
- дрова, предусматривается увеличение заготовок и использования с 1,3 млн. т у. т. в 2000 г. до 1,9–2,0 млн. т у. т. в 2015 г.

Имеющиеся запасы бурых углей в объеме 151,6 млн. т пригодны для использования после брикетирования с торфом, однако их добыча нецелесообразна, так как экологический ущерб превысит полученные результаты.

Нецелесообразна и добыча горючих сланцев в объеме имеющихся запасов (11 млрд. т), поскольку стоимость получаемых продуктов выше мировых цен на нефть.

Электрическая энергия в Беларуси производится на следующих типах станций: тепловых (ТЭС), гидравлических (ГЭС). На долю тепловых электростанций приходится свыше 80 % общей выработки электроэнергии.

Тепловые электростанции делятся на два типа: конденсационные (вырабатывает только электроэнергию) и теплоэлектроцентрали. На ТЭЦ часть тепла в виде горячей воды или пара направляется на коммунальные и производственные нужды. Общий КПД ТЭЦ (70 %) значительно выше КПД конденсационной электростанции (40 %).

Атомные электрические станции. Тепловые схемы атомных электростанций зависят от типа реактора, вида теплоносителя, состава оборудования. Тепловые схемы могут быть одно-, двух- и трехконтурными.

Работа АЭС по технологическим условиям отличается от работы тепловой электростанции. Основным различием является то, что роль источника теплоты на тепловой электростанции играет паровой котел, в котором сжигается органическое топливо, а на АЭС - ядерный реактор, теплота в котором выделяется в результате деления ядерного топлива. Ядерное топливо обладает высокой теплотворной способностью (в миллионы раз выше, чем органическое). В одном грамме урана содержится $2,6 \cdot 10^{21}$ ядер; при делении всех этих ядер выделяется энергия, равная 2000 кВт·ч. Для получения такого количества энергии нужно сжечь более 2000 кг угля. В связи с этим при эксплуатации АЭС расходы по доставке и транспортировке топлива сведены к минимуму. Однако при эксплуатации АЭС в процессе работы ядерного реактора образуется большое количество радиоактивных веществ в топливе, конструкционных материалах, теплоносителе. Поэтому АЭС является потенциальным источником радиационной опасности для обслуживающего персонала, а также окружающего населения, что повышает требования к надежности и безопасности ее эксплуатации. В мире доля вырабатываемой энергии АЭС составляет до 8 %.

Белорусская АЭС (также известная как Островецкая АЭС по месту нахождения) – первая строящаяся в Республике Беларусь атомная станция.

Планируемая мощность Белорусской АЭС – 2300 МВт. Общее количество энергоблоков – 2, с реакторами типа ВВЭР-1200 (водо-водяной энергетический реактор). Начало строительства 2011 г., планируемая дата ввода в эксплуатацию первого энергоблока – 2018 г., второго – 2020 г.

Газотурбинные установки достаточно компактны, маневренны, используются в теплоэнергетике как пиковые и резервные установки. Их принцип работы аналогичен двигателям внутреннего сгорания. Принципиальная схема ГТУ с подводом тепла при постоянном давлении изображена на рис. 2.

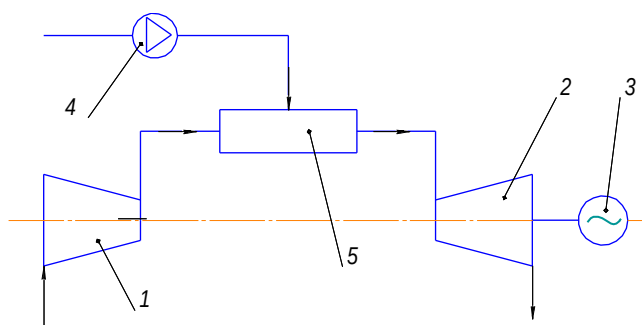


Рис 2. Схема ГТУ:

1 – воздушный компрессор; 2 – газовая турбина; 3 – электрогенератор;
4 – топливный насос; 5 – камера сгорания

Воздушный компрессор сжимает воздух адиабатно (без подвода теплоты), повышая его давление и температуру, и подает его в камеру сгорания, в которую топливный насос дозированно впрыскивает горючее. В камере сгорания осуществляется подвод теплоты при постоянном давлении (сжигание топлива), температура при этом растет. Образующиеся продукты сгорания топлива подаются в газовую турбину. В газовой турбине продукты сгорания расширяются адиабатно (без подвода теплоты) и совершают техническую работу. При этом давление и температура падают. Далее продукты сгорания выбрасываются в атмосферу. Значительная часть технической работы газовой турбины (примерно $2/3$) расходуется на привод компрессора, расположенного на том же валу. Остальная часть технической работы (полезная работа) идет на выработку электроэнергии в электрогенераторе. Температура газов перед турбиной составляет $800\text{--}900\text{ }^{\circ}\text{C}$ (для авиатурбин – $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$), поэтому необходимо использование жаропрочных материалов.

Парогазовые установки. Поскольку в газовом цикле ГТУ температура газов перед турбиной составляет $800\text{--}900\text{ }^{\circ}\text{C}$, а после турбины примерно $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ (в цикле паросиловой установки температура перегретого пара перед турбиной $540\text{--}565\text{ }^{\circ}\text{C}$; температура воды в конденсаторе $25\text{--}28\text{ }^{\circ}\text{C}$), видно существенное различие в температурном уровне рабочих температур рассмотренных циклов. Для повышения эффективности предлагается комбинированный (бинарный) цикл, в котором работают два рабочих тела: газ – в верхней части цикла, пар – в нижней (рис. 3).

Воздух из атмосферы поступает в компрессор 1, где сжимается адиабатно с повышением температуры, и подается в камеру сгорания 5, куда при помощи топливного насоса 4 впрыскивается топливо. В камере сгорания 5 при постоянном давлении происходит горение топлива (подвод теплоты), образовавшиеся в результате горения газы поступают в газовую турбину 2, где, расширяясь адиабатно на лопатках турбины, производят работу. Температура и давление газов падают. Отработанные газы после газовой турбины с температурой $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ поступают в подогреватель 6, где отдают часть теплоты для подогрева питательной воды, поступающей в котел 7, и охладившись при этом, сбрасываются в атмосферу. Питательная вода воспринимает эту теплоту при постоянном давлении, что приводит к уменьшению расхода топлива при производстве пара в котле. Далее в котле из питательной воды образует-

ся пар, перегревается и поступает в паровую турбину 8 с температурой 540°C. В паровой турбине пар расширяется адиабатно на лопатках, производя техническую работу. Его давление и температура при этом падают. Отработавший в турбине пар поступает в конденсатор 9, где конденсируется при постоянном давлении, а образовавшийся конденсат при помощи насоса 10 направляется сначала в подогреватель 6, где воспринимает тепло отработавших в газовой турбине газов, а затем в паровой котел 7. Расходы пара и газа подбираются таким образом, чтобы вода воспринимала максимальное количество теплоты газов. Термический КПД таких установок свыше 60 %.

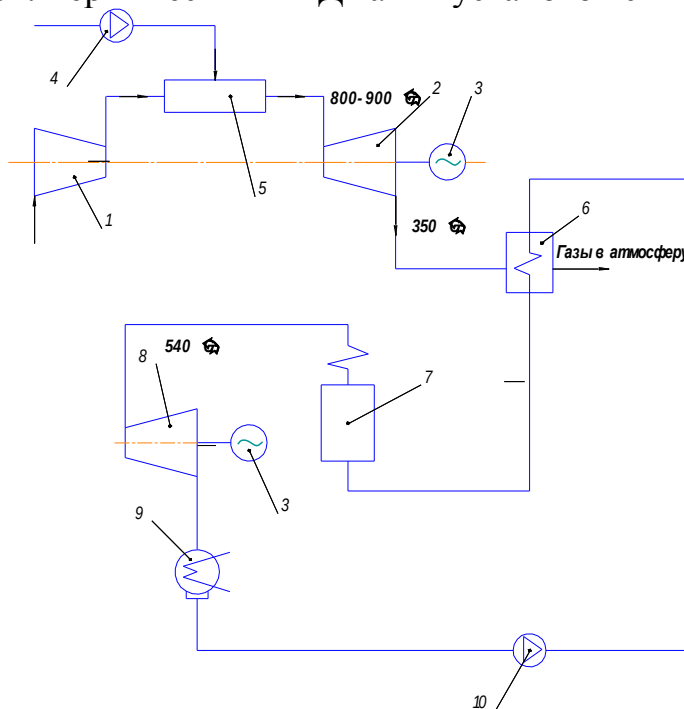


Рис. 3. Схема парогазовой установки:

- 1 – воздушный компрессор; 2 – газовая турбина; 3 – электрогенератор;
4 – топливный насос; 5 – камера сгорания; 6 – подогреватель; 7 – котел;
8 – паровая турбина; 9 – конденсатор; 10 – питательный насос

2. ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ (ВИЭ)

Спрос на возобновляемые источники энергии будет ежегодно расти на 2,8% и к 2035 г. достигнет 35 % от общемирового энергопотребления по сравнению с 10 % в 2008 году. Цены на нефть в 2035 г. составят \$125 за баррель при стоимости американской национальной валюты такой, какая она была в 2009 г. Спрос на бензин и другое топливо, согласно прогнозам министерства, в период с 2008 по 2035 г. повысится на 26,9 млн. баррелей в сутки.

Мировое потребление природного газа увеличится за обзорный период на 52 % – до 4,79 трлн. м³.

Человечество упорно ищет источники дополнительной энергии (рис. 4).

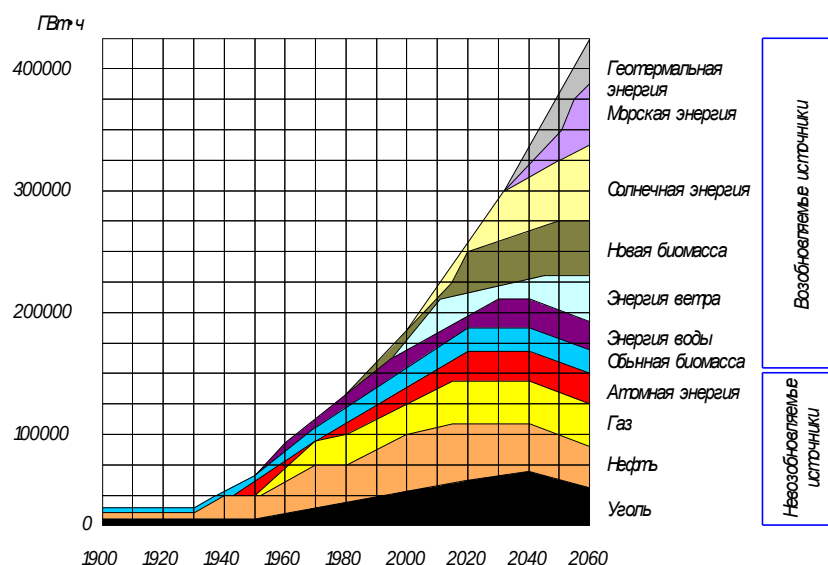


Рис. 4. Потребление энергии в мире

Энергию чаще всего получают из природных ресурсов, которые со временем истощаются (нефть, газ, уголь). Поэтому во всем мире люди стремятся сократить расход энергии, чтобы сохранить ресурсы для будущих поколений.

К данным источникам относятся:

- энергия солнца;
- энергия ветра;
- энергия рек, приливов и отливов;
- энергия геотермальных источников;
- энергия биомассы.

Потенциально ресурсы ВИЭ в мире оцениваются величиной 970 – 980 трлн. т у. т., их технически извлекаемый потенциал – 13 млрд. т у. т. (на 31 % больше современного потребления различных источников энергии).

При использовании ВИЭ в ряде случаев решающее значение имеет экологическая чистота технологии получения энергии.

Сдерживающим фактором широкого использования ВИЭ являются:

- высокая удельная стоимость энергии;
- низкая концентрация и малая плотность энергетического потока;
- локальный характер использования;
- неравномерность поступления энергии во времени.

Солнечная энергия. Потенциал энергии солнца в экономии топлива для горячего водоснабжения оценивается в 1,25–1,75 млн. т у. т./год; для производства электроэнергии – в 1,0–1,25 млн. т у. т./год. В настоящее время промышленного значения не имеет. Имеется только несколько экспериментальных установок. В ближайшем будущем не планируется широкое использование энергии солнца в Республике Беларусь.

Республика Беларусь, расположенная между 51° и 56° северной широты, относится к районам, находящимся в нижней части полосы умеренной солнечной радиации (30 – 60°). Общий потенциал солнечной энергии в Республике Беларусь оценивается в 2,7 – 10⁶ млн. т у. т./год, технически возможный составляет 0,6 – 10⁶ млн. т у. т./год.

На территорию Беларуси ежедневно попадает порядка 75–100 Вт/м² солнечной энергии, что в 5–6 раз меньше, чем на территорию пустыни Сахара.

Ввиду малого значения солнечной постоянной для выработки энергии, которая покрыла бы всю потребность республики, необходимо построить солнечные батареи на территории, равной 3 % всей площади страны.

Есть предложения отдать на застройку территорию, пострадавшую от аварии на Чернобыльской АС.

Однако ввиду дороговизны солнечных батарей и неокончательной разработки технологий идея использования солнечной энергии в Беларуси пока не рассматривается.

Солнечная энергия может быть использована в следующих целях:

- тепловодоснабжение потребителей различных отраслей народного хозяйства;
- отопление, тепловое водоснабжение жилых домов и других помещений различного назначения;
- сушка сельскохозяйственной и различной промышленной продукции;
- отопление теплиц;
- обессоливание минеральных вод;
- электроснабжение маломощных автономных потребителей и др.

Классификация «солнечных» технологий разделена учеными на 4 группы:

1) активные – вместе с преобразователями задействуются механизмы, электромоторы, помпы. Солнечная энергия используется для нагрева воды, освещения, вентиляции;

2) пассивные – отличаются от активных отсутствием в контурах систем каких-либо механизмов, движущих частей. Особенностью построения пассивных солнечных структур для организации систем вентиляции, отопления является подбор соответствующих по физическим параметрам строительных материалов, специфическая планировка помещения, размещение окон;

3) непосредственные, или «прямые», системы, преобразовывающие солнечную энергию в ходе одного уровня или этапа;

4) «непрямые» технологии – системы, процесс функционирования которых включает в себя многоуровневые преобразования и трансформации для получения требуемой формы энергии.

Энергия ветра. Согласно национальной программе развития местных и возобновляемых энергоисточников на 2011–2015 гг. на территории Республики Беларусь выявлено 1840 площадок, где можно установить ветроустановки (ВЭУ). Общий энергетический потенциал при этом оценивается в 1600 МВт мощности. Среднегодовая скорость фонового ветра колеблется от 3 до 4 м/с на высоте 10–12 метров. Поэтому в программе оговорена необходимость тщательного технико-экономического обоснования строительства ветроустановок в каждом отдельном случае. В настоящее время на территории Республики Беларусь действуют 18 ветроустановок суммарной мощностью 4 МВт. ВЭУ действуют в Гродненской, Минской, Витебской и Могилевской обла-

стях. Самая крупная ветроустановка в Беларуси находится в Новогрудском районе, ее мощность составляет 1,5 МВт.

Распределение расчетной скорости ветра в Беларуси изображено на рис.

5.

Энергия ветра может быть использована в следующих целях:

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

ВЭУ по своему назначению и виду преобразования энергии ветра в другие виды подразделяют на: ветромеханические, ветроэлектрические, ветро-тепловые и комбинированные (получение, например, механической и электрической энергии). Наиболее универсальны ветроэлектрические установки, по этой причине они получили наибольшее распространение. С точки зрения автономности использования различаются ВЭУ:

- автономные;
- работающие с другими энергоисточниками (дизельные электростанции, фотоэлектрические установки и др.);
- работающие в составе энергосистемы электроснабжения.

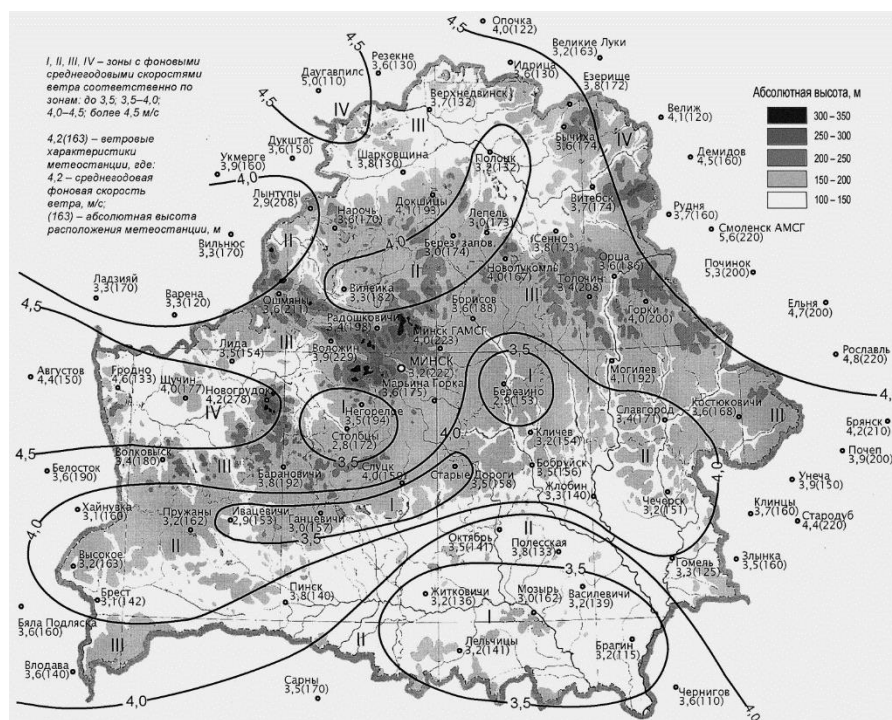


Рис. 5. Расчетная скорость ветра

Все ветровые установки можно разделить на два больших типа: с вертикальной осью вращения ротора и с горизонтальной.

ВЭУ с вертикальной осью вращения (на вертикальную ось «насажено» колесо, на котором закреплены «приемные поверхности» для ветра), в отличие от крыльчатых могут работать при любом направлении ветра, не изменяя своего положения. Ветродвигатели этой группы тихходны, поэтому не создают большого шума. В них используются многополюсные электрогенераторы.

торы, работающие на малых оборотах, что позволяет применять простые электрические схемы без риска потерпеть аварию при случайном порыве ветра. Главными недостатками таких агрегатов является малый период вращения и низкий КПД по сравнению с горизонтальными ВЭУ. К побочным действиям работы таких установок следует отнести наличие низкочастотных вибраций, возникающих за счет дисбаланса ротора (рис. 6).



Рис. 6. Ветроустановка с вертикальной осью вращения

Агрегаты с горизонтальной осью вращения являются традиционной компоновкой ВЭУ. В них используются лопасти, которые вращаются под действием ветрового потока. Система устанавливается в самое выгодное положение в потоке ветра с помощью крыла-стабилизатора. На мощных станциях, работающих на сеть, для этого используется электронная система управления рысканием. Недостатком такой системы являются высокий уровень шума, потеря в механической передаче энергии, снижение продолжительности эксплуатации оборудования. Также при сильных порывах ветра лопасти агрегата могут получить значительные повреждения или вовсе сломаться (рис. 7).



Рис. 7 Ветроустановка с горизонтальной осью вращения

При скорости ветра U и плотности воздуха ветроколесо с ометаемой площадью S развивает мощность

$$P = C_p S \rho U^3 / 2, \text{ Вт}, \quad (1)$$

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

S – ометаемая площадь, т. е. площадь, покрываемая его лопастями при вращении, м^2 ;

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

ρ – плотность воздуха (1 кг/м^3).

Ометаемая площадь определяется по формуле

$$S = \pi D^2 / 4, \text{ м}^2, \quad (2)$$

где D – диаметр ветроколеса, м.

Количество электроэнергии, получаемой с помощью ветроустановки, рассчитывается по формуле

$$W = P t, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (3)$$

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.

Гидроэлектростанция (ГЭС) имеет следующую технологическую схему: ГТ (гидравлическая турбина) – ГГ (гидрогенератор) – Тр (трансформатор).

Недостатком ГЭС являются большие первоначальные затраты на сооружение, что связано с большим объемом земляных и строительных работ. В то же время их КПД достигает 80 – 90 %. Самые мощные ГЭС построены и эксплуатируются в Бразилии (мощность 14 ГВт – Итайпу), в Венесуэле (мощность 10,30 ГВт – ГЭС им. Симона Боливара, или «Гури»), а также строится мощнейшая ГЭС в Китае (мощность 22,40 ГВт – «Три ущелья»).

Запасы гидроэнергоресурсов Республики Беларусь составляет теоретический потенциал ее рек – около 7,5 млрд. кВт·ч в средний по водности год, а его часть, которая путем выработки электроэнергии на ГЭС или иными техническими средствами может быть использована (технический потенциал), – 2,5 – 3,0 млрд. кВт·ч/г.

В настоящее время экономический гидроэнергopotенциал в Республике Беларусь составляет 1,3 млрд. кВт·ч/год, или 325 МВт общей установленной мощности возможных ГЭС в условиях Беларуси. Его оценка проведена на основе сравнения удельных (отнесенных на производство 1 кВт·ч электроэнергии, в долл. США/кВт·ч) дисконтированных затрат по ГЭС с таковыми по альтернативной тепловой (газотурбинной) электростанции.

В настоящее время в Республике Беларусь действуют два десятка малых ГЭС, большая часть из которых восстановлена, начиная с 1992 г., из числа ранее заброшенных. Их показатели приведены в таблице.

Как правило, все восстанавливаемые и вновь сооружаемые малые ГЭС будут работать параллельно с энергосистемой, что позволит значительно упростить схемные и конструктивные решения.

Действующие ГЭС

Область	Река	ГЭС	Установленная мощность, кВт
Брестская	Логозва	Логозвинская	100
Витебская	Дрисвята	Богинская	630
	Нища	Кляститская	520
	Улла	Лепельская	320
	Туровлянка	Гомельская	260
	Черница	Добромысленская	210
	Лукомка	Лукомльская	150
Гродненская	Молчадь	Гезгальская	620
	Россь	Волпянская	500
	Свислочь	Войтовщизна	200
	Гавья	Жемыславльская	200
	Молчадь	Новоселковская	200
	Ошмянская	Рачунская	200
	Лоша	Яновская	150
Минская	Вилия	Вилейская	1630
	Свислочь	Гонолес	300
	Юнга	Селявская	110
Могилевская	Свислочь	Осиповичская	2175
	Друть	Чигиринская	1500
	Друть	Тетеринская	370
Всего			10345

Одним из высокоприоритетных белорусских национальных проектов в Мировой солнечной программе является создание каскада из четырех ГЭС

общей мощностью 132 МВт на реке Западная Двина с обеспечением специальных мер по минимизации затопления.

Гидроэнергетика обеспечивает 19 % всей мировой электроэнергии, а установленная гидроэнергетическая мощность составляет 715 ГВт.

Основными ограничениями в использовании энергии рек и водостоков являются необходимость затопления большой площади земли при создании плотин (в настоящее время эта площадь по всему миру составляет свыше 450 тыс. км², что более чем в 2 раза превышает территорию Республики Беларусь) и высокие капитальные затраты на строительство ГЭС. В последние годы во многих странах развиваются технологии создания средних, малых и мини-ГЭС, в которых эти ограничения до некоторой степени преодолеваются.

Крупнейшая ГЭС, действующая в Республике Беларусь, – Осиповичская ГЭС (рис. 8).

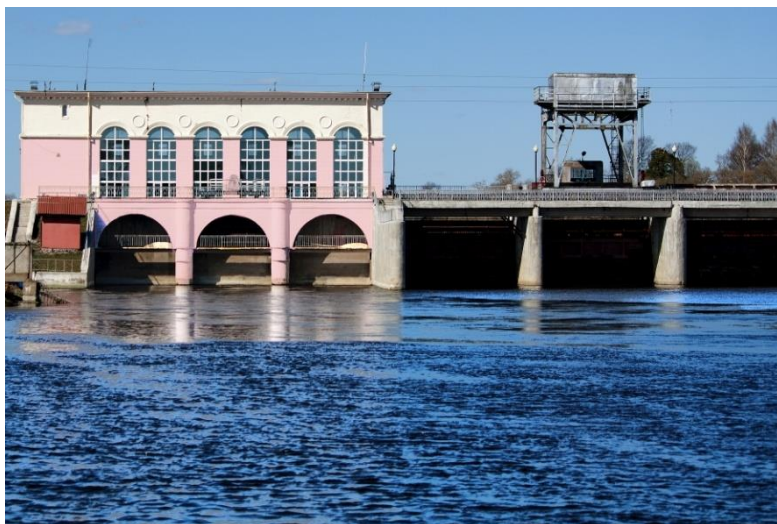


Рис. 8. Осиповичская ГЭС

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, макростигматис, эклония) 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.

Также в качестве биомассы используют сахарный тростник для производства автомобильного топлива, широко практикуется в Южной Америке. Более 10 % автомобилей в Бразилии заправляются этиловым спиртом. Доказана перспективность применения 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. 9) 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 при помощи 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.

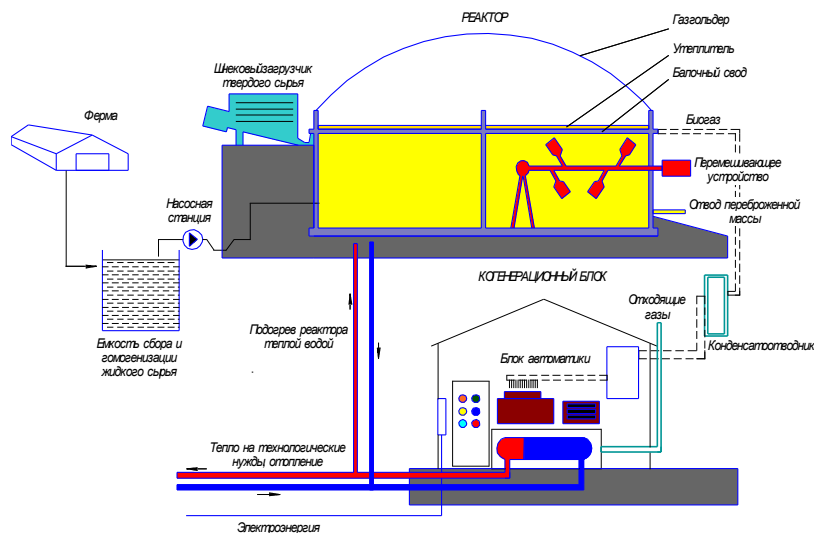


Рис. 9. Схема работы биогазовой установки

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

Реактор подогревается теплой водой. На входе в реактор температура воды должна быть 60 °С, после реактора – около 40°С. 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 °С) подогревают реактор, изначально доведя ее до нужного уровня (60 °С). 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 складывается в танкере для хранения удобрения. Биогаз хранится в специально предназначенной для этого емкости – газгольdere, 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.

В настоящее время в республике функционируют семь биогазовых комплексов, в том числе две электростанции на свалочном газе, три биогазовых комплекса на отходах сельскохозяйственного производства и 2 – на отходах промышленного производства.

В 2013–2015 гг. запланировано ввести в эксплуатацию дополнительно 32 комплекса суммарной электрической мощностью 18,6 МВт, в том числе в Брестской области – 1,2 МВт, Витебской – 1,2 МВт, Гомельской – 2,2 МВт, Гродненской – 0,6 МВт, Минской – 9,5 МВт и в Могилевской – 3,9 МВт.

Геотермальная энергетика. Геотермальная энергия – это энергия тепла, которое выделяется из внутренних зон Земли на протяжении сотен миллионов лет. По данным геолого-геофизических исследований, температура в ядре Земли достигает 3000–6000 °С, постепенно снижаясь в направлении от центра планеты к ее поверхности. Извержение тысяч вулканов, движение блоков земной коры, землетрясения свидетельствуют о действии мощной внутренней энергии Земли. Ученые считают, что тепловое поле нашей планеты обусловлено радиоактивным распадом в ее недрах, а также гравитационной сепарацией вещества ядра.

Человек может использовать геотермальную энергию только там, где она проявляет себя близко к поверхности Земли, т. е. в районах вулканической и сейсмической активности. Сейчас геотермальную энергию эффективно используют такие страны, как США, Италия, Исландия, Мексика, Япония, Новая Зеландия, Россия, Филиппины, Венгрия, Сальвадор. Здесь внутреннее земное тепло поднимается к самой поверхности в виде горячей воды и пара с температурой до 300 °С и часто вырывается наружу как тепло фонтанирующих источников (гейзеры), например, знаменитые гейзеры Йеллоустонского парка в США, гейзеры Камчатки, Исландии.

Геотермальная энергия может быть использована двумя основными способами:

– для выработки электроэнергии и для обогрева домов, учреждений и промышленных предприятий. Для какой из этих целей она будет использоваться, зависит от формы, в которой она поступает в наше распоряжение. Иногда вода вырывается из-под земли в виде чистого «сухого пара», т. е. пара без примеси водяных капелек. Этот сухой пар может быть непосредственно использован для вращения турбины и выработки электроэнергии. Конденсационную воду можно возвращать в землю и при ее достаточно хорошем качестве – сбрасывать в ближний водоем.

В целом прогнозируемые ресурсы геотермальной энергии в Беларуси оцениваются в 100 млрд. т у. т. По данным Института геологических наук НАН Беларуси, в республике известны два перспективных района для извлечения гео-

термальной энергии с плотностью запасов более 2 т у. т./м²: центральная и северная зоны в Гомельской области и территория западнее линии Высокое – Жабинка – Малорита в Брестской области. В первом из этих районов в скважинах на глубине 1400–1800 м обнаружена вода температурой 50 °С, на глубине 3080 м – 90–95 °С и на глубине 4200 м – 100 °С. Плотность запасов тепловой энергии здесь составляет от 4 до 8 т у. т./м².

Во втором районе (Брестская область) плотность запасов не превышает 4 т у. т./м², но глубина расположения тепловых подземных источников несколько меньше, чем в первом районе. Кроме вышеназванных районов обнаружены в республике благоприятные зоны недалеко от г. Гродно и в Оршанской впадине. Однако высокая минерализация термальных вод и невысокая производительность имеющихся скважин не позволяют рассчитывать на освоение этого типа возобновляемой энергии.

Отчет должен содержать схему парогазовой установки; схему установки для получения биогаза; расчеты; выводы о перспективности использования различных способов получения электроэнергии.

Тема 3. Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР)

Тема 4. Управление энергосбережением и энергопотреблением

Темы 3 и 4 представлены в примерном конспекте лекций.

Тема 5. Энергосбережение в общепроизводственных процессах и быту

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

Изучение приборов учета и контроля параметров расхода газа и тепловой энергии

Цель работы: изучить назначение, принцип действия и технические параметры счетчиков расхода природного газа и тепла.

Приборы и оборудование: стенд, лабораторная установка, счетчик газовый бытовой.

Рабочее задание:

1. Изучить назначение, технические параметры счетчиков расхода газа и тепла.
2. Вычертить общую схему газораспределения и лабораторной установки.
3. Включить лабораторную установку, определить объем природного газа, регистрируемого счетчиком в течение 10 минут.
4. Определить массу воды, нагретой до температуры 80 °С, при сжигании объема газа, подсчитанным счетчиком.
5. Изучить возможность подключения счетчиков тепла в единую систему контроля.
6. Определить массу торфа, энергия которого эквивалентна энергии, выделенной при сжигании природного газа (объем газа, прошедший через счет-

чик во время лабораторных исследований). Рассчитать экономию денежных средств при переводе системы отопления с торфа на газ.

7. Составить отчет о выполненной работе.

1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЧЕТЧИКОВ ГАЗА

Газовые запасы – это природный газ, который образуется в недрах земли при анаэробном разложении органических веществ.

Доказанные газовые запасы в мире составляют около 173 трлн. м³, если к ним прибавить еще и неоткрытые запасы, которые по предварительным расчетам составляют около 120 трлн. м³, в сумме получается около 300 трлн. м³. Такого количества газа Землянам хватит примерно на 65 лет.

Основные доказанные запасы газа Земли (201,139 трлн. м³) сосредоточены в трех странах: Российской Федерации - около 50 трлн. м³ (что составляет около 24,6 % всех доказанных запасов в мире), Иране - 34 трлн. м³ (16,9 %) и Катаре - 24,5 трлн. м³ (12,2 %). В Беларуси этот показатель составляет 0,003 трлн. м³ (рис. 1).

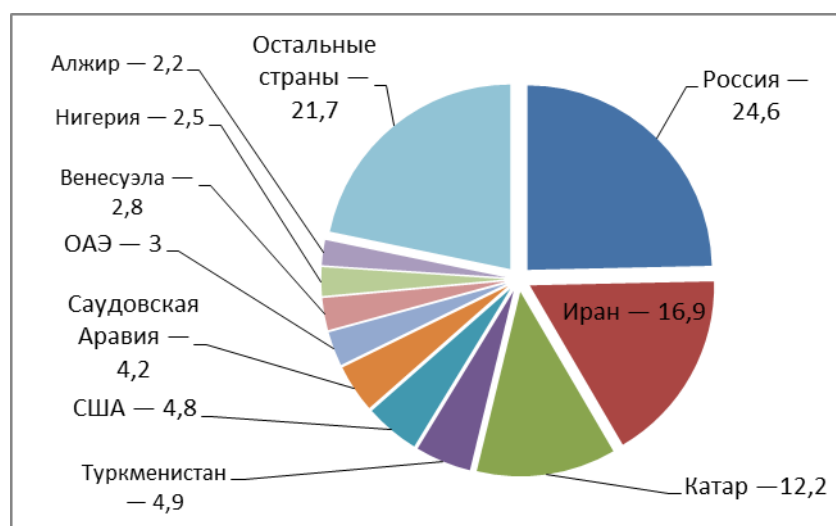


Рис. 1 – Страны-лидеры по запасам природного газа (% от мирового запаса)

Газ (газообразное состояние) (от нидерл. gas, восходит к др.-греч. χάος) — одно из четырех агрегатных состояний вещества, характеризующееся очень слабыми связями между составляющими его частицами (молекулами, атомами или ионами), а также их большой подвижностью. Частицы газа почти свободно и хаотически движутся в промежутках между столкновениями, во время которых происходит резкое изменение характера их движения. Также термин «газ» можно определить как вещество, температура которого равна или превышает критическую точку, при такой температуре сжатие газа не приводит к образованию жидкости. В этом и заключается отличие газа от пара. При повышении давления насыщенный пар частично превращается в жидкость, газ — нет.

В практике газоснабжения населенных пунктов применяются различные горючие газы, отличающиеся по происхождению, химическому составу и физическим свойствам.

По происхождению горючие газы подразделяются на естественные (природные) и искусственные (вырабатываемые из твердого и жидкого топлива).

Газы чисто газовых месторождений состоят из метана с небольшим содержанием тяжелых углеводородов. Они характеризуются относительным постоянством состава и теплотворности. Газы газонефтяных месторождений наряду с метаном содержат значительное количество тяжелых углеводородов (пропан и бутан). Состав и теплота сгорания этих газов колеблются в достаточно широких пределах (от 7559 до 12450 ккал/м³).

По способу производства искусственные газы подразделяются на газы, получаемые:

1) методом сухой перегонки (разложение твердого или жидкого топлива под действием высоких температур без доступа воздуха);

2) путем воздействия пара на твердое или жидкое топливо при высокой температуре (водяной газ);

3) путем неполного сжигания твердого или жидкого топлива (генераторный и доменный газ).

Природный газ - это заслуженно один из самых эффективных источников энергии. При сравнении с другими видами топлива и сырья у него есть множество преимуществ.

Во-первых, его стоимость. Стоимость добычи природного газа ниже, чем угля и нефти, а производительность труда намного выше. Во-вторых, его экологичность. Продукты горения газа, выводимые в окружающую среду, не засоряют ее. В-третьих, высокий уровень КПД и возможность автоматизировать процесс горения. В-четвертых, благодаря высокой температуре, возникающей в процессе горения, и удельной теплоте сгорания газ эффективно используется как энергоноситель и топливо.

Сжиженными углеводородными газами называют природные газы, которые при температуре окружающего воздуха и атмосферном давлении находятся в газообразном состоянии, а при относительно небольшом повышении давления (без снижения температуры) переходят в жидкости.

Основные источники получения сжиженных газов — газоконденсатные месторождения и попутные нефтяные газы. На газобензиновых заводах из этих газов извлекают этан, пропан, бутан и газовый бензин. Пропан и бутан, а также их смеси являются источниками химического сырья и газоснабжения, так как транспортировать и хранить их можно в виде жидкостей, а сжигать в виде газа.

Природный газ, очищенный от сероводорода, не имеет ни запаха, ни цвета, поэтому обнаружить утечку его довольно трудно. Чтобы обеспечить безопасность транспорта и использования газа, его одорируют, т. е. придают ему неприятный запах. Для этой цели в газ вводят специальные компоненты

— одоранты. Реагенты, используемые для одоризации горючих газов, должны обладать следующими свойствами:

- сильным резким характерным неприятным запахом;
- физиологической безвредностью;
- не должны агрессивно действовать на металлы газовых сетей;
- возможно меньшей растворимостью в воде и других веществах, способных конденсироваться в газопроводе;
- не должны слишком сильно поглощаться почвой, а в помещениях не должны создавать стойкий, медленно исчезающий запах;
- не должны заметно ухудшать санитарно-гигиенические условия в помещениях, где газ сжигается открытым пламенем;
- не должны быть слишком дорогими.

Наиболее часто в качестве одоранта применяют этилмеркоптан. При этом запах природных топливных газов для коммунально-бытового назначения должен ощущаться при содержании 1 % их в воздухе. Запах сжиженных углеводородных газов должен ощущаться при содержании их в воздухе 0,5 % от объема.

На всех промышленных и коммунально-бытовых предприятиях на общем вводе газопровода должен устанавливаться газовый счетчик. Измерение количества газа производится или непосредственным измерением объема (при помощи ротационных или поршневых счетчиков), или путем измерения некоторых других величин, являющихся функциями газа, проходящего по газопроводу. Например, перепада давления, происходящего при увеличении скорости потока в суженном сечении трубы. Данный метод получил наибольшее распространение в промышленности.

Для того чтобы организовать учет газового потока в любой системе (как коммунальной, так и промышленной) устанавливают счетчики газа.

Газовые счетчики относятся к отдельному классу приборов, которые предназначены для измерения объема транспортируемого по магистрали потока (в некоторых случаях учитывается проходящая масса). Объемное количество регистрируется в кубических метрах, массовое - в единицах массы (килограммах или тоннах). Для измерения количества технологических газов в большинстве случаев устанавливаются приборы учета газа именно по массе проходящего потока.

Приборы учета количества транспортируемого газа в единицу времени носят название расходомеров. Как правило, в таких счетчиках газа расход учитывается в стандартных единицах измерения ($\text{м}^3/\text{ч}$).

Классификация счетчиков газа определяется по принципу их действия, а также по назначению (или пропускной способности) оборудования.

Классификация счетчиков газа по принципу действия.

1. Диафрагменные (или мембранные) счетчики газа. Принцип действия данного оборудования основан на разделении потока на отдельные объемные доли при помощи подвижных преобразовательных элементов. Учет производится методом последовательного суммирования дискретных порций. Мембранный счетчик учета газа характеризуется достаточной точностью кон-

троля потока при относительно невысокой стоимости оборудования, длительным межповерочным интервалом (в среднем 10 лет). Однако это устройство не переносит ни временных, ни постоянных перегрузок, а кроме того, данный тип счетчиков газа чувствителен к механическим загрязнениям газовой смеси (рис. 2).

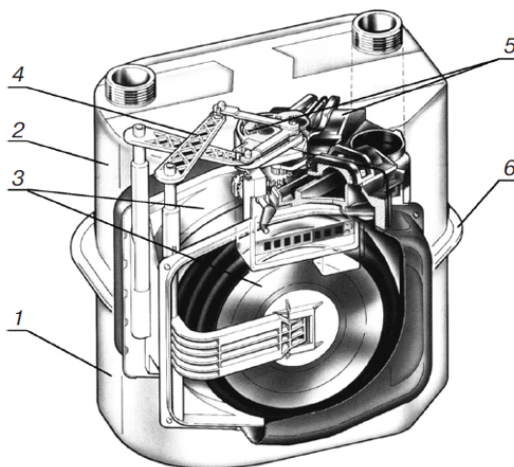


Рис. 2. Диафрагменный газовый счетчик: 1 — корпус; 2 — крышка; 3 — измерительный механизм; 4 — кривошипно-рычажной механизм; 5 — клапаны верхние газораспределительного устройства; 6 — стяжная полоса

Диафрагменный газовый счетчик состоит из корпуса 1, крышки 2, измерительного механизма 3, кривошипно-рычажного механизма 4, связывающего подвижные части диафрагм (мембран) с верхними клапанами 5 газораспределительного устройства, седел клапана (нижняя часть распределительного устройства) и счетного механизма.

Корпус и крышка счетчика могут быть:

- стальными, штампованными с покрытием против искрообразования и коррозии. Соединение стального штампованного корпуса и крышки осуществляется посредством герметизирующего материала и стяжной пластины 6, они обеспечивают плотное прилегание двух частей друг к другу;
- алюминиевыми, литыми.

Корпус и крышка счетчика в таком исполнении герметично закрываются при помощи специальных прокладок и комплекта винтов, один из которых выполняет роль пломбы. Детали и узлы измерительного механизма для мембранных счетчиков обычно изготавливают из пластмасс. Применение пластмассовых измерительных механизмов значительно снижает себестоимость продукции, увеличивает стойкость к воздействию химических компонентов, находящихся в газе, значительно уменьшает коэффициент трения в движущихся частях счётного механизма и препятствует обману или остановке счётчика при помощи различных магнитов.

В зависимости от конструкции, класса (объемов измеряемого газа) измерительный механизм может состоять из двух или четырех камер.

2. Ротационные счетчики газа. В приборах данного типа преобразовательным элементом, разделяющим газовый поток, является вось-

миобразный ротор (рис. 3). С каждым оборотом роторов происходит чередующее наполнение и опорожнение объемов с левой и правой сторон рабочей камеры, соответствующее вполне определенному количеству газа, прошедшему через данный прибор, что фиксируется обычным счетчиком оборотов, связанным передачей с валом одного из роторов. Оборудование отличается длительным сроком эксплуатации, высокой точностью измерений даже в случае скачкообразно меняющегося объема, довольно большой пропускной способностью, устойчивостью к незначительным перегрузкам. Недостатком ротационного счетчика учета газа является относительно высокая стоимость прибора, которая объясняется особенностями изготовления (для оборудования этого типа применяют ряд дорогостоящих материалов, а также используют более тонкую подгонку деталей).

Ротационные счетчики обеспечивают точность измерений $\pm 2\%$ на расходе от 20 до 120 % от номинального расхода.

Ротационные счетчики рассчитаны на давление не более 13 кПа и их обычно устанавливают после регулятора давления газорегуляторного пункта.

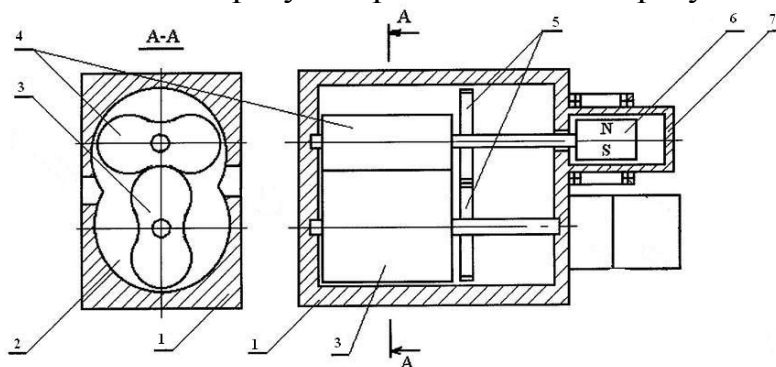


Рис. 3. Схема устройства ротационного счетчика:

1 – корпус; 2 – приемная камера; 3, 4 – роторы; 5 – шестерни; 6 – магнитная муфта; 7 – счетный механизм

3. Турбинные счетчики газа. В устройствах данного типа газовый поток приводит к вращению турбины, при этом число полных оборотов в единицу времени соотносится с количеством пропущенной по магистрали газовой смеси.

В турбинном газовом счетчике (рис. 4) колесо турбины приводится во вращение под воздействием потока газа, число оборотов колеса прямо пропорционально протекающему объему газа. Число оборотов турбины через понижающий редуктор и газонепроницаемую магнитную муфту передается на счетный механизм, находящийся вне газовой полости. Счетный механизм показывает (по нарастающей) суммарный объем газа, прошедшего через прибор при рабочих условиях.

На крайнем зубчатом колесе редуктора закреплен постоянный магнит, а вблизи колеса — два геркона, частота замыкания контактов первого пропорциональна скорости вращения ротора турбины, т.е. скорости потока газа. При появлении мощного внешнего магнитного поля контакты второго герко-

на замыкаются, что используется для сигнализации о несанкционированном вмешательстве.

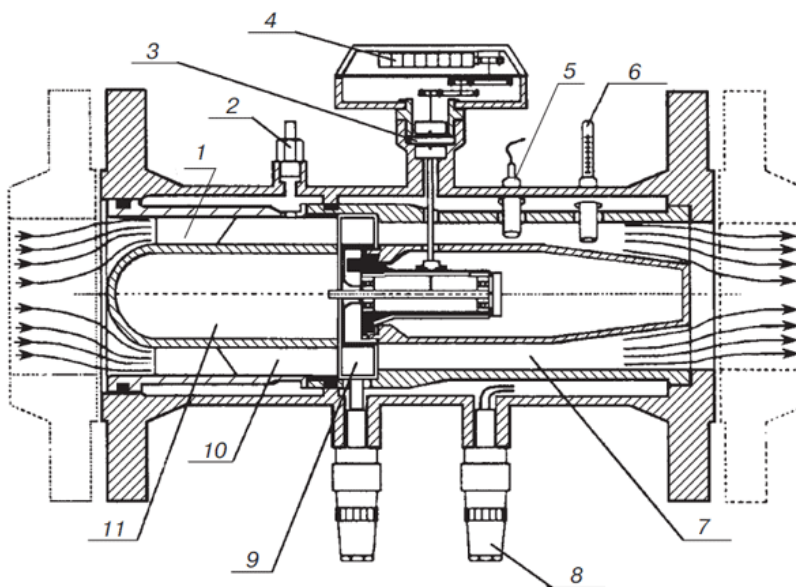


Рис. 4. Устройство турбинного счетчика газа: 1, 10 — измеряемое поперечное сечение; 2 — реле давления; 3 — магнитная муфта; 4 — счётный механизм; 5 — термоизмерительный зонд РТ-100; 6 — контрольный термометр; 7 — канал выхода; 8 — датчики импульсов; 9 — колесо турбины; 11 — вытесняющее тело.

Конструктивно турбинные счетчики газа представляют собой отрезок трубы с фланцами, в проточной части которой последовательно по потоку расположен входной струйный выпрямитель, узел турбины с валом и опорами вращения. На корпусе счетчика установлен узел масляного насоса, с помощью которого в зону подшипников по трубкам подается жидкое масло. На корпусе турбины предусмотрены места для установки датчиков для измерения давления, температуры, импульсов.

По степени автоматизации процесса измерений, а также обработки результатов измерений турбинные счетчики газа выпускаются в следующих вариантах комплектации:

- для отдельных измерений контролируемых параметров с произвольно выбранными средствами обработки результатов измерений (счетными устройствами ручного действия, микрокалькуляторами и т. д.);
- для полуавтоматических измерений контролируемых параметров с вычислительными устройствами обработки результатов измерений и устройствами с ручным вводом значений условно-постоянных параметров, или ручной коррекцией результатов измерений и вычислений;
- для автоматических измерений всех контролируемых параметров с вычислительными устройствами обработки измерительных результатов.

4. *Вихревые расходомеры (газовые счетчики).* Вихревыми называются газовые счетчики, основанные на зависимости от расхода частоты колебаний давления, возникающих в потоке в процессе вихреобразования или колеба-

ния струи либо после препятствия определенной формы, установленного в трубопроводе, либо специального закручивания потока.

Свое название вихревые расходомеры (счетчики газа) получили от явления срыва вихрей, возникающих при обтекании потоком жидкости или газа препятствия. Это препятствие обычно выполняется в виде усеченной трапецеидальной призмы (рис. 5). Позади тела обтекания располагается чувствительный элемент, воспринимающий вихревые колебания.

К достоинствам вихревых счетчиков газа следует отнести: отсутствие подвижных частей, независимость показаний от давления и температуры, большой диапазон измерений, частотный измерительный сигнал на выходе, возможность получения универсальной градуировки и сравнительно небольшая стоимость.

К недостаткам вихревых газовых счетчиков относятся значительные потери давления (до 30-50 кПа) и ограничения возможностей их применения: они не пригодны при малых скоростях потока газа, для измерения расхода в загрязненных и агрессивных средах.

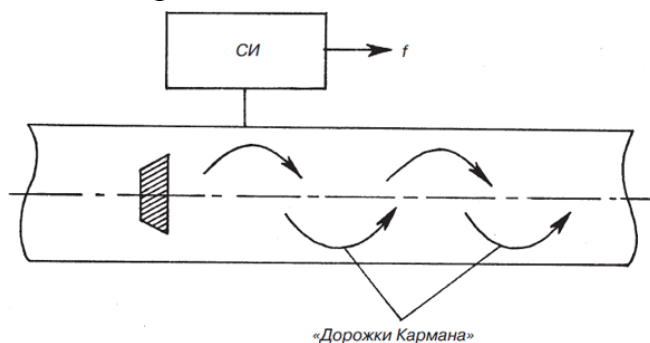


Рис. 5. Схема вихревого первичного преобразователя расхода (СИ - устройство счета импульсов в вихревом счетчике газа)

Бытовые газовые счетчики для дома, как правило, относятся к оборудованию диафрагменного типа. Такие устройства способны с достаточной точностью учитывать газовый поток небольшого объема (до 12 м³/ч).

Коммунальные счетчики газа могут быть представлены оборудованием мембранного, ротационного или турбинного типа, способного обеспечить достоверный контроль газового потока объемом от 10 до 40 м³/ч.

В качестве промышленных счетчиков газа применяют ротационные или турбинные приборы учета, пропускная способность которых превосходит 40 м³/ч.

В большинстве случаев при маркировке приборов учета газа производитель проставляет номинальный объем, в пределах которого оборудование способно точно учитывать газовый поток. Для того чтобы выбрать нужный прибор учета, необходимо суммировать данные, указанные в документации на все оборудование, а затем полученное значение увеличить на 30 %. Это вполне достаточный запас, который обеспечивает надежную работу прибора.

В связи с тем что объем газов значительно изменяется при нагревании, охлаждении и сжатии, их приводят к нормальным и стандартным условиям.

Температура - мера теплового состояния тела. Температуру газа, транспортируемого по газопроводам, измеряют термометрами, шкала которых имеет две постоянные точки: таяния льда (0 °С) и кипения воды (100 °С). Применяют также и шкалу Кельвина. Для измерения температуры применяют жидкостные термометры с диапазоном измерения от - 200 до 1200 °С, ртутные, спиртовые и толуоловые. Также иногда используются платиновые и медные термометры сопротивления.

Нормальными условиями принято считать температуру, равную 0 °С при давлении 101,325 кПа. На практике за единицу измерения количества газа принимают 1 м³ газа, взятого при давлении 101,325 кПа, температуре 20 °С и влажности, равной 0. Эти условия принято считать стандартными. Для пересчета параметров, характеризующих состояние газа, на нормальные или стандартные условия можно использовать следующие формулы:

приведение газа к нормальным условиям:

$$V_0 = V_t \cdot \frac{273,2 \cdot P_t}{(273,2 + t) \cdot P_0}, \text{ м}^3; \quad (1)$$

приведение газа к стандартным условиям:

$$V_{20} = V_t \cdot \frac{(273,2 + 20) \cdot P_t}{(273,2 + t) \cdot P_0}, \text{ м}^3; \quad (2)$$

где V_0 — объем газа при нормальных условиях, м³;

V_t — объем газа при заданном давлении и температуре t , м³;

P_t — давление газа при температуре t , кПа;

P_0 — нормальное давление газа, равное 101,325 кПа.

Масса газа в единице объема называется плотностью. Применительно к газам плотность имеет размерность килограмм на кубический метр и определяется обычно при температуре 0 °С и давлении 101,325 кПа.

Чтобы показать, насколько 1 м³ данного газа легче или тяжелее 1 м³ воздуха, определяют относительную плотность. Для этого необходимо плотность газа разделить на плотность воздуха при нормальных условиях.

Газорегуляторным пунктом (установкой) называется комплекс технологического оборудования и устройств, предназначенный для понижения входного давления газа до заданного уровня и поддержания его на выходе постоянным (рис. 6).

Газорегуляторные пункты и установки можно классифицировать следующим образом:

- по назначению: домовые и промышленные.

- по числу выходов: с одним и более выходами.

- по технологическим схемам:

- с одной линией редуцирования;

- с основной и резервной линиями редуцирования;

- с двумя линиями редуцирования, настроенными на разное выходное давление, и с двумя резервными линиями;

с четырьмя линиями редуцирования (две основные, две резервные), с последовательным редуцированием, с одним или двумя выходами.

Газорегуляторные пункты (автоматические устройства) выполняют следующие функции: снижают давление газа до заданного значения; поддерживают заданное давление вне зависимости от расхода газа и его давления перед ГРП; прекращают подачу газа при повышении или понижении его давления после резервуаров сверх заданных пределов; очищают газ от механических примесей.

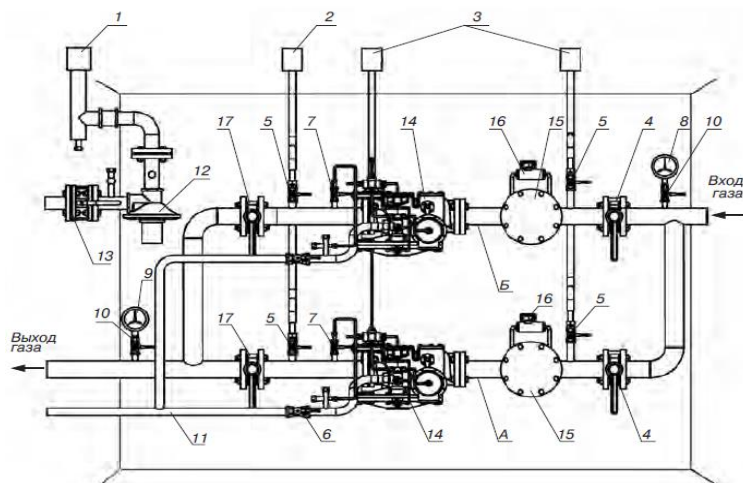


Рис. 6. Газорегуляторный пункт (ГРП) с основной и резервной линиями редуцирования:

- 1, 3 — сбросные и продувочные трубопроводы; 2 — настроечная свеча; 4, 5, 6, 7, 13, 17 — запорная арматура; 8, 9 — манометр; 10 — кран шаровый для манометра; 11 — импульсный трубопровод; 12 — предохранительный сбросной клапан; 14 — регулятор давления газа с предохранительным запорным клапаном; 15 — фильтр газовый; 16 — индикатор перепада давления

2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЧЕТЧИКОВ ТЕПЛА

Необходимость оперативного определения расхода теплоты и теплотерьер с особой остротой выявилась в последнее время в связи с требованием экономии топливно-энергетических ресурсов.

Учет и регистрация отпуска и потребления тепловой энергии организуются с целью:

- осуществления взаимных финансовых расчетов между энерго-снабжающими организациями и потребителями тепловой энергии;
- контроля за тепловыми и гидравлическими режимами работы систем теплоснабжения и теплопотребления;
- контроля за рациональным использованием тепловой энергии и теплоносителя;
- документирования параметров теплоносителя: массы (объема), температуры и давления.

Учет тепловой энергии и теплоносителя осуществляется:

- на источнике теплоты (ТЭЦ, районные тепловые станции, котельные);

- у потребителя теплоты (жилые, общественные, производственные здания и сооружения).

Область применения - системы коммерческого учета и контроля выработки и потребления тепловой энергии в закрытых и открытых системах централизованного теплоснабжения или горячего водоснабжения.

Процесс измерения сводится к комплексному измерению давлений, перепадов давлений (расходов) и температур с последующими расчетными операциями.

Измерительная система теплосчетчика «Квант» (рис. 7) состоит из электромагнитного (индукционного) расходомера (ИР), платиновых терморезисторов - измерительных преобразователей температуры прямого и обратного потоков и автоматического вычислительного прибора (АВП).

Подающий трубопровод расположен между полюсами электромагнита М, под действием которого ионы жидкости отдают заряды измерительным электродам Э, создавая ток, пропорциональный расходу V . Измерительный блок (ИБ) трансформирует сигнал о расходе и передает на АВП, куда также поступают сигналы от терморезисторов $RK1$ и $RK2$. Автоматический вычислительный прибор производит счетные операции с выходом на регистрирующий прибор (РП) и АСУ.

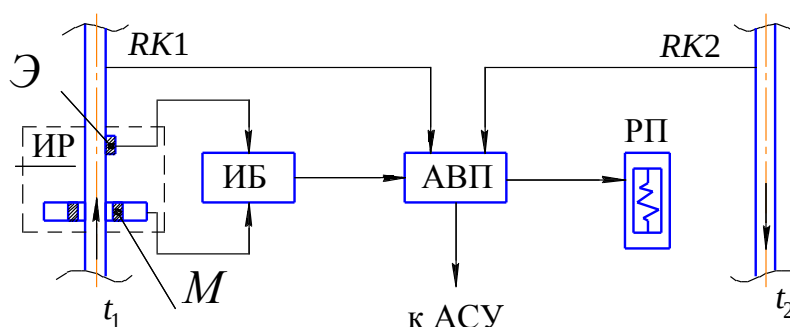


Рис. 7. Схема измерительной системы «Квант»

На рис. 8 показан комплект приборов теплосчетчика НПТО «Термо».

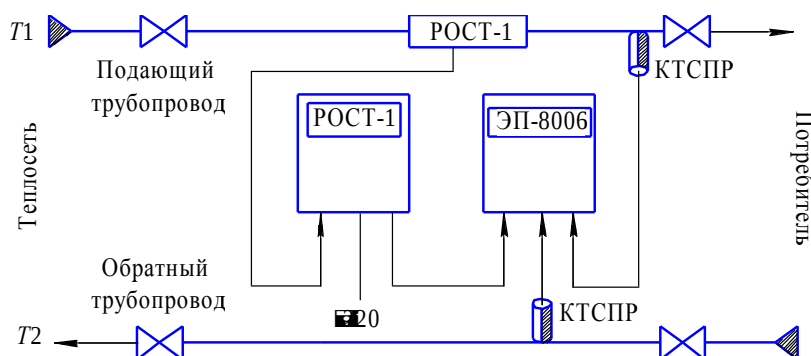


Рис. 8. Схема соединения приборов теплосчетчика НПТО «Термо»

В состав комплекта входят: электромагнитный расходомер РОСТ-1; измерительный преобразователь ЭП-8006; термометры сопротивления КТСР для измерения разности температур.

Теплосчетчик отличается высокой точностью измерения, отсутствием требований к прямолинейности участков трубопровода, отсутствием подвижных элементов в потоке. Комплект имеет цифровой шестиразрядный счетчик количества теплоты (ГДж), цифровую индикацию расхода теплоносителя, аналоговые выходные сигналы постоянного тока, частотный выходной сигнал, телеметрический измерительный преобразователь для передачи данных в систему учета энергии ИИСЭ. Индивидуальные тепломеры, широко распространенные в ряде европейских стран, оценивают расход теплоты индивидуальными потребителями, например, радиаторами центрального отопления. Стеклопластиковая градуированная трубочка, заполненная тетралином, прикрепляется к поверхности радиатора. Систематический ее нагрев приводит к испарению жидкости, по уровню которого судят о расходе теплоты.

При выполнении лабораторной работы следует использовать расчетные формулы, приведенные ниже.

Масса газа вычисляется по формуле

$$m_g = V_g \cdot \rho, \text{ кг}, \quad (3)$$

где V_g - объем газа, подсчитанный счетчиком, м^3 ;

ρ - плотность газа ($0,8 \text{ кг/м}^3$).

Масса воды, нагреваемая до температуры 80°C , при сжигании данного объема газа определяется по формуле

$$m = \frac{Q_g \cdot \eta}{c \cdot (T_2 - T_1)} \cdot m_g, \text{ кг}, \quad (4)$$

где Q_g - энергия выделяемая при сжигании 1 кг газа, МДж (таблица);

c - удельная теплоемкость воды, ($4,19 \text{ кДж/ (кг } ^\circ\text{C)}$);

T_2 - конечная температура нагрева (80°C);

T_1 - начальная температура нагрева (20°C);

η - КПД установки ($\eta = 0,9$).

Масса торфа, эквивалентная использованной массе газа, определяется по формуле

$$m_t = \frac{Q_g}{Q_t} \cdot m_g, \text{ кг}, \quad (5)$$

где Q_t - энергосодержание 1 кг торфа, МДж (таблица).

Экономия денежных средств при переводе системы отопления с торфа на газ рассчитывается по формуле

$$\Delta D = (m_t \cdot C_t - V_g \cdot C_g), \text{ руб.}, \quad (6)$$

где m_t - масса торфа, кг;

C_t - стоимость торфа (130 руб. за 1 т, в 2015 г.);

C_g - стоимость 1 м^3 природного газа (0,23 руб. в 2015 г.).

Теплотворная способность 1 кг топлива

Вид топлива	Энергосодержание		
	МДж (Q)	кВт·ч	кг у. т.
Бензин	44,7	12,43	1,53
Дизельное топливо	42,2	11,731	1,45

Нефть	41,02	11,4	1,39
Мазут	40,7	11,31	1,37
Природный газ	33,73	9,38	1,15
Сжиженный газ	46,05	12,8	1,57
Каменный уголь	35,16	9,77	1,2
Природный уголь	24	6,67	0,82
Торф	11,72	3,26	0,4
Древесина (дуб)	24,5	6,81	0,83
Древесина (ива)	11,9	3,31	0,4

Отчет должен содержать схемы газораспределительной системы лабораторной установки (лабораторный стенд), расчеты нагретой массы воды, массы торфа и экономии денежных средств, назначение и технические параметры счетчиков газа и тепла.

Тема 6. Ресурсосбережение в сельскохозяйственном производстве

6. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3

Парниковый эффект

Цель работы: изучить пути поступления парниковых газов в атмосферу, вычислить вклад одной семьи в «парниковый эффект».

Содержание работы:

1. Ознакомиться с классификацией парниковых газов и изучить их вклад в парниковый эффект.
2. Изучить источники появления парниковых газов.
3. Ознакомиться с основными причинами парникового эффекта.
4. Проанализировать пути решения сокращения выбросов парниковых газов.
5. Произвести расчет вклада одной семьи в парниковый эффект в течение года
6. Составить отчет.

Материальное обеспечение: методические указания по выполнению работы, плакаты.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Парниковый эффект — это естественное явление, которое повышает температуру на нашей планете для комфортного существования.

Парниковый эффект — это не катаклизм. Благодаря ему на земле живут все живые организмы, включая человека. Другое дело, что чрезмерность этого процесса, выход за допустимые пределы становится угрозой для всего живого на планете Земля. Поэтому и нужно понять, каким образом он может нести угрозу, и как ее избежать.

Благодаря парниковому эффекту планета Земля является комфортным местом для жизни.

На нашу планету поступает солнечная радиация, которая нагревает поверхность. Излучение от солнца коротковолновое, поэтому парниковые газы, которые находятся вокруг Земли, свободно пропускают его. Какую-то незначительную часть солнечного света могут отразить обратно аэрозоли, которые находятся вместе с парниковыми газами в атмосфере Земли.

В свою очередь, когда планета нагревается, она отдает тепловую радиацию — инфракрасное излучение (длинные волны). Но так как излучение длинноволновое, то парниковые газы не дают полностью ему улететь в космос. Частично тепловому излучению все же удастся обойти парниковые газы, но значительная доля отражается обратно, что и повышает температуру на Земле.

– Впервые это определение было использовано в 1827 году Ж. Фурье. На эту тему им даже была написана объемная статья, в которой он рассматривал различные схемы формирования земного климата. Именно Фурье впервые выдвинул и подтвердил идею о том, что оптические свойства земной атмосферы аналогичны свойствам стекла.

– Позднее шведский физик Аррениус при исследовании инфракрасных свойств водяного пара и углекислого газа выдвинул теорию, что их накопление в атмосфере может вызывать повышение температуры всей планеты. Впоследствии на основании этих исследований и возникло понятие парникового эффекта.

2. ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ

Парниковые газы – это собирательное название целого ряда газов, способных задерживать тепловое излучение планеты. В видимом диапазоне они остаются прозрачными, поглощая при этом инфракрасный спектр. У парниковых газов нет какой-то определенной формулы. Их процентное соотношение может постоянно изменяться. Итак, какие газы относят к парниковым?

К основным парниковым газам относятся (рис. 1):



Рис. 1. Список парниковых газов и их химические формулы.

1. Углекислый газ (CO_2) — считается важнейшим парниковым газом антропогенного происхождения. Углекислый газ возникает и естественным путем при круговороте углерода, но именно человек увеличил его концентрацию в атмосфере на 47% с момента индустриальной революции. Самый долго живущий в атмосфере, вследствие этого происходит его постоянное накопление.

2. Метан (CH_4) — по своему парниковому эффекту метан считается даже сильнее, чем углекислый газ, но в атмосфере его заметно меньше. Естественные источники — болота и термитники. Антропогенное происхождение — свалки, сельское хозяйство, добыча угля и природного газа. Благодаря ряду свойств обладает более сильной активностью. Согласно данным Википедии его уровень с 1750 года в атмосфере возрос более чем в 150 раз.

3. Закись азота (N_2O) образуется при сжигании твердых отходов и ископаемого топлива. Значительная часть N_2O идет от сельского хозяйства. Синтетические химические вещества, например, гидрофторуглероды, галогенированные углеводороды, гексафторид серы и другие синтетические газы. Основной источник — это химическая промышленность.

4. Гексафторид серы (SF_6)

5. Гидрофторуглероды (ГФУ).

6. Перфторуглероды – ПФУ (Perfluorocarbons – PFCs).

Озон (O_3) — естественным образом встречается в стратосфере и тропосфере Земли и не вызывает значительного парникового эффекта. Озон защищает планету от солнечного ультрафиолета. Его недостаток способствует образованию озоновых дыр.

Водяной пар — по объему занимает первое место среди всех парниковых газов, однако прямые выбросы водяного пара влияют на парниковый эффект наименьшим образом.

Сам по себе парниковый эффект — благо для нас, так как без него не было бы жизни на Земле. Если представить, что его не существует, средняя температура на Земле составляла бы -18°C , то есть реки и океаны всегда были бы замерзшими и нигде не росли растения. С его же помощью на нашей планете средняя температура достигает $+15^\circ\text{C}$.

Самый сильный парниковый эффект в Солнечной системе существует на Венере. Атмосфера планеты практически полностью состоит из углекислого газа, поэтому температура на поверхности Венеры достигает 475°C .

Кроме основных парниковых газов к усилению парникового эффекта в атмосфере приводит водяной пар. По сути, он и является основной причиной роста температуры и влажности.

Помимо вышеперечисленных, к парниковым газам относятся оксиды азота и фреоны. Вследствие активной деятельности человека их концентрация ежегодно возрастает, что значительно усугубляет негативное влияние на окружающую среду.

3. ИСТОЧНИКИ ОБРАЗОВАНИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

Земля постоянно получает и отдает энергию. По закону сохранения энергии все это должно пребывать в радиационном балансе. Но человек своими действиями вывел систему из баланса. Когда объем парниковых газов увеличивается, они все чаще и чаще не позволяют теплу покинуть атмосферу Земли. Получается, что даже то инфракрасное излучение, которое когда-то улетало в космос, теперь частично остается с нами — глобальная температура повышается.

Ученые пришли к выводу, что средняя температура на Земле выросла на 1,1°C с конца XIX века. Разница всего в 4°C ранее приводила к ледниковым эпохам, поэтому эта цифра не такая уж и маленькая. Сложился научный консенсус, что в резком росте парниковых газов в атмосфере виновата хозяйственная деятельность человека.

Что усиливает парниковый эффект:

- выбросы производств;
- добыча полезных ископаемых;
- угольные электростанции;
- автомобильные выхлопы;
- экстенсивное сельское хозяйство;
- эксплуатация зданий;
- лесные пожары;
- вырубки лесов.

Наибольший парниковый эффект вызывает сжигание топлива, его добыча и транспортировка, производство сырья (цемент, сталь и другие металлы), пищевая промышленность, захоронение и сжигание отходов. На них приходится примерно 70% всех глобальных антропогенных выбросов.

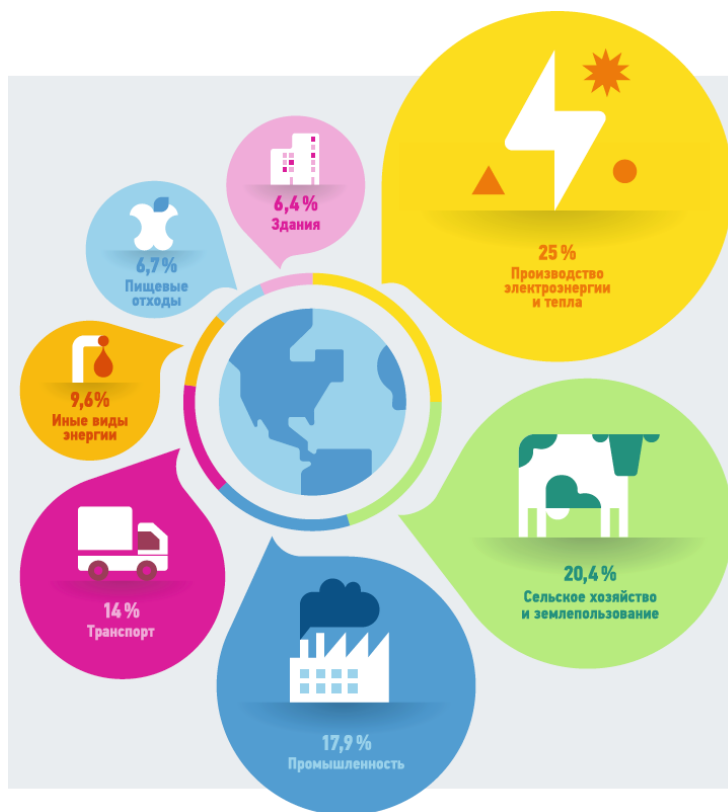


Рис. 2. Основные источники выбросов углекислого газа в атмосферу Земли

Ученые вывели потенциал глобального потепления, который позволяет сравнить климатические эффекты парниковых газов за различные периоды времени. Например, 1 кг метана поглощает тепловое излучение в 84 раза лучше, чем 1 кг CO_2 , если брать 20-летний период.

У газов разное время жизни, например, у метана оно составляет около 12 лет, у N_2O — 114 лет. Часть антропогенных выбросов углекислого газа удаляются из атмосферы в течении нескольких десятилетий, но значительная часть остается в атмосфере вплоть до нескольких тысячелетий.

Парниковые газы приводят к значительным климатическим изменениям, по своей природе источники их образования можно разделить на 2 большие группы:

1. **Техногенные.** Являются самой главной причиной возникновения парникового эффекта. К ним относятся различные виды промышленности, использующие сжигание углеводородного топлива, разработка нефтяных месторождений, выбросы автомобильных моторов.

2. **Природные.** Игрют второстепенную роль. Большая часть природных парниковых газов попадает в атмосферу при извержении вулканов. Также в эту группу можно отнести испарения Мирового океана и крупные лесные пожары.

4. ПРИЧИНЫ ПАРНИКОВОГО ЭФФЕКТА

Главной причиной развития парникового эффекта на Земле являются накапливающиеся в атмосфере газы. Превышение их концентрации приводит к изменению теплового баланса. Дополнительно в этот процесс может вовлекаться и озоновый слой. Под воздействием фреона и оксидов азота, которые также входят в список парниковых газов, он начинает стремительно разрушаться и истончаться. В результате резко возрастает уровень жесткого ультрафиолетового излучения. Таким образом парниковый эффект и разрушение озонового слоя являются цепочкой взаимосвязанных событий, оказывающих значительное влияние на биосферу всей планеты.

К основным причинам возникновения парникового эффекта можно отнести:

1. Сжигание ископаемого топлива

Ископаемые виды топлива, такие как уголь, нефть и природный газ, стали неотъемлемой частью нашей жизни. Они широко используются для производства электроэнергии и для транспортировки.

Когда они сжигаются, углерод, хранящийся в них, высвобождается, что в сочетании с кислородом создает углекислый газ. С ростом населения количество транспортных средств также увеличилось, и это привело к увеличению загрязнения атмосферы. Когда работают автомобили, они выделяют углекислый газ, который в основном и несет ответственность за усиление парникового эффекта.

Страны с наибольшим количеством выбросов CO₂ в мире представлены на рис. 2

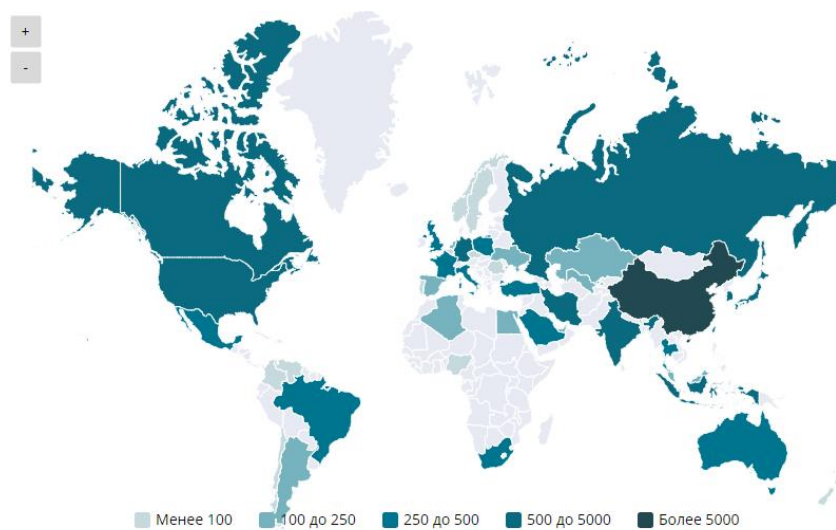


Рис. 2. Выбросы CO₂ от сжигания топлива за 2020 год (млн. тонн).

В 2020 г. случилась вспышка COVID-19, существенно повлиявшая на выбросы CO₂ (-4,9 %), особенно в первой половине года, когда карантинные меры, ограничения в сфере транспорта и замедление темпов экономического роста во многих регионах мира привели к существенному сокращению потребления нефти в транспортном секторе. Выбросы CO₂ также уменьшились в энергетиче-

ском секторе по причине снижения спроса на электроэнергию и продолжительного спада углеродного коэффициента (выбросы CO₂ на выработанный кВт·ч), что преимущественно обусловлено переходом с угля на газ и увеличением доли возобновляемых источников энергии в мировом энергетическом балансе.

В основном объем выбросов уменьшился в США (-11 %) и Европе (-11 %, спад в Германии, Испании и Великобритании), а произошло это из-за существенного сокращения выработки энергии на угольных электростанциях и увеличения «цен на углерод» в 2020 г.

Кроме того, выбросы CO₂ уменьшились в Индии (-5,5 % по причине снижения выработки энергии на угольных электростанциях и потребления нефтепродуктов), России и Канаде (сокращение выработки электроэнергии и спад добычи и потребления нефти), Японии и Южной Кореи (увеличение доли возобновляемых источников энергии в энергетическом балансе). Также выбросы сократились в Индонезии, Латинской Америке (преимущественно в Мексике, Бразилии и Аргентине), Африке (спад в ЮАР) и на Ближнем Востоке (особенно в Саудовской Аравии, где существенно уменьшилось потребление нефти).

В Китае же, напротив, выбросы CO₂ растут уже четвертый год подряд (+1,6 %) из-за быстрого восстановления спроса на электроэнергию и стабильного уровня ее производства на угольных электростанциях. Не изменил сложившуюся ситуацию даже новый подъем в сфере выработки электроэнергии из возобновляемых источников. На долю Китая в 2020 г. пришлось 31 % выбросов CO₂ в мире.

2. Вырубка лесов



Леса составляют большую зеленую зону на планете. Растения и деревья поглощают углекислый газ и выделяют кислород в процессе фотосинтеза, который необходим людям и животным для выживания.

Крупномасштабное промышленное развитие привело к вырубке деревьев и лесов, что заставило людей искать альтернативные места для жизни. Когда дрова сжигаются, накопленный углерод превращается обратно в углекислый газ.

Кроме этого, расширение сельскохозяйственных земель стало одним из самых неблагоприятных факторов для биоразнообразия планеты — из 28 тыс. видов, занесенных в красную книгу, сельское хозяйство угрожает 24 тыс. из них. Когда на месте лесов или полей строят пастбища, у диких животных не остается

места чтобы жить и добывать еду. Сейчас 94% общей массы всех млекопитающих составляет домашний скот, а лишь 6% — дикие животные.

3. Увеличение населения



В течение последних нескольких десятилетий наблюдался огромный рост населения. Теперь это привело к увеличению спроса на продукты питания, одежду и жилье. Новые производственные центры появились в городах и поселках, которые выделяют в атмосферу вредные газы, что усиливает парниковый эффект.

Кроме того, чем больше людей, тем больше использование ископаемого топлива, что, в свою очередь, усугубило проблему.

4. Сельское хозяйство



— При производстве азотных удобрений образуются парниковые газы: углекислый газ, метан и закись азота. Эффекты можно объединить в эквивалентное количество углекислого газа. Сумма варьируется в зависимости от эффективности процесса. Цифра для Соединенного Королевства составляет более 2 килограммов эквивалента диоксида углерода на каждый килограмм нитрата аммония.

— Азотные удобрения могут быть преобразованы почвенными бактериями в закись азота, парниковый газ. Выбросы закиси азота людьми, большая часть которых связана с удобрениями оценивается в 7 миллионов тонн в год, что несовместимо с ограничением глобального потепления до уровня ниже 2 ° С.

В новом отчете «Гринписа» указано, что выбросы парниковых газов, создаваемые домашним скотом, превосходят эффект, оказываемый на природу всеми автомобилями Евросоюза. По мнению экологов, даже в случае полного перехода жителей ЕС на электромобили, уровень углекислого газа, выделяемый животными, продолжит ухудшать экологическую обстановку.

Помимо этого, экологи беспокоятся за возросший уровень потребления мяса, который увеличился на 9,5 %. В связи с этим уровень парниковых выбросов вырос на 6 %. Подобный эффект сопоставим с выездом на дороги 8,4 миллионов автомобилей с ДВС. По словам специалистов, если выбросы парниковых газов от сельскохозяйственных животных продолжают расти, Евросоюз может не выполнить свои обязательства по сокращению выбросов в соответствии с Парижским соглашением.

31% парниковых газов выбрасывают животноводческие и рыболовные фермы. В основном это метан, который животные вырабатывают в процессе пищеварения. Еще в эту цифру включены выбросы от использования топлива рыболовными судами и техникой, обслуживающей пастбища и рыбные фермы.

Динамику количества крупного рогатого скота в Республики Беларусь мы видим на рис. 3.

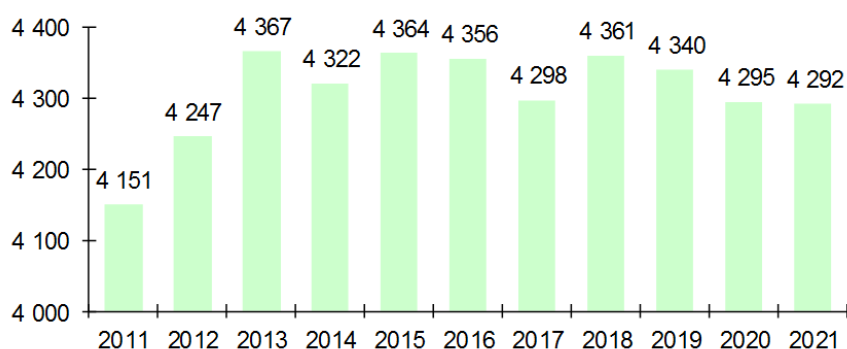


Рис. 3. Поголовье крупного рогатого скота в хозяйствах всех категорий, тысяч голов.

16% выбросов производят земли, используемые под пастбища. Деревья, другие растения, лесная почва и торфяники поглощают углекислый газ и превращают его в углерод, который хранят в себе. Но когда вырубают деревья и

вспахивают почву, они освобождают двуокись углерода обратно в воздух. Вырубка леса плоха не только потому, что все меньше деревьев выделяют кислород и поддерживают качество воздуха, но и потому, что они высвобождают парниковые газы.

6% парниковых газов от всего количества выбросов пищевого производства приходится на еду для сельскохозяйственных животных. Это выбросы от применения навоза и удобрений, а еще углекислый газ от сельскохозяйственной техники.

Мясная и молочная промышленность вместе выбрасывают больше парниковых газов, чем крупнейшие нефтяные компании мира. А общие выбросы главных мясных и молочных компаний превышают выбросы Германии или Великобритании.

Уровень развития молочной и мясной продукции на душу населения в Республике Беларусь приведены на рис. 4, рис. 5 и рис. 6.

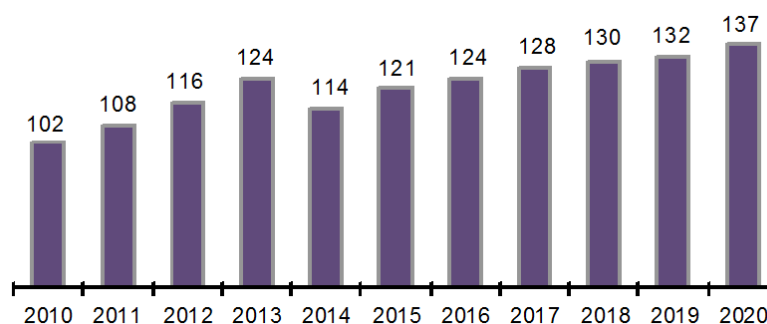


Рис.4. Производство скота и птицы на душу населения (в убойном весе, килограмм).

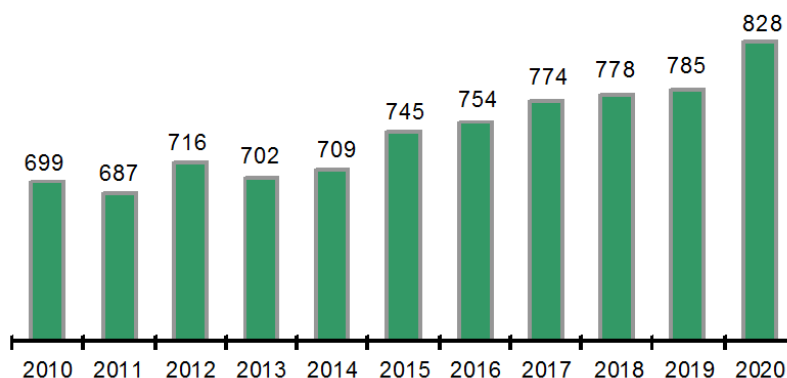


Рис. 5. Производства молока на душу населения (килограммов).

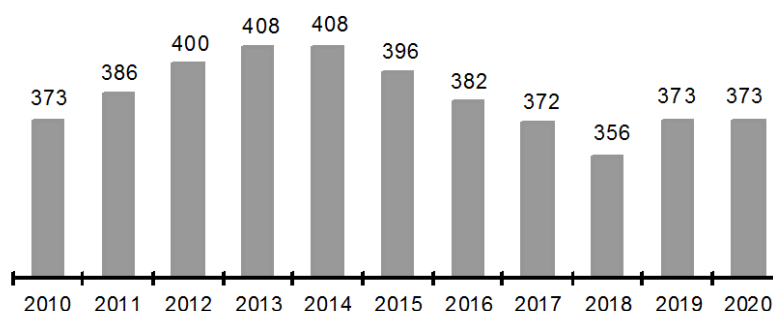


Рис. 6. Производство яиц на душу населения (штук).

Крупномасштабное земледелие может вызвать сильную эрозию почвы, в результате чего от 25 до 40 процентов почвы попадает в водные источники, при этом они несут пестициды и удобрения, используемые фермерами, тем самым еще больше загрязняя водоемы. Тенденция к постоянному увеличению размеров фермерских хозяйств была наиболее высокой в Соединенных Штатах и Европе из-за финансовых договоренностей и контрактного ведения сельского хозяйства. Более крупные фермы склонны отдавать предпочтение монокультурным культурам, чрезмерному использованию водных ресурсов, ускорению вырубки лесов и ухудшению качества почвы.

5. Промышленные отходы и свалки



Отрасли, которые занимаются производством цемента, удобрениями, добычей угля, добычей нефти, производят вредные парниковые газы. Кроме того, на свалках, заполненных мусором, образуются углекислый газ и метан, что в значительной степени способствует парниковому эффекту.

5. ПОСЛЕДСТВИЯ ПАРНИКОВОГО ЭФФЕКТА

Изменение температуры прямо пропорционально радиационному воздействию. Ученые уже подсчитали, что если количество CO_2 удвоится, это вызовет потепление от $1,5^\circ\text{C}$ до $4,5^\circ\text{C}$ — это так называемая чувствительность климата. Уже сейчас концентрация углекислого газа в 1,5 раза выше доиндустриального уровня.

Некоммерческий исследовательский центр Oxford Economics опубликовал исследование о влиянии глобального потепления на экономику. Ученые взяли за основу показатель оптимальной температуры, при которой люди работают максимально продуктивно, а сельскохозяйственные культуры дают наибольший урожай. Эксперты определили этот показатель в 15°C . Государства, в которых среднегодовая температура ниже этого значения, мо-

гут получить небольшие преимущества от потепления. Страны с более жарким климатом, наоборот, понесут ущерб.

В ходе исследования специалисты из Oxford Economics проанализировали данные о положении в 203 развитых и развивающихся странах и спрогнозировали падение мирового ВВП на 20% к 2100 году. Такой вывод основан на предположении, что средняя температура продолжит расти с такой же скоростью, что и сейчас (примерно на $0,2^{\circ}\text{C}$ в десятилетие). Выводы специалистов из Oxford Economics подтверждают результаты более раннего исследования, которое в 2015 году опубликовали ученые из Стэнфордского университета и Калифорнийского университета в Беркли.

По мнению экспертов из Oxford Economics, больше всего пострадает экономика Индии: ВВП на душу населения в стране упадет на 90% к 2100 году, если выбросы парниковых газов в атмосферу не снизятся. Специалисты также предположили, каким мог бы быть этот показатель в разных странах, если бы средняя температура была на $1,1^{\circ}\text{C}$ ниже. Согласно прогнозу, он был бы значительно выше. Например, ВВП на душу населения в Нигерии мог бы быть на 35% больше, чем сейчас.

Увеличение средней температуры на Земле меняет условия жизни на планете. Это приводит к следующим последствиям.

Таяние ледниковых масс



Из-за этого уменьшается процент солнечного излучения, отражаемого или возвращаемого земной поверхностью в атмосферу. Кроме того, отмечается глобальное повышение уровня моря и выброс больших метановых столбов.

Затопление островов и прибрежных городов



В пятом оценочном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК, 2014 г.), в период 1901-2010 гг. указывалось, что средний мировой уровень моря поднялся на 19 см. Предполагается, что к 2100 году уровень моря будет на 15–90 см выше, чем сейчас, под угрозой окажутся 92 миллиона человек.

Усиление ураганов



Ураганы будут более многочисленными и разрушительными. Усиление парникового эффекта не вызывает этих экстремальных климатических явлений, но увеличивает их интенсивность. Ураганы связаны с температурой моря – они образуются только над водами с температурой не менее 26,51°C.

Миграция видов



Многие виды животных будут вынуждены мигрировать, чтобы пережить изменения в основных климатических зонах, вызванных постепенным повышением температуры. Людям также придется переехать: согласно данным Всемирного банка, к 2050 году число людей, вынужденных покинуть свои дома из-за сильных засух или сильных наводнений, может достичь 140 миллионов человек.

Опустынивание плодородных районов



Глобальное потепление оказывает глубокое воздействие на процессы деградации почв и способствует опустыниванию земель в наиболее засушливых районах на планете. Опустынивание уничтожает весь биологический потенциал пострадавших районов, превращая их в бесплодную и непродуктивную землю. Как было признано ООН по случаю Всемирного дня борьбы с опустыниванием в 2018 году, 30% земель деградировали и потеряли свою реальную ценность.

Воздействие на сельское хозяйство и животноводство



Глобальное потепление уже изменило продолжительность вегетационного периода на большей части планеты. Аналогичным образом, изменения температуры и времени года влияют на распространение насекомых, инвазивных сорняков и болезней, которые могут повлиять на урожай.

То же самое происходит со скотом: климатические изменения напрямую влияют на важные виды по-разному – размножение, обмен веществ, болезни и т.п.

6. ПУТИ РЕШЕНИЯ ПАРНИКОВОГО ЭФФЕКТА

Существует множество путей решения проблемы, которые можно условно разделить на фантастические и реальные.

К фантастическим относится предложение распылить частички серебра в стратосфере, чтобы те отражали как можно больше солнечного света. Так Солнце не будет нагревать нашу планету, а та в свою очередь меньше будет отдавать тепла. По этой же причине некоторые ученые предлагают искусственно вызывать облака, так как они способны отражать солнечный свет, поступающий на Землю.

Что можно реально делать уже сейчас, чтобы парниковый эффект не навредил нам в будущем:

1. сократить использование ископаемого топлива и переходить на возобновляемые источники энергии;
2. повышать энергоэффективность и модернизировать технологий по сбережению энергии;
3. заниматься устойчивым лесопользованием и контролировать лесные пожары;
4. переходить к экологически бережному сельскому хозяйству;
5. восстанавливать почвенный покров, так как потеря гумуса напрямую влияет на парниковый эффект;

6. отказаться от личного транспорта и переходить на велосипеды, общественный транспорт и электромобили.
7. повышать экологическую самосознательность среди граждан и различных администраций;
8. внедрять обязательную утилизацию и массовое использование вторсырья;
9. уменьшать потребление мяса, заменяя его органическими продуктами.

Несмотря на то, что основной причиной развития парникового эффекта на земле являются разные виды жизнедеятельности, не только человека, именно он может непосредственно повлиять на проблему. Это то, что отличает его от остальных видов. А значит, безопасное будущее планеты в его руках.

7. ОЦЕНКА ВКЛАДА ОДНОЙ СЕМЬИ В ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ

Поскольку человек потребляет энергию не только в хозяйственной деятельности, но и в быту. Причем, при ее потреблении человек превращает в основном энергию, полученную из ископаемого органического топлива, в тепловую. Поэтому необходимо учитывать вклад бытового потребления человека энергии в парниковый эффект.

1. Необходимо посчитать, сколько одна семья израсходует электроэнергии за год с января по декабрь включительно (заполнить табл. 1). Для этого можно воспользоваться заданными данными согласно варианту задания (табл. 2).

Таблица 1. Расход электрической энергии за год для отдельной семьи, кВт·ч

Месяц												Год
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	

Таблица 2. Варианты заданий

Вариант	Месяц											
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	284	294	324	200	150	178	91	174	220	235	295	303
2	330	312	281	269	266	337	383	419	238	300	301	245
3	106	150	195	200	100	118	80	302	200	200	200	200
4	126	150	220	255	145	168	128	304	250	250	200	210

5	200	100	200	150	100	150	400	200	200	200	200	200
6	210	110	230	150	120	280	500	300	300	210	210	260
7	200	200	100	200	200	100	100	200	50	100	50	50
8	300	220	250	330	300	200	150	300	100	120	70	60
9	170	112	118	142	111	158	156	169	128	125	113	154
10	82	182	144	169	174	171	188	190	155	126	138	240
11	188	115	87	115	99	83	93	139	59	110	120	132
12	234	109	104	115	108	74	67	110	72	105	110	141
13	422	224	191	230	207	157	160	429	131	215	230	273
14	317	323	273	310	292	299	261	336	307	329	298	343
15	510	502	430	450	415	390	529	388	487	443	342	37
16	345	276	348	270	314	298	402	456	386	354	353	297
17	73	45	29	54	30	54	52	86	43	42	11	76
18	287	292	328	205	150	178	91	175	221	230	290	305
19	328	313	286	289	264	332	390	418	240	302	331	249
20	109	154	190	209	120	112	180	202	203	210	220	201
21	155	122	195	109	104	115	108	74	67	110	185	209
22	94	136	220	323	273	310	292	299	261	336	307	120
23	88	103	200	87	115	99	83	93	139	59	110	120
24	284	255	230	289	264	332	390	418	240	302	331	249
25	301	264	430	317	323	273	310	292	299	261	336	350

Окончание таблицы 2

26	313	237	191	115	108	74	67	110	72	105	110	141
27	105	138	191	154	190	209	120	112	180	202	203	210
28	138	177	190	200	150	100	150	400	200	200	200	200
29	150	195	205	191	230	207	157	160	429	131	215	235
30	227	250	289	224	191	230	207	157	160	429	131	215

2. Исходя из данных таблицы 3 определить объем производства электрической энергии на различных типах электрических станций.

Таблица 3. Структура производства электрической энергии, %

Виды станций	Беларусь	Россия	Швеция	Канада
Тепловые станции	97,17	62,92	10,2	8,5
Атомные станции	0,87	19,32	41,2	14,2
Гидроэлектростанции	1,03	17,61	37,1	70,2
Ветроэлектростанции	0,48	0,03	11,2	6,3
Солнечные электрические станции	0,44	0,12	0,3	0,8

3. По полученным данным определить выбросы парниковых газов, вышедших для получения необходимого количества энергии для одной семьи пользуясь таблицей 4

Таблица 4. Граммы эквивалента CO₂ на киловатт-час электрической энергии

Виды станций	Значение
Тепловые станции (угольная/газовая)	950/520
Атомные станции	26
Гидроэлектростанции	15
Ветроэлектростанции	12
Солнечные электрические станции	52

4. Определить количество выделяемого углекислого газа одной семьи в течение года в зависимости от региона:

$$m = \sum E_{\text{эл}} \cdot q_i \cdot \alpha \quad (1)$$

где $E_{\text{эл}}$ – расход электрической энергии, кВт·ч;

q_i – величина эквивалента CO_2 при производстве электроэнергии на различных электрических станциях, гр.;

α – доля производства электрической энергии, % (табл. 3)

Полученные данные свести в таблицу 5

Таблица 5. Количество углекислого газа за год для отдельной семьи, гр.

Вид топлива	Месяц												Год
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	
Беларусь													
Россия													
Швеция													
Канада													

5. Построить график зависимости количества выбросов углекислого газа от объемов потребления электрической энергии для каждого региона. Сделать вывод о том, какой способ производства электрической энергии наиболее экологичен.

6. Предложить мероприятия по уменьшению вклада бытового потребления электроэнергии в «парниковый эффект».

Тема 7. Организационно-техническое обеспечение ресурсосберегающих технологий производства кормов для животноводства.
Тема 8. Резервы энергосбережения в сельскохозяйственном производстве

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4

Производство и использование биогаза

Цель работы: овладеть практическими навыками получения биогаза и технологического расчета биогазовых установок.

При выполнении работы необходимо:

- 1) изучить технологию производства и использования биогаза, а также состав и назначение оборудования биогазовых установок;
- 2) знать особенности производства биогаза из отходов животноводческих предприятий;
- 3) владеть информацией о состоянии и перспективах развития биогазового производства в Республике Беларусь;
- 4) выполнить технологический расчет параметров биогазовой установки.

1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА

Биогаз получают водородным или метановым брожением биомассы. Метановое разложение биомассы происходит под воздействием трех видов бактерий. В цепочке питания последующие бактерии питаются продуктами жизнедеятельности предыдущих. Первый вид – бактерии гидролизные, второй – кислотообразующие, третий – метанообразующие. В производстве биогаза участвуют не только бактерии класса метаногенов, а все три вида. Одной из разновидностей биогаза является биоводород, где конечным продуктом жизнедеятельности бактерий является не метан, а водород.

Биогаз – смесь газов, образующихся при метановом брожении биомассы в биогазовом реакторе под воздействием анаэробных бактерий – метаногенов. Процесс производства биогаза в промышленной установке является ускоренным вариантом природного цикла разложения органического вещества, но, в отличие от естественных процессов, метановым брожением в биогазовой установке можно эффективно управлять. В установках и комплексах для получения биогаза используются специальные штаммы анаэробных бактерий. Это позволяет производить до 27000 кВт · ч электрической энергии из биомассы, собираемой с одного гектара кукурузы. Эффективность современных технологий поразительна: отдача энергии с одного гектара «энергетических» культур в пять раз превышает энергозатраты на выращивание урожая и его преобразование в биогаз.

Получение биогаза возможно в установках самых разных масштабов, однако особенно эффективна эта технология на крупных животноводческих комплексах с возможностью полного экологического цикла. Для переработки

также могут быть использованы бытовые отходы и органический мусор. Кроме этого во многих странах практикуется выращивание специальных «энергетических» культур: кукурузы, сахарной свеклы и других растений с большой вегетативной массой.

Метановое брожение биомассы происходит в реакторах (ферментаторах), где искусственно создаются оптимальные для протекания процесса условия. Установка для получения биогаза состоит из нескольких компонентов, тщательно подобранных друг к другу. Большинство операций на современной биогазовой установке автоматизировано. Каждый ее элемент диагностируется и управляется дистанционно.

Метанобразующие бактерии разлагают биомассу в реакторах – больших герметичных резервуарах из стали или бетона. В реакторы подается свежая органическая масса, являющаяся питательным материалом для бактерий. Система управления обеспечивает подачу в реактор заданного количества биомассы. При этом ведется учет объемов как загруженного сырья, так и произведенного из него биогаза.

Принципиальная схема получения биогаза приведена на рис. 1.



Рис. 1. Технологическая схема процесса производства и использования биогаза

Основным и самым крупным элементом биогазовой установки является реактор. Именно в нем создаются оптимальные условия для жизнедеятельности бактерий, и от совершенства конструкции реактора зависит как эффективность процесса метанового брожения, так и установки в целом. По функциональному назначению оборудование реактора можно разделить на следующие системы: подготовки и загрузки сырья, сбраживания биомассы (ферментатор), сбора биогаза, удаления отработанного субстрата.

Система подготовки и загрузки сырья обеспечивает регулярное «питание» реактора свежей жидкой и твердой биомассой. Отходы животноводческого предприятия (навоз КРС и свиней, помет птицы, канализационные стоки) подаются в приемную емкость для жидкого сырья. На этом этапе, при необходимости увеличения влажности сырья, в него добавляют требуемое

количество воды. Далее производят смешивание (гомогенизацию) жидкого сырья и с помощью насоса перекачивают его в ферментатор биогазового реактора. Твердое сырье (зеленая масса, силос, отходы цехов убоя и мясопереработки) после предварительного измельчения подается шнековым загрузчиком непосредственно в ферментатор.

Метанобразующие бактерии могут жить и размножаться в питательной среде, содержащей не менее 50 % воды. Большинство современных биогазовых установок перерабатывают сырье (субстрат) с содержанием сухого вещества в пределах 5...18 %. Если содержание сухого вещества составит менее 5 %, то процесс брожения также будет происходить, но для его протекания потребуется значительно больший объем ферментатора, что негативно скажется на рентабельности производства биогаза. Содержание сухого вещества в сырье более 18 % является верхней границей, при которой субстрат можно перекачивать насосом и перемешивать в ферментаторе.

Существуют два способа производства биогаза: периодический и непрерывный. Периодический способ предусматривает одномоментное заполнение ферментатора свежим субстратом. При использовании периодического способа суточные объемы производства биогаза первоначально увеличиваются, достигают максимума, а затем, по мере израсходования бактериями питательных веществ субстрата, снижаются (рис. 2). В определенный момент ферментатор освобождают от отработанного субстрата, заполняют свежим, затем цикл повторяется. Периодический способ не обеспечивает равномерного производства биогаза, и это является основным его недостатком.

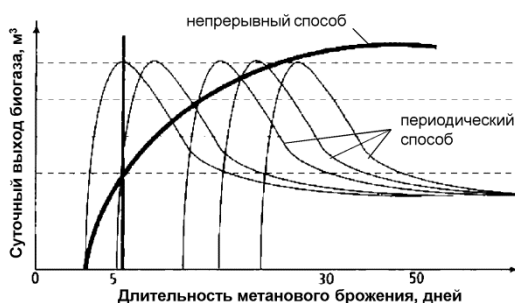


Рис. 2. Динамика выхода биогаза при различных способах производства

Для обеспечения равномерной выработки биогаза используют непрерывный способ (см. рис. 2), при котором свежий субстрат подается, а отработавший дигестат удаляется из ферментатора небольшими порциями на протяжении суток, и так процесс продолжается в течение нескольких лет.

Ключевым параметром, определяющим работу установки в режиме непрерывного производства биогаза, является удельная загрузка ферментатора, равная отношению массы органического сухого вещества, содержащегося в суточной порции свежего субстрата, к рабочему объему ферментатора. Удельная загрузка ферментатора имеет размерность кг о. с. в/м³ (килограммов органического сухого вещества в одном кубическом метре). Величина

удельной загрузки ферментатора зависит от температуры и продолжительности разложения биомассы. Чем ниже температура и чем дольше время брожения, тем больше органического материала может быть загружено в 1 м³ объема ферментатора. На практике часто встречается загрузка ферментатора в 2...3 кг органического сухого вещества на 1 м³ в день. Если загрузка увеличивается до 4...5 кг о. с. в/м³, то активность бактерий снижается и производство биогаза уменьшается, т. е. установка считается перегруженной.

Система сбраживания биомассы включает технические средства для подогрева и перемешивания субстрата. Ее задачей является создание в ферментаторе благоприятных условий для жизнедеятельности метанобразующих бактерий.

В большинстве промышленных биогазовых установок температура субстрата в ферментаторе находится в пределах 25...55 °С. Таким образом, для обеспечения круглогодичной работы установки в климатических условиях Республики Беларусь требуется подогрев субстрата в ферментаторе. Подогрев может выполняться с помощью внешних, расположенных за пределами ферментатора, или внутренних теплообменников.

Спиральные теплообменники (рис. 3) относятся к устройствам внешнего типа. Внутри них по одному витку спирали движется субстрат, по второму – теплоноситель (горячая вода). Противоточное (навстречу друг другу) движение субстрата и воды повышает эффективность теплообмена. Спиральные теплообменники отличаются высокой тепловой мощностью при компактной конструкции, имеют модульное построение и легко масштабируются. Кроме того, они надежны, просты в обслуживании и могут использоваться для одновременного подогрева нескольких ферментаторов.

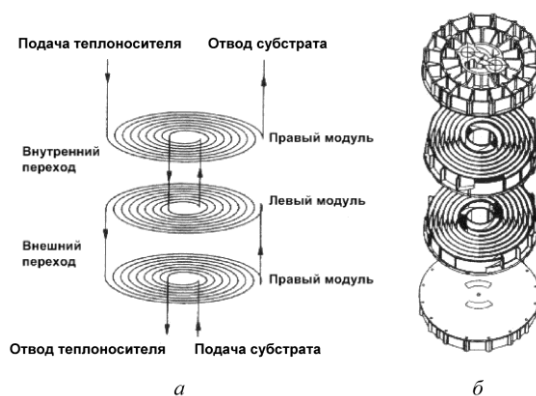


Рис. 3. Схема движения субстрата и теплоносителя (а) и общий вид модулей (б) спирального теплообменника

Внутренние теплообменники располагаются непосредственно в ферментаторе и представляют собой сеть труб с условным проходным диаметром от 1/2 до 1 дюйма (12,7...25,4 мм), по которым циркулирует горячая вода. По конструктивному исполнению внутренние теплообменники могут быть вмонтированы в основание или закреплены на боковой поверхности ферментатора. По сравнению с внешними внутренние теплообменники имеют худшие показатели эффективности и равномерности подогрева субстрата в реак-

торе. Также имеется риск механического или химического повреждения труб в случае их открытого монтажа на стенах ферментатора.

В климатических условиях Республики Беларусь теплоизоляция реактора и трубопроводов подачи горячей воды является обязательной составляющей. При этом ферментатор можно изолировать как снаружи, так и изнутри. В связи с тем, что использование внутренней теплоизоляции сопряжено с объективными сложностями (изоляционный материал должен быть неплавучим, а также устойчивым к субстрату, бактериям, кислотам и механическим повреждениям), ферментаторы обычно изолируют снаружи. В качестве изоляционных материалов наибольшее распространение получили минеральные волокна (ваты), синтетические плиты и пены (табл. 1).

Таблица 1. Характеристики конструкционных и изоляционных материалов

Виды материалов	Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м · °С)
Сталь конструкционная	7700...7900	47...58
Бетон	500...1800	1,5...1,7
Вата минеральная	30...50	0,035...0,050
Плиты полистирольные	20...45	0,038...0,052
Плиты из экструдированного пенополистирола	30...80	0,029...0,032
Пена полиуретановая	20...35	0,022...0,038

Как правило, субстрат в ферментаторе перемешивают несколько раз в сутки с целью достижения следующих эффектов:

- перемешивание свежего и ферментированного субстрата способствует переселению колоний бактерий в новый материал;
- обеспечение равномерного нагрева субстрата в ферментаторе;
- предотвращение образования поверхностной корки или расслоения субстрата;
- облегчение выхода пузырьков газа из глубинных слоев субстрата.

Перемешивание может осуществляться механическим (использование лопастных мешалок), гидравлическим (за счет принудительной циркуляции субстрата) и пневматическим (путем прокачки выработанного биогаза через субстрат) способами (рис. 4).

В субстратах с невысоким содержанием сухого вещества (5...10 %) маленькие пузырьки биогаза поднимаются на поверхность самостоятельно. Однако в современных биогазовых установках прослеживается тенденция к использованию более густых субстратов (содержание сухого вещества 15...18 %). При этом повышенная вязкость среды мешает свободному выходу газа на поверхность и, например, при отключении мешалки субстрат начинает увеличиваться в объеме, словно дрожжевое тесто. В таком случае, если не предпринять срочных действий по нормализации ситуации, дальнейшее расширение субстрата может привести к подъему перекрытия ферментатора и к срыву его пленочного купола. Из этого следует, что перемешивание

вание важно не только для предотвращения образования поверхностной корки или расслоения субстрата, но и для выведения выработанного биогаза. И чем гуще субстрат, тем чаще надо его перемешивать.

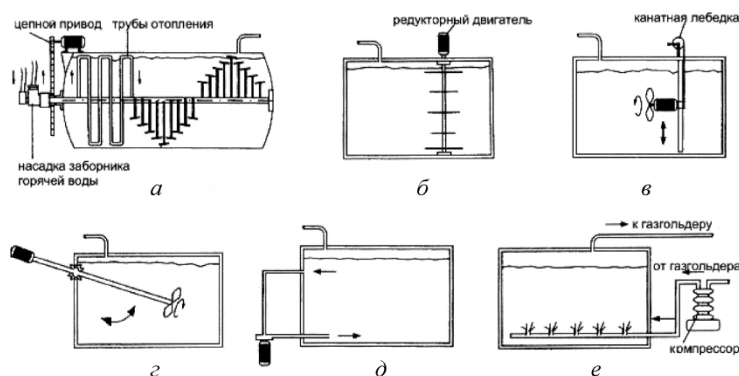


Рис. 4. Способы перемешивания субстрата в ферментаторе:

а – горизонтальная лопастная мешалка; *б* – вертикальная лопастная мешалка; *в* – пропеллерная мешалка с погружным электродвигателем; *г* – шарнирно закрепленный миксер; *д* – перемешивание субстрата гидравлическим способом; *е* – пневматический способ перемешивания прокачиванием биогаза через субстрат

Процесс метанового сбраживания позволяет решать важную для сельского хозяйства задачу поддержания плодородия почвы. Использование отработанного в реакторе биогазовой установки субстрата (дигестата) в земледелии способствует получению на 10...15 % большей урожайности сельскохозяйственных культур, чем при внесении в почву обычного навоза. Объясняется это тем, что при брожении минеральные вещества навоза и помета превращаются в более усвояемые для растений формы, а также происходит уничтожение возбудителей болезней и семян сорняков.

Удаление отработанного субстрата из биогазовых установок в большинстве случаев происходит самотеком, путем отвода лишней массы через переливную *U*-образную трубу. Дигестат поступает в хранилище (лагуну), где выдерживается до момента внесения на поля в виде жидкого органического удобрения. Поскольку отработанный материал плотнее активного, производящего газ субстрата, то сливную трубу располагают у дна ферментатора.

В процессе метанового сбраживания на дне ферментатора накапливается плотная илистая масса, состоящая из песка, непереваренных остатков корма и т. п., которую не удастся вывести из реактора описанным выше способом. При этом оседающие отложения постепенно уменьшают рабочий объем ферментатора, а также нарушают стабильность процесса производства биогаза. Существует четыре варианта борьбы с накоплением подобных веществ в ферментаторе:

- субстрат непрерывно перемешивают с такой интенсивностью, чтобы плотные включения пребывали во взвешенном состоянии;
- помимо основного перелива, ведущего в лагуну, предусматривают один или несколько донных отводов для осадка;
- периодически (каждые 4–5 лет) открывают реактор и выгружают осадок;

– ферментатор изначально оснащают специальным устройством для удаления осадка, состоящего из вращающегося донного скребка, зумпфа (нижняя часть шахтного ствола, отстойник для сбора грунтовых вод или гидросмеси) для сбора илистых частиц и наклонного выгрузного шнека (рис. 5).

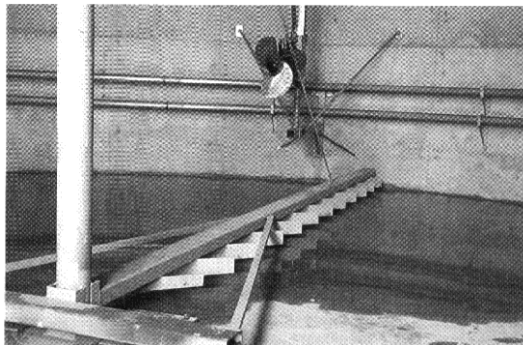


Рис. 5. Общий вид донного скребка для удаления ила из ферментатора

По сравнению с возобновляемой энергией солнца и ветра биогаз имеет преимущество, заключающееся в непрерывности его производства и возможности накопления. Основной сложностью в накоплении и хранении биогаза является его относительно небольшая объемная плотность энергии. Например, в 1 м³ биогаза при атмосферном давлении содержится энергия, эквивалентная 0,6...0,7 л дизельного топлива.

Объем газонакопителя (газгольдера) биогазовой установки определяется ее производительностью и способом использования газа. В случае использования биогаза для выработки только тепловой энергии вместимость газгольдера обычно равна суточному объему производства газа. При производстве электроэнергии и круглосуточной работе когенерационной установки можно уменьшить объем газгольдера до 20...50 % от дневной выработки биогаза. Полностью же исключить использование газгольдера невозможно, поскольку в биогазовой установке всегда имеет место неравномерность выработки газа, обусловленная работой мешалок и периодичностью загрузки ферментатора свежим сырьем.

В первую очередь газгольдеры классифицируют по рабочему давлению: низкое (2...4 кПа), среднее (0,5...2,0 МПа) и высокое (20...30 МПа). С точки зрения минимизации издержек на производство биогаза предпочтительно хранить газ при низком давлении, так как для этого не требуется тратить дополнительную энергию на работу компрессорного оборудования. Газонакопители низкого давления изготавливаются из пленочных материалов и по конструктивному исполнению могут быть внешние (пленочные мешки, трубы, подушки) и внутренние, расположенные непосредственно над открытым ферментатором и являющиеся частью биогазового реактора.

Среди внутренних газгольдеров наибольшее распространение получили пленочные однослойные (рис. 6) и двухслойные самонесущие купола из EPDM (этилен-пропиленового каучука) толщиной 1,2...1,5 мм. Этот материал отличается высокой устойчивостью к воздействию ультрафиолета и озона, а также низкой проникающей способностью по метану (утечки составляют

около 0,1 % от дневной выработки газа). Фиксация материала на ферментаторе осуществляется посредством зажима из специального профиля, а прочность *EPDM* позволяет сооружать купола над резервуарами диаметром до 35 м.

В качестве основания пленочного газгольдера используют деревянное перекрытие над ферментатором (рис. 6). Наружные концы стропил перекрытия закрепляются на стене ферментатора, а внутренние опираются на центральную стойку. Шаг стропил у периферии резервуара может достигать 1,5 м. Для обеспечения стока дождевой воды с нерасправленного купола стропила должны устанавливаться с уклоном 2...5 % наружу. На стропилах располагается дощатая обрешетка, через щели которой биогаз перетекает в газгольдер. Теплоизоляция перекрытия обеспечивается с помощью плит из пенополистирола, закрепленных поверх обрешетки.

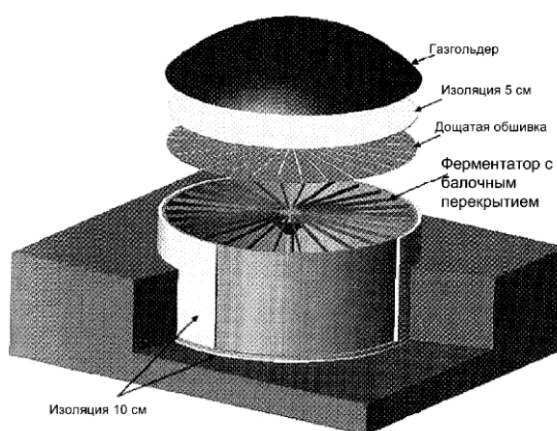


Рис. 6. Конструкция внутреннего пленочного однослойного газгольдера

Однослойный купол поддерживается в расправленном (надутым) состоянии за счет давления биогаза в газгольдере. В незаполненном состоянии такой купол теряет форму, провисает, полощется на ветру, а также накапливает атмосферные осадки в виде дождевой воды и снега. Данный недостаток устраняется при использовании двухслойного купола, состоящего из внутренней газодерживающей мембраны и внешнего тента. В пространство между мембраной и тентом с помощью компрессора нагнетается воздух под давлением 200...300 Па, благодаря чему тент распрямляется и образует самонесущую крышу. Внутренняя мембрана может подниматься или опускаться в зависимости от объемов выработки и потребления биогаза.

Пленочные газгольдеры периодически попадают в поле дискуссий с точки зрения их пожаро- и взрывоопасности. Серией экспериментов по целенаправленному повреждению пленки из *EPDM* установлено, что такое покрытие устойчиво к механическому воздействию падающих предметов (камни, осколки стекла, металлические прутья), а также его не удастся прожечь с помощью сигареты, фейерверка или раскаленного докрасна металлического стержня.

Учет суточного объема выработки газа необходим для оценки эффективности и производительности биогазовой установки. Для определения объема вырабатываемого газа используют газовые счетчики или расходомеры.

Биогаз является смесью нескольких газов и водяного пара. Основные компоненты биогаза – это метан (CH_4) и углекислый газ (CO_2). Общее содержание CH_4 и CO_2 в биогазе составляет 92...94 %, остальные 6...8 % – это водяной пар и другие газы: азот, сероводород, аммиак и пр. Энергетическая ценность биогаза определяется содержанием в нем горючего компонента – метана. Содержание метана зависит от перерабатываемого сырья и в большинстве случаев составляет 50...75 %. Физические свойства биогаза и природного газа приведены в табл 2.

Таблица 2. Физические свойства биогаза и природного газа

Наименование параметров	Биогаз (CH_4 – 60 %, CO_2 – 38 %, прочие газы – 2 %)	Газ природный
Плотность при атмосферном давлении, кг/м^3	1,1...1,2	0,7...0,8
Низшая теплота сгорания, МДж/м^3	21,2...21,8	31,8...38,2
Температура самовоспламенения, $^{\circ}\text{C}$	700	650
Взрывоопасные концентрации в смеси с воздухом, %	6...12	5...17

Биогаз, поступающий непосредственно из ферментатора, почти на 100 % насыщен водяным паром, а также имеет высокое содержание аммиака и сероводорода, что в совокупности вызывает коррозию трубопроводов, арматуры, газовых счетчиков и газопотребляющего оборудования. Очевидно, что такой газ должен пройти определенную обработку перед его использованием.

Обычно биогаз обезвоживают методом охлаждения. При охлаждении ниже точки росы водяной пар переходит в жидкое агрегатное состояние и образовавшийся конденсат удаляется. Обезвоживание охлаждением также обеспечивает очистку биогаза от аммиака, который хорошо растворим в воде и удаляется вместе с конденсатом. Для осушения биогаза используют холодильные машины, охлаждающие газ до 0...+5 $^{\circ}\text{C}$. С учетом того, что из 1 м^3 биогаза выводится до 35 г конденсата, то при производительности биогазовой установки в 2000 м^3 газа в сутки потребуются холодильный агрегат мощностью порядка 7 кВт.

На следующем этапе очистки биогаза из него удаляют сероводород (H_2S) – агрессивный газ, провоцирующий кислотную коррозию металлических поверхностей. Существуют следующие методы очистки биогаза от сероводорода:

– *химико-физические* – добавление в бродильный субстрат солей железа, снижающих концентрацию сероводорода в биогазе, или применение адсорбирующих фильтров с активированным углем;

– *биологические* – подача в газовую камеру ферментатора небольшого количества воздуха (3...5 % от объема выработанного биогаза) поддерживает

жизнедеятельность серобактерий, перерабатывающих сероводород в элементарную серу, серную кислоту и воду;

– *комбинированные* – сочетание химико-физического и биологического методов очистки.

Для питания поршневых двигателей когенерационного блока допускается использовать биогаз с содержанием серы менее 2000 мг/м^3 . При низком содержании серы (до 700 мг/м^3) газовые двигатели эксплуатируют согласно стандартной схеме технического обслуживания, предусматривающей межсервисные интервалы до 80 тыс. моточасов. Повышенное содержание серы ($700 \dots 2000 \text{ мг/м}^3$) в биогазе ускоряет износ двигателя, в связи с чем требуется более частое проведение технического обслуживания.

Оборудование когенерационного блока обычно размещается в отдельно стоящем звукоизолированном контейнере (рис. 7).

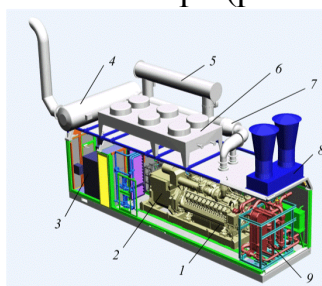


Рис. 7. Общее устройство когенерационного блока:

- 1 – газовый двигатель; 2 – электрический генератор; 3 – отсек для средств управления и автоматики; 4 – глушитель шума; 5 – теплообменник для отработавших газов; 6 – вспомогательный охладитель; 7 – каталитический нейтрализатор; 8 – блок вытяжных вентиляторов; 9 – теплообменник для охлаждающей жидкости

Главным элементом когенерационного блока является газовый поршневой двигатель внутреннего сгорания, производящий механическую и тепловую энергию. Механическая энергия используется для привода синхронного трехфазного генератора, вырабатывающего переменный электрический ток. Произведенная электроэнергия используется для удовлетворения собственных нужд предприятия или, после повышения напряжения до 10 кВ, реализуется в государственную распределительную сеть. Тепловая энергия, получаемая с помощью соответствующих теплообменников от охлаждающей жидкости, моторного масла и отработавших газов, используется как для подогрева ферментатора, так и для теплоснабжения жилых и производственных зданий (рис. 8).

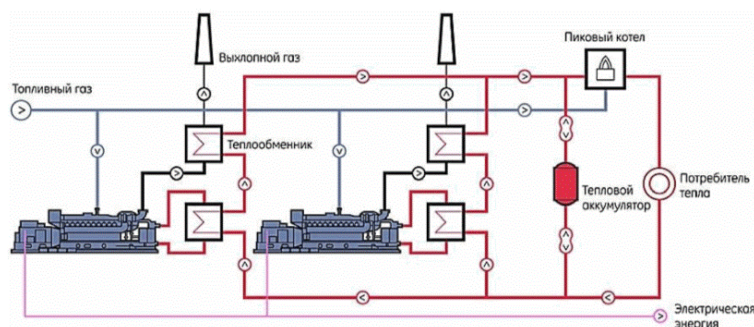


Рис. 8. Технологическая схема когенерационного блока

Современные когенерационные блоки имеют электрический КПД 40...45 %, что уже является достаточно высоким значением. Однако максимальной эффективности установки (общий КПД 82...88 %) можно достичь только при полном использовании вырабатываемой двигателем тепловой энергии. Технические характеристики модельного ряда газовых двигателей *Jenbacher* компании *GE Power* приведены в табл. 3.

Частота вращения коленчатого вала газового двигателя является постоянной величиной и равна 1500 об/мин при подключении генератора в электрическую сеть с частотой переменного тока 50 Гц. Выдерживание заданной частоты вращения коленчатого вала осуществляется путем автоматического управления подачей топлива в двигатель.

Таблица 3. Технические характеристики биогазовых двигателей *Jenbacher*

Модель	Число цилиндров	Рабочий объем цилиндров, л	Мощность электрическая, кВт	Электрический КПД, %	Мощность тепловая, кВт	Тепловой КПД, %	Общий КПД, %
J208	8	16,6	249	39,1	275	43,2	82,2
J312	12	29,2	524	41,3	563	44,2	85,4
J316	16	38,9	703	42,0	734	43,0	85,0
J320	20	48,7	1067	40,9	1179	45,2	86,1
J420	20	61,1	1500	42,4	1515	42,8	85,2
J612	12	74,9	1820	44,0	1668	40,3	84,2
J616	16	99,8	2435	44,1	2225	40,3	84,4
J620	20	124,8	3047	44,1	2782	40,3	84,4

2. ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА ИЗ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Органические вещества подвергаются аэробному (осуществляется в присутствии свободного кислорода) и анаэробному (в бескислородной среде) разложению. Твердые материалы со сложной структурой, такие как древесина и солома, лучше разлагаются в аэробных условиях, в то время как жидкие (навоз, пищевые отходы, жиры и т. п.) – в анаэробных.

Анаэробные метанобразующие бактерии в процессе своей жизнедеятельности нуждаются в питательных и минеральных веществах. Навоз КРС и свиней имеет оптимальное содержание таких веществ. Также достаточное их количество содержится в сене, кукурузе (свежая и силосованная), остатках пищи, отходах кухонь, барде и молочных продуктах.

Субстрат, загружаемый в ферментатор, чаще всего является смесью нескольких видов сырья. При его составлении следует придерживаться соотношения между углеродом (С), азотом (N) и фосфором (P) от 75:5:1 до 125:5:1. Из этого следует, что еще на этапе проектирования биогазовой установки необходимо иметь репрезентативные результаты химического анализа сырья, отражающие содержание в нем как полезных (углерод, азот, фосфор,

кобальт, молибден, селен, марганец, железо), так и токсичных (кадмий, цинк, никель, свинец, хром, ртуть) веществ, замедляющих процесс брожения.

Отходы животноводческих предприятий являются традиционно используемым сырьем для биогазовых установок. При этом существует определенная разница между навозом КРС и свиней и пометом кур. Навоз имеет низкое, а помет, наоборот, высокое содержание сухого вещества. При этом следует учитывать, что только часть сухого вещества является органическим материалом. Более низкое содержание органики в сухом веществе навоза и помета получается вследствие попадания неорганических примесей (песок, глина, мел, ракушка и пр.) в корм. Поскольку разложению подвергается только органическая субстанция, то удельный выход биогаза принято считать по отношению к массе органического сухого вещества ($\text{м}^3/\text{кг}$ о. с. в.).

Длительность брожения субстрата в ферментаторе увязана со степенью разложения органического вещества. Обеспечение полного разложения в первую очередь требует значительного времени, поскольку скорость разложения заметно снижается по мере израсходования запасов органического вещества в субстрате. Это означает, что себестоимость выработки каждого последующего кубометра биогаза увеличивается. На практике степень разложения навоза или помета составляет в среднем 60 %. Установки, перерабатывающие исключительно растительное сырье, достигают степени разложения органики до 80 %.

Вторым фактором, определяющим длительность брожения субстрата, является температура в ферментаторе. Существует три типичных температурных режима, в которых себя хорошо чувствуют соответствующие штаммы бактерий:

- психрофильный – ниже 25 °С;
- мезофильный – 25...45 °С;
- термофильный – выше 45 °С.

Ранее большинство промышленных биогазовых установок работало в мезофильном режиме, однако из-за проблем с утилизацией тепловой энергии, вырабатываемой когенерационным блоком, в последнее время появилась тенденция к более широкому использованию термофильного режима. Спрос на термофильные установки также обусловлен более высокой (в 1,5...2 раза по сравнению с мезофильным режимом) скоростью разложения биомассы, что позволяет уменьшить объем ферментатора, а следовательно, снизить денежные затраты на его строительство. Психрофильный температурный режим из-за длительного времени брожения и низкой газопроизводительности не применяется в промышленных масштабах, однако может быть реализован в малогабаритных биогазовых установках крестьянских или фермерских хозяйств.

Влияние температуры субстрата на активность бактерий показано на рис. 9. Чем выше температура, тем чувствительнее бактерии к ее колебаниям. В мезофильном режиме допускаются колебания температуры до 4 °С, в то время как для термофильного режима они не должны превышать 1 °С.

Третьим фактором, влияющим на длительность брожения субстрата, является вид перерабатываемого сырья. График на рис. 10 показывает динамику выхода биогаза из навоза и помета в мезофильном температурном режиме. Из него видно, что птичий помет после 30-дневного брожения теряет газообразующие свойства, в то время как навоз КРС и свиней интенсивно выделяет газ в течение 40...50 дней. Также из рис. 10 следует, что более продолжительное сбраживание субстрата не обеспечивает существенной прибавки к выходу биогаза.

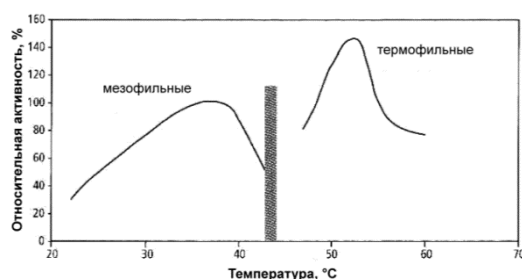


Рис. 9. Влияние температуры на активность мезофильных и термофильных штаммов метанообразующих бактерий

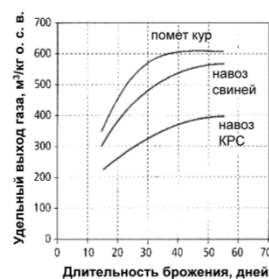


Рис. 10. Выход биогаза из навоза и помета в мезофильном режиме

Физические свойства отходов животноводческих предприятий и усредненные показатели процесса их метанового сбраживания приведены в табл. 4.

Фактором риска при работе биогазовой установки на отходах животноводческих предприятий является вероятность попадания в субстрат антибиотиков и дезинфицирующих средств при массовой терапии животных или санитарной обработке помещений. Создание высокой концентрации противомикробных препаратов в ферментаторе замедляет процесс брожения вплоть до его полной остановки. Лечение же антибиотиками единичных животных обычно не приводит к столь негативным последствиям.

Таблица 4. Характеристика отходов животноводческих предприятий

Наименование показателя	Бесподстилочный навоз КРС	Навоз свиней	Помет кур
Среднесуточный выход на одно взрослое животное (птицу), кг	50...55	5,5...6,5	0,17...0,19
Содержание сухого вещества, %	12...14	10...12	25...35
Содержание органической субстанции в сухом веществе, %	70...80	75...80	72...76
Удельный выход биогаза, м³/кг о. с. в.	0,28...0,38	0,42...0,54	0,48...0,62
Содержание метана в биогазе, %	55	60	55
Продолжительность брожения при температурном режиме, дн.:			
– психрофильном (8...25 °С)	60...100	60...100	50...80
– мезофильном (35...38 °С)	40...45	45...50	30...35
– термофильном (52...54 °С)	15...25	20...25	15...20

3. ПРОИЗВОДСТВО БИОГАЗА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Производство биогаза на основе отходов животноводства в Республике Беларусь является важным направлением в обеспечении региональной энергетической безопасности. Ежегодно только за счет использования навоза КРС, свиного навоза, птичьего помета, отходов зерно- и мясопереработки страна могла бы получать до 2,5 млрд. м³ биогаза и на его основе до 5 млрд. кВт · ч электрической энергии. При этом собственная годовая потребность агропромышленного комплекса Беларуси составляет около 3,5 млрд. кВт · ч.

По мнению специалистов РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», проблема переработки и утилизации навозных стоков, помета, отходов боен и других органических отходов животноводческих предприятий существует давно. Ежегодно требуется очищать и перерабатывать около 70 млн. т отходов. При этом большинство действующих животноводческих комплексов страны введено в эксплуатацию 25–30 лет назад. Их системы очистки отходов устарели и не соответствуют современным экологическим нормам. По приблизительной оценке почти 30 % отечественных птицефабрик не имеют систем очистки пометных стоков. В случае полного использования такого потенциала биосырья суммарная установленная электрическая мощность биогазовых установок может составить около 625 МВт. С учетом замещения невозобновляемых энергоносителей это обеспечило бы ежегодную экономию около 2,9 млн. т условного топлива.

В соответствии с имеющимся потенциалом биосырья Национальной программой «Развитие местных, возобновляемых и нетрадиционных источников на 2011–2015 годы» планировалось строительство 102 биогазовых комплексов (БГК) суммарной электрической мощностью 77,8 МВт, из них 22 объекта общей мощностью 23,85 МВт предусматривалось эксплуатировать в организациях Министерства сельского хозяйства и продовольствия. Многие из запланированных БГК были построены и введены в эксплуатацию.

В СПК «Агрокомбинат «Снов» построен биогазовый комплекс мощностью 2 МВт. Комплекс введен в эксплуатацию в декабре 2011 г. Строительство финансировала швейцарская компания «TDF-Ecotech Technology». Затраты на технологическое оборудование, а также на проектные и строительные работы составили 6,5 и 0,5 млн. евро соответственно. Биореакторы работают на смеси навоза КРС и свиного навоза. На современном этапе БГК вырабатывает примерно 1,0 МВт электрической мощности, так как в навозе КРС содержится много песка, что приводит к частой остановке комплекса для очистки. Вырабатываемая тепловая энергия от когенерационных установок не утилизируется, что приводит к потерям и увеличению сроков окупаемости проекта. Отходы мясопереработки имеющегося собственного мясокомбината и зернопереработки не используются в качестве добавок к суб-

страту, а применяется дорогой кукурузный силос. Оработанный субстрат хранится в открытой лагуне, где подвергается воздействию атмосферных осадков, что снижает его ценность как удобрения.

Анализ эксплуатации биогазового комплекса в ОАО «Гомельская птицефабрика», работающего на смеси птичьего помета и навоза КРС, показывает, что выработка энергии ниже проектной, что говорит о недостаточной эффективности использования вложенных средств. Необеспечение заданных параметров работы комплекса вызвано отклонениями в технологии производства биогаза и эксплуатации оборудования комплекса, в том числе нерегулярным проведением технических обслуживаний и планово-предупредительных ремонтов. Посторонние примеси в сырье приводят к частой остановке комплекса для очистки приемного бункера.

Несколько лучшая ситуация наблюдается на биогазовом комплексе в агропредприятии «Белорусский», также работающем на смеси навоза КРС и птичьего помета. Комплекс развивает примерно 75 % плановой мощности. Положительным моментом в эксплуатации данного БГК является частичная утилизация тепловой энергии для технологических нужд птицефабрики.

На крупнейшем в Беларуси и втором по мощности в Европе БГК СПК «Рассвет» им. К. П. Орловского» имеется четыре когенерационных блока электрической мощностью по 1,2 МВт (рис. 11), из которых только два работают в номинальном режиме и полностью используют тепловую энергию для технологических нужд комплекса и рядом расположенной теплицы. Основной причиной является нехватка растительного сырья. Для обеспечения непрерывной работы столь мощного комплекса требуется 34 тыс. т кукурузного силоса и 112 тыс. т навоза КРС в год. СПК «Рассвет» им. К. П. Орловского» способно удовлетворить сырьевые потребности БГК, однако перевозка указанных объемов биосырья требует дополнительных затрат. Тем не менее за первый год эксплуатации (2014) годовая выработка электроэнергии на биогазовом комплексе составила 17152 тыс. кВт · ч, из которой продано в сеть ГПО «Белэнерго» 16689 тыс. кВт · ч. Выручка от реализации электроэнергии составила 1977,6 тыс. долл. США, прибыль – 87,8 тыс. долл. США, уровень рентабельности – 4,6 %.



Рис. 11. Биогазовый комплекс СПК «Рассвет» им К. П. Орловского»

По мнению компетентных специалистов в области производства биогаза, ни один из действующих белорусских комплексов полностью не отвечает критериям эффективной работы БГК, которая формируется не только в процессе эксплуатации, но и при выборе технологического оборудования, проведении проектных, строительных, пуско-наладочных, сервисных и ремонтных работ. Отмечаются основные требования и критерии, которые необходимо учитывать:

- на начальном этапе необходимо проводить детальный энергетический аудит сельскохозяйственной организации, в которой будет установлен БГК;
- обычно окупаемость биогазовой установки составляет 8–10 лет. В то же время для привлечения инвесторов, в том числе иностранных, желательно добиться снижения этого срока до пяти лет;
- следует тщательно оценивать сырьевую базу организации и затраты на перевозку;
- важным моментом является химический анализ сырья, а также расчет необходимого количества добавок для стабилизации выхода биогаза;
- необходим постоянный мониторинг качества субстратов, их вязкости и пригодности к перемешиванию;
- следует обеспечить регулярное и качественное техническое обслуживание оборудования биогазового комплекса;
- необходимо стремиться к 100%-ной утилизации тепловой энергии, вырабатываемой когенерационным блоком.

Для уменьшения сроков окупаемости биогазовых комплексов и повышения заинтересованности инвесторов в Совет Министров Республики Беларусь внесены предложения о повышении тарифов на электрическую энергию, вырабатываемую из биогаза, до уровня европейских стран – не менее 0,20...0,28 евро/кВт · ч в зависимости от мощности установки и типа используемого сырья. В настоящее время тариф на такую энергию составляет не более 0,13 евро/кВт · ч (базовый тариф за 1 кВт · ч электрической энергии для промышленных и приравненных к ним потребителей с присоединенной мощностью до 750 кВт · А на 1 января 2019 г. равен 0,23975 руб/кВт · ч).

В 2018 г. общая мощность вводимых биогазовых установок составила 10,8 МВт. Самую мощную – 3,1 МВт – должна возвести структура-сателлит «ТелДаФакс Экотех МН». На втором месте – ЗАО «Парохонское Биогаз» Пинского района с тремя установками общей мощностью 3 МВт. На третьем – «Кобыловка Биогаз» Пружанского района – две установки общей мощностью 2 МВт.

4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

Обоснование параметров биогазовой установки следует начинать с оценки сырьевых возможностей сельскохозяйственной организации.

Среднесуточный выход (кг) навоза или помета определяют по зависимости

$$M_n = nm_n, \quad (1)$$

где n – среднегодовое поголовье животных или птицы (варианты в табл. 5), гол.;

m_n – среднесуточный выход навоза или помета от одной головы (см. табл. 4), кг.

Таблица 5. Исходные данные для расчета биогазовой установки

Варианты	Виды животных	Поголовье, гол.	Варианты	Виды животных	Поголовье, гол.
1	КРС	1200	16	КРС	2800
2	Свиньи	24000	17	Свиньи	46000
3	Куры	300000	18	Куры	240000
4	КРС	760	19	КРС	1100
5	Свиньи	18000	20	Свиньи	36000
6	Куры	150000	21	Куры	480000
7	КРС	1400	22	КРС	1800
8	Свиньи	32000	23	Свиньи	20000
9	Куры	400000	24	Куры	350000
10	КРС	2200	25	КРС	700
11	Свиньи	8000	26	Свиньи	40000
12	Куры	60000	27	Куры	100000
13	КРС	940	28	КРС	2500
14	Свиньи	12000	29	Свиньи	16000
15	Куры	200000	30	Куры	500000

Как было указано выше, биогазовые установки редко используют только один вид сырья и в большинстве случаев перерабатывают многокомпонентные субстраты, состоящие из смеси навоза, помета и 25...30 % растительной массы. Суточную потребность биогазовой установки в растительном сырье (кг) определяют по формуле

$$M_p = (0,25...0,30)M_n. \quad (2)$$

Годовая потребность в растительном сырье составит (т):

$$M_p^{\text{год}} = \frac{365}{1000} M_p. \quad (3)$$

Из соотношения

$$C_{\text{св}} = \frac{M_n C_n + M_p C_p}{M_n + M_p + M_b}$$

определяют массу добавляемой в суточную порцию субстрата воды (кг):

$$M_b = \frac{M_n C_n + M_p C_p}{C_{\text{св}}} - M_n - M_p, \quad (4)$$

где C_n – содержание сухого вещества в навозе или помете (см. табл. 4), %;

C_p – содержание сухого вещества в растительной массе, $C_p = 30...40$ %;

$C_{\text{св}}$ – требуемое содержание сухого вещества в субстрате, %.

Объем суточной порции свежего субстрата (м^3) рассчитывают следующим образом:

$$V_c = \frac{M_n + M_p + M_b}{\gamma_c}, \quad (5)$$

где γ_c – объемная масса субстрата, $\gamma_c = 1020 \dots 1070 \text{ кг/м}^3$.

Рабочий объем ферментатора (м^3) рассчитывают исходя из продолжительности процесса брожения субстрата:

$$V_\phi = V_c D_b k_{з. \phi}, \quad (6)$$

где D_b – длительность брожения субстрата (см. табл. 4), дн.;

$k_{з. \phi}$ – коэффициент запаса объема ферментатора, $k_{з. \phi} = 1,2$.

Массу органического сухого вещества (кг о. с. в.), поступающего в ферментатор за сутки, вычисляют по формуле

$$M_{\text{о. с. в.}} = M_n \frac{C_n}{100} \frac{C_{\text{н. о. с. в.}}}{100} + M_p \frac{C_p}{100} \frac{C_{\text{р. о. с. в.}}}{100}, \quad (7)$$

где $C_{\text{н. о. с. в.}}$ – содержание органической субстанции в сухом веществе навоза или помета (см. табл. 4), %;

$C_{\text{р. о. с. в.}}$ – содержание органической субстанции в сухом веществе растительного сырья, $C_{\text{р. о. с. в.}} = 82 \dots 92 \%$.

Удельную загрузку ферментатора (кг о. с. в./ м^3) рассчитывают следующим образом:

$$q_\phi = \frac{M_{\text{о. с. в.}}}{V_\phi}. \quad (8)$$

Оптимальная удельная загрузка ферментатора должна составлять $2 \dots 4 \text{ кг о. с. в./м}^3$. Если рассчитанное значение q_ϕ выходит за указанные пределы, то следует уменьшить или увеличить содержание сухого вещества в субстрате.

Минимальную кратность загрузки ферментатора свежим сырьем в сутки, при которой колебания температуры субстрата будут находиться в допустимых пределах, вычисляют по формуле

$$z_\phi = \frac{V_c (t_\phi - t_0)}{V_\phi \Delta t}, \quad (9)$$

где t_ϕ – температура субстрата в ферментаторе (см. табл. 4), $^\circ\text{C}$;

t_0 – начальная температура субстрата, $t_0 = 4 \dots 8 \text{ }^\circ\text{C}$;

Δt – допускаемые колебания температуры субстрата в ферментаторе (см. раздел 2), $^\circ\text{C}$.

Для более равномерного производства биогаза следует выполнять загрузку свежего субстрата в ферментатор не реже $2 \dots 3$ раз в сутки.

Вместимость (м^3) приемной емкости для жидкого сырья определяют по следующей формуле:

$$V_n = \frac{V_c k_{з. н.}}{z_\phi}, \quad (10)$$

где $k_{з. н.}$ – коэффициент запаса объема приемной емкости, $k_{з. н.} = 1,1$.

Рабочий объем ферментаторов биогазовых установок обычно находится в пределах от 1000 до 5000 м^3 . Для случаев, когда расчетное значение V_ϕ превышает 5000 м^3 , следует планировать строительство нескольких ферментаторов. Диаметр и высоту ферментатора (м) можно определить по зависимостям:

$$d_{\phi} = \sqrt[3]{\frac{4V_{\phi}k_{d:h}}{\pi n_{\phi}}}; \quad (11)$$

$$h_{\phi} = \frac{d_{\phi}}{k_{d:h}} + h_3, \quad (12)$$

где $k_{d:h}$ – соотношение диаметра и высоты ферментатора, $k_{d:h} = 2,2 \dots 2,6$;

n_{ϕ} – количество ферментаторов;

h_3 – запас по высоте стен ферментатора, $h_3 = 1,0 \dots 1,2$ м.

Объем лагуны (м^3) для хранения дигестата (отработанного субстрата) вычисляют таким образом:

$$V_{\text{л}} = V_{\text{с}} D_{\text{хр}}, \quad (13)$$

где $D_{\text{хр}}$ – длительность хранения дигестата, $D_{\text{хр}} = 60 \dots 80$ дней.

Процесс брожения протекает при температуре выше температуры окружающей среды. Тепловое сопротивление ограждающих конструкций ферментатора ($(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})/\text{Вт}$) определяют по формуле

$$R_t = \frac{b_{\text{н}}}{K_{\text{н}}} + \frac{b_{\text{и}}}{K_{\text{и}}}, \quad (14)$$

где $b_{\text{н}}$, $K_{\text{н}}$ – толщина (м) и коэффициент теплопроводности ($\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$) несущих конструкций ферментатора соответственно (см. табл. 1);

$b_{\text{и}}$, $K_{\text{и}}$ – толщина (м) и коэффициент теплопроводности ($\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$) теплоизоляции ферментатора соответственно (см. табл. 1).

Величина теплового сопротивления ограждающих конструкций ферментатора не регламентируется. Для самопроверки можно использовать технический кодекс ТКП 45-2.04-43-2006 (02250) «Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования», согласно которому нормативное (минимальное) сопротивление теплопередачи для наружных стен производственных зданий составляет $2,0 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})/\text{Вт}$, жилых – $3,2 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})/\text{Вт}$.

Среднюю ($N_{\text{тн}}$, кВт) и максимальную ($N_{\text{тн}}^{\text{max}}$, кВт) мощность тепловых потерь ферментатора рассчитывают по формулам:

$$N_{\text{тн}} = S_{\phi} n_{\phi} \frac{t_{\phi} - t_{\text{ср}}}{1000R} = \left(\frac{\pi d_{\phi}^2}{2} + \pi d_{\phi} h_{\phi} \right) n_{\phi} \frac{t_{\phi} - t_{\text{ср}}}{1000R_t}; \quad (15)$$

$$N_{\text{тн}}^{\text{max}} = S_{\phi} n_{\phi} \frac{t_{\phi} - t_{\text{min}}}{1000R} = \left(\frac{\pi d_{\phi}^2}{2} + \pi d_{\phi} h_{\phi} \right) n_{\phi} \frac{t_{\phi} - t_{\text{min}}}{1000R_t}, \quad (16)$$

где S_{ϕ} – площадь ограждающих конструкций ферментатора, м^2 ;

$t_{\text{ср}}$, t_{min} – среднегодовая и минимальная температуры наружного воздуха соответственно, для климатических условий Республики Беларусь принимают в интервалах $t_{\text{ср}} = +6,8 \dots +7,8$ $^\circ\text{С}$, $t_{\text{min}} = -20 \dots -22$ $^\circ\text{С}$.

Суточную потребность в тепловой энергии (МДж) для подогрева свежего субстрата, поступающего в ферментатор, определяют по формуле

$$Q_{\text{с}} = 10^{-6} c_{\text{в}} (M_{\text{н}} + M_{\text{р}} + M_{\text{в}}) \left(1 - \frac{C_{\text{св}}}{100} \right) (t_{\phi} - t_0), \quad (17)$$

где $c_{\text{в}}$ – удельная теплоемкость воды, $c_{\text{в}} = 4200$ Дж/(кг $\cdot$ $^\circ\text{С}$).

Среднюю ($N_{\text{п}}$, кВт) и пиковую ($N_{\text{п}}^{\text{max}}$, кВт) тепловую мощность системы подогрева ферментатора рассчитывают следующим образом:

$$N_{\Pi} = N_{\text{тп}} + \frac{Q_c}{3,6 \cdot 24}; \quad (18)$$

$$N_{\Pi}^{\max} = N_{\text{тп}}^{\max} + \frac{Q_c}{3,6 \cdot 24}. \quad (19)$$

Суточный выход биогаза ($W_{\text{б}}, \text{м}^3$) и требуемый объем газгольдера ($V_{\text{г}}, \text{м}^3$) вычисляют по формулам:

$$W_{\text{б}} = M_{\text{о.с.в.}} w_{\text{б}}; \quad (20)$$

$$V_{\text{г}} = W_{\text{б}} k_{\text{г}}, \quad (21)$$

где $w_{\text{б}}$ – удельный выход биогаза (см. табл. 4), $\text{м}^3/\text{кг о.с.в.}$;

$k_{\text{г}}$ – коэффициент вместимости газгольдера, при использовании биогаза для круглосуточной выработки электроэнергии $k_{\text{г}} = 0,2 \dots 0,5$.

Низшую теплоту сгорания биогаза ($\text{МДж}/\text{м}^3$) рассчитывают по формуле

$$q_{\text{б}} = \frac{C_{\text{м}} q_{\text{м}}}{100}, \quad (22)$$

где $C_{\text{м}}$ – содержание метана в биогазе (см. табл. 4), %;

$q_{\text{м}}$ – низшая теплота сгорания метана, $q_{\text{м}} = 35,9 \text{ МДж}/\text{м}^3$.

Мощность процесса газообразования (кВт) вычисляют по приведенной ниже формуле:

$$N_{\text{б}} = \frac{W_{\text{б}} q_{\text{б}}}{3,6 \cdot 24}. \quad (23)$$

Зная мощность процесса газообразования $N_{\text{б}}$ и усредненный КПД процесса преобразования энергии биогаза в электроэнергию, рассчитывают среднюю электрическую мощность когенерационного блока (кВт):

$$\overline{N_{\text{э}}} = N_{\text{б}} \frac{\overline{\eta_{\text{э}}}}{100}, \quad (24)$$

где $\overline{\eta_{\text{э}}}$ – средний электрический КПД когенерации, $\overline{\eta_{\text{э}}} = 42\%$.

Далее принимают из табл. 3 модель и число газовых двигателей таким образом, чтобы их суммарная электрическая мощность минимально превышала расчетное значение $\overline{N_{\text{э}}}$.

Затем уточняют фактические значения электрической ($N_{\text{э}}, \text{кВт}$) и тепловой ($N_{\text{т}}, \text{кВт}$) мощностей когенерационного блока:

$$N_{\text{э}} = N_{\text{б}} \frac{\eta_{\text{э}}}{100}; \quad (25)$$

$$N_{\text{т}} = N_{\text{б}} \frac{\eta_{\text{т}}}{100}, \quad (26)$$

где $\eta_{\text{э}}, \eta_{\text{т}}$ – электрический и тепловой КПД выбранной модели газового двигателя соответственно (см. табл. 4).

Средний ($k_{\Pi}, \%$) и максимальный ($k_{\Pi}^{\max}, \%$) уровни использования тепловой мощности когенерационной установки на подогрев ферментатора рассчитывают по следующим формулам:

$$k_{\Pi} = \frac{N_{\Pi}}{N_{\text{т}}} 100\%; \quad (27)$$

$$k_{\Pi}^{\max} = \frac{N_{\Pi}^{\max}}{N_{\text{т}}} 100\%. \quad (28)$$

Следует стремиться к тому, чтобы средний уровень использования тепловой мощности когенерационного блока на технологические нужды биога-

зовой установки не превышал 60 %. Значения $k_{\Pi}^{\max} > 100 \%$ говорят о том, что температурный режим или теплоизоляция ферментатора выбраны неверно.

Годовую выработку электрической ($Q_{\text{э}}$, МВт · ч) и тепловой ($Q_{\text{т}}$, Гкал) энергии когенерационным блоком определяют по следующим зависимостям:

$$Q_{\text{э}} = \frac{8760}{1000} N_{\text{э}}; \quad (29)$$

$$Q_{\text{т}} = \frac{8760}{1000} (N_{\text{т}} - N_{\text{п}}) k_{\text{кал}}, \quad (30)$$

где 8760 – число часов в году, ч;

$k_{\text{кал}}$ – переводной коэффициент, $k_{\text{кал}} = 0,86$ Гкал/МВт · ч.

Годовую экономию топливно-энергетических ресурсов (т у. т.) рассчитывают по формуле

$$\Delta_{\text{тэп}} = Q_{\text{э}} k_{\text{э}} + Q_{\text{т}} k_{\text{т}}, \quad (31)$$

где $k_{\text{э}}$, $k_{\text{т}}$ – переводные коэффициенты, $k_{\text{э}} = 0,28$ т у. т./МВт · ч, $k_{\text{т}} = 0,175$ т у. т./Гкал.

Доход от реализации выработанной электроэнергии в сеть ГПО «Белэнерго» составит (руб.):

$$D = 1000 T_{\text{б}} K Q_{\text{э}}, \quad (32)$$

где $T_{\text{б}}$ – базовый тариф за 1 кВт · ч электрической энергии для промышленных и приравненных к ним потребителей с присоединенной мощностью до 750 кВт · А, на 1 января 2019 г. $T_{\text{б}} = 0,23975$ руб/кВт · ч;

K – корректирующий коэффициент к базовому тарифу.

Для биогазовых установок, созданных в пределах выделенных в 2018 г. квот на производство энергии из возобновляемых источников, в течение первых десяти лет эксплуатации корректирующий коэффициент при мощности установки менее 0,3 МВт равен 1,2, 0,3...2 МВт – 1,15, свыше 2 МВт – 1,1. По истечении первых десяти лет эксплуатации коэффициент снижается до 0,45 независимо от мощности установки.

В случае, если биогазовая установка создана исключительно для энергетического обеспечения хозяйственной деятельности юридического лица, т. е. вне выделенных квот, и введена в эксплуатацию после 1 января 2018 г., значение корректирующего коэффициента принимается равным 0,1.

3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

3.1. Примерные вопросы текущей аттестации по учебной дисциплине «Основы энерго- и ресурсосбережения» для специальности 1–74 06 01 «Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства»

1. Виды топливно-энергетических ресурсов.
2. Причины возникновения и виды потерь топлива и энергии.
3. Условное топливо.
4. Методы оценки эффективности использования топливно-энергетических ресурсов на предприятии и в стране.

5. Основные положения Закона Республики Беларусь «Об энергосбережении».
6. Республиканский фонд «Энергосбережение».
7. Основные положения директивы Президента Республики Беларусь «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства».
8. Методика расчета энергоемкости производства продукции сельского хозяйства.
9. Понятие топливного баланса.
10. Характеристика производителей тепловой и электрической энергии.
11. Бурый уголь в Республике Беларусь. Проблемы использования бурого угля из белорусских месторождений.
12. Горючие сланцы в Республике Беларусь. Проблемы использования бурого угля из белорусских месторождений.
13. Способы использования энергии солнца.
14. Гелиоустановки.
15. Химический состав биогаза. Принцип работы биогазовой установки.
16. Свалочный газ. Способ производства свалочного газа.
17. Энергетические отходы. Виды энергетических отходов.
18. Вторичные энергетические ресурсы. Классификация вторичных энергетических ресурсов.
19. Примеры горючих вторичных энергетических ресурсов в сельскохозяйственном производстве. Способы использования горючих вторичных энергетических ресурсов.
20. Утилизации тепловых вторичных энергетических ресурсов методом рециркуляции и рекуперации.
21. Утилизации тепловых вторичных энергетических ресурсов при помощи тепловых насосов.
22. Структура органов государственного управления энергосбережением в Республике Беларусь.
23. Дифференциация тарифов на электрическую энергию в Республике Беларусь.
24. Дифференциация тарифов на природный газ в Республике Беларусь.
25. Калория – характеристика единицы измерения.
26. Приборы для определения температуры.
27. Приборы для учета объема теплоносителей.
28. Принципиальная схема системы учета теплоты (теплового счетчика).
29. Методы контроля расхода топлива автотракторной техникой.
30. Способы реализации приборного метода контроля расхода топлива автотракторной техникой.
31. Основные требования «Положения о порядке разработки, установления и пересмотра норм расхода топливно-энергетических ресурсов» в редакции Постановления Совета Министров Республики Беларусь от 18.03.2016, № 216).

32. Классификация норм расхода топливно-энергетических ресурсов (индивидуальная, групповая, технологическая, общепроизводственная, текущая, прогрессивная).
33. Методика расчета текущих и прогрессивных норм расхода топлива.
34. Виды энергосберегающих мероприятий.
35. Резервы экономии топливно-энергетических ресурсов при основной обработке почвы.
36. Резервы экономии топливно-энергетических ресурсов при посеве и уборке зерновых культур.
37. Энергосберегающие технологии заготовки кормов (зерносенаж, корнаж, консервированное плющенное зерно).
38. Резервы экономии топливно-энергетических ресурсов при производстве молока и мяса.
39. Мероприятия по экономии топливно-энергетических ресурсов при выполнении транспортных работ.
40. Основные неисправности двигателей внутреннего сгорания, приводящие к перерасходу топлива.
41. Мероприятия по снижению затрат электрической энергии на искусственное освещение.
42. Мероприятия по снижению потерь электрической энергии в электроприборах.
43. Мероприятия по снижению затрат тепловой энергии на отопление жилых и производственных помещений.

3.2. Критерии оценки знаний по учебной дисциплине «Основы энерго- и ресурсосбережения»

Баллы	Показатели оценки
1 (один)	Отсутствие ответа или отказ от дачи ответа; использование на экзамене неразрешенных материалов (конспект, шпаргалка, учебник и т. п.) или технических средств получения информации (смартфон, аудиогарнитура и т. п.).
2 (два)	Отсутствует узнавание объекта изучения; отсутствие понимания различий в технологиях и технологических схемах процессов животноводческих предприятий.
3 (три)	Частичное узнавание объекта изучения; неполный ответ на экзаменационный вопрос; наличие существенных и не устранимых при помощи наводящих вопросов преподавателя ошибок в описании технологических процессов животноводческого предприятия; отсутствует понимание сути методик технологических расчетов; неспособность выполнять расчеты по образцу.
4 (четыре)	Неполный ответ на экзаменационный вопрос; наличие существенных, но устранимых с помощью наводящих вопросов преподавателя, ошибок в описании технологических процессов; отсутствие в ответе специальных технических терминов или невозможность пояснить их значение; непонимание сути уточняющих вопросов экзаменатора; отсутствует понимание сути методик технологических расчетов; умение выполнять расчеты по образцу.
5 (пять)	Неполный ответ на экзаменационный вопрос; наличие существенных, но устранимых с помощью наводящих вопросов преподавателя, ошибок; сильное затруднение в применении специальных технических терминов или невозможность пояснить их значение; неправильные ответы на уточняющие вопросы экзаменатора; отдаленное понимание сути методик технологических расчетов; умение выполнять расчеты по образцу.
6 (шесть)	Неполный ответ на экзаменационный вопрос; наличие существенных, устранимых самостоятельно при указании на них, ошибок в описании технологических процессов; использование в ответе специальных технических терминов после подсказки экзаменатора; ответы на уточняющие вопросы экзаменатора даются методом угадывания, т. е. студент не может обосновать свой ответ; неполное понимание сути методик технологических расчетов; умение выполнять расчеты по образцу и работать со справочной литературой.
7 (семь)	Полный ответ на экзаменационный вопрос; отсутствие ошибок в описании технологий и технологических схем процессов животноводческих предприятий; наличие несущественных, устранимых самостоятельно, ошибок в выборе технических средств механизации технологических процессов; некоторые затруднения в применении специальных технических терминов; ответы на дополнительные вопросы экзаменатора содержат несущественные ошибки; полное понимание сути методик технологических расчетов; неуверенное владение алгоритмом выполнения технологических расчетов.
8 (восемь)	Полный ответ на экзаменационный вопрос; отсутствие ошибок в описании технологий и технологических схем процессов животноводческих предприятий; отсутствие ошибок в выборе технических средств механизации технологических процессов; затруднения при анализе технологических процессов животноводческих предприятий по техническим (надежность, металлоемкость и т. п.), технологическим (производительность, качество работы, продукции и др.) и экономическим критериям; свободное владение специальными техническими терминами; правильные ответы на дополнительные вопросы экзаменатора;

	полное понимание сути методик технологических расчетов; владение алгоритмом выполнения технологических расчетов; затруднения при составлении алгоритма расчета нестандартной технологической линии; непонимание сути задачи по оптимизации технологической линии.
9 (девять)	Полный ответ на экзаменационный вопрос; отсутствие ошибок в описании технологий и технологических схем процессов животноводческих предприятий; отсутствие ошибок в выборе технических средств механизации технологических процессов; умение выполнять анализ технологических процессов животноводческих предприятий по техническим (надежность, металлоемкость и т. п.), технологическим (производительность, качество работы, продукции и др.) и экономическим критериям; свободное владение специальными техническими терминами; правильные и логически обоснованные ответы на дополнительные вопросы экзаменатора; полное понимание сути методик технологических расчетов; владение алгоритмом выполнения технологических расчетов; умение составлять алгоритм расчета нестандартной технологической линии; понимание сути задачи по оптимизации технологической линии, но наличие затруднений по ее математическому обоснованию.
10 (десять)	Полный ответ на экзаменационный вопрос; отсутствие ошибок в описании технологий и технологических схем процессов животноводческих предприятий; отсутствие ошибок в выборе технических средств механизации технологических процессов; умение выполнять анализ технологических процессов животноводческих предприятий по техническим (надежность, металлоемкость и т. п.), технологическим (производительность, качество работы, продукции и др.) и экономическим критериям; свободное владение специальными техническими терминами; правильные и логически обоснованные ответы на дополнительные, в т. ч. и провокационные, вопросы экзаменатора; полное понимание сути методик технологических расчетов; владение алгоритмом выполнения технологических расчетов; умение составлять алгоритм расчета нестандартной технологической линии; понимание сути задачи по оптимизации технологической линии и предложения по ее решению математическими методами.

4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ «БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор академии
А. В. Колмыков
_____ 2021 г.
Регистрационный № УД- М-60-21 /уч.



ОСНОВЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности

1-74 06 01 Техническое обеспечение процессов
сельскохозяйственного производства

2021 г.

Учебная программа составлена в соответствии с образовательным стандартом высшего образования первой ступени для специальности 1–74 06 01 «Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства» (ОСВО 1-74 06 01-2019); учебными планами БД-74-06-17-20у от 30.01.2020, БДс-74-06-17-20у от 30.01.2020, БЗ-74-06-17-20у от 27.02.2020, БЗс-74-06-17-20у от 27.02.2020; С-06-44-18у от 27.09.2018, С-06-47-19у от 22.02.2019, 3-06-17-18у от 31.10.2018, 3-06-19-19у от 27.03.2019; типовой учебной программой.

СОСТАВИТЕЛИ:

П. Ю. Крупенин, доцент кафедры механизации животноводства и электрификации сельскохозяйственного производства учреждения образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия», кандидат технических наук, доцент.

К. А. Мачёхин, старший преподаватель кафедры механизации животноводства и электрификации сельскохозяйственного производства учреждения образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия».

А. В. Мелехов, старший преподаватель кафедры механизации животноводства и электрификации сельскохозяйственного производства учреждения образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия».

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

А. В. Китун, профессор кафедры технологий и механизации животноводства учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», доктор технических наук, профессор;

А. И. Филиппов, доцент кафедры механизации сельскохозяйственного производства учреждения образования «Гродненский государственный аграрный университет», кандидат технических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ В КАЧЕСТВЕ УЧЕБНОЙ:

Кафедрой механизации животноводства и электрификации сельскохозяйственного производства учреждения образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия» (протокол № 10 от 21.05.2021).

Методической комиссией факультета механизации сельского хозяйства учреждения образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия» (протокол № 10 от 21.06.2021).

Научно-методическим советом учреждения образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия» (протокол № 10 от 30.06.2021).

Ответственный за выпуск: К. А. Мачёхин

Ответственный за редакцию: К. А. Мачёхин

1 ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Энергосбережение – это самый эффективный способ развития современной мировой энергетики. Поэтому необходимо проводить обучение студентов по энерго- и ресурсосбережению, что способствует осознанию глобальных проблем истощения природных ресурсов, дает представление о потенциале и мерах энерго- и ресурсосбережения.

Цель учебной дисциплины – формирование у студентов теоретических знаний и практических навыков в области управления энергоэффективностью и энергосбережением на предприятии.

Задачи учебной дисциплины:

- изучение возобновляемых и невозобновляемых энергетических ресурсов и их потенциала в Республики Беларусь;
- изучение методов повышения энергоэффективности конечных потребителей энергии;
- изучение законодательства Республики Беларусь об энергосбережении;
- изучение особенностей организации энергосбережения на предприятии.

Освоение учебной программы по учебной дисциплине «Основы энерго- и ресурсосбережения» должно способствовать овладению следующей базовой профессиональной компетенцией:

БПК-14. Быть способным применять технологии производства сельскохозяйственной продукции в соответствии с принципами энерго- ресурсосбережения.

Указанная компетенция формируется путем использования в учебном процессе современных информационных технологий, методов проблемного обучения, элементов научно-исследовательской деятельности на лабораторно-практических занятиях и при управляемой самостоятельной работе студентов.

Учебная дисциплина относится к государственному компоненту учебного плана. Дисциплина «Основы энерго- и ресурсосбережения» базируется на знаниях, полученных при изучении учебных дисциплин: «Электропривод и электрооборудование», «Электронные системы машин и оборудования», «Технологии и техническое обеспечение производства продукции животноводства» и др.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен

знать:

- свойства возобновляемых и невозобновляемых энергетических ресурсов Беларуси и их потенциал;
- виды технологических и вспомогательных технических потребителей энергии в отрасли;
- особенности проведения энергетического аудита и организации энергосбережения на предприятии;

уметь:

- экономно и рационально использовать энергию на рабочем месте;
 - осуществлять оценку технологических процессов и устройств с точки зрения их энергоэффективности;
 - выявлять источники вторичных энергетических ресурсов в отрасли с целью их последующей утилизации;
 - использовать и пропагандировать основные методы энергосбережения;
- владеть:**
- современными приемами и средствами управления энергоэффективностью и энергосбережением;
 - навыками организации контроля и учета использования энергоресурсов.

В рамках образовательного процесса по данной учебной дисциплине студент должен приобрести не только теоретические и практические знания, умения и навыки по специальности, но и развить свой ценностно-личностный, духовный потенциал, сформировать качества патриота и гражданина, готового к активному участию в экономической, производственной и социально-культурной жизни страны.

Общее количество часов и количество аудиторных часов

В соответствии с учебными планами на изучение учебной дисциплины «Основы энерго- и ресурсосбережения» предусматривается:

для дневной формы получения высшего образования с полным сроком обучения – всего 120 часов (3 зачетные единицы), в том числе 48 аудиторных часов и 72 часа самостоятельной работы студентов;

для дневной формы получения высшего образования с сокращенным сроком обучения – всего 120 часов (3 зачетные единицы), в том числе 42 аудиторных часа и 62 часа самостоятельной работы студентов;

для заочной формы получения высшего образования с полным сроком обучения – всего 120 часов (3 зачетные единицы), в том числе 12 аудиторных часов и 108 часов самостоятельной работы студентов;

для заочной формы получения высшего образования с сокращенным сроком обучения – всего 120 часов (3 зачетные единицы), в том числе 10 аудиторных часов и 94 часа самостоятельной работы студентов.

2 СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1 Топливо-энергетические ресурсы Республики Беларусь

Экономическая, социальная, экологическая и политическая значимость энергосбережения в Республике Беларусь. Информационное обеспечение энергосбережения. Методы оценки эффективности потребления энергии. Единицы измерения топлива и энергии. Условное топливо. Потери энергии: виды, физический характер, причины возникновения.

Классификация первичных энергетических источников. Топливо-энергетические ресурсы Республики Беларусь, их технически возможный потенциал.

2 Производство энергии традиционными методами

Органическое топливо. Низшая и высшая теплота сгорания органического топлива. Влияние параметров процесса горения на эффективность сжигания топлива. Топки для сжигания твердого, жидкого и газообразного топлива. Тепловой баланс топки. Методы повышения эффективности топочных агрегатов.

Автономное энергоснабжение с использованием систем когенерации. Общее устройство когенерационной установки. Эффективность применения систем когенерации энергии.

3 Производство энергии на основе возобновляемых источников

Использование энергии биомассы. Биогаз. Химический состав биогаза. Технологическая схема биогазовой установки. Расчет потенциально возможного объема производства биогаза на животноводческом предприятии. Технологическая схема процесса производства жидкого биотоплива. Особенности использования биодизельного топлива в автотракторной технике.

Гидроэнергетика малых рек.

Ветроэнергетика.

Гелиоэнергетика. Фотоэлектрический способ преобразования солнечного излучения в электроэнергию. Устройство, принцип действия и эффективность солнечных батарей. Солнечные водонагревательные установки (гелиоустановки).

Государственная поддержка производства энергии из возобновляемых источников в Республике Беларусь.

4 Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР)

Общее понятие о энергетических отходах и ВЭР. Классификация, энергетический потенциал и направления использования ВЭР.

Горючие ВЭР в сельскохозяйственном производстве. Методика расчета выхода горючих ВЭР и экономии замещаемого топлива при их использовании. Способы использования горючих ВЭР. Технология переработки горючих ВЭР в топливные гранулы (пеллеты).

Тепловые ВЭР в сельскохозяйственном производстве. Методика расчета выхода тепловых ВЭР и эффективности их утилизации. Способы утилизации тепловых ВЭР: рециркуляция, рекуперация, трансформация. Системы вентиляции помещений с рекуперацией теплоты удаляемого воздуха. Принципиальная схема и энергетический баланс трансформатора тепла (теплового насоса).

5 Управление энергосбережением и энергопотреблением

Законодательство Республики Беларусь об энергосбережении. Государственная программа «Энергосбережение». Органы государственного управления энергосбережением. Дифференциация тарифов на тепловую и электрическую энергию, природный газ и котельно-печное топливо.

Учет потребления энергии. Приборы учета расхода тепловой энергии. Методы и технические средства контроля расхода топлива автотракторной техникой.

Нормирование расхода топливно-энергетических ресурсов. Классификация норм расхода топливно-энергетических ресурсов. Порядок разработки, установления и пересмотра норм расхода топлива и энергии.

Общие принципы организации энергетического менеджмента на предприятии. Основные потребители энергии в отраслях сельского хозяйства. Классификация энергосберегающих мероприятий. Расчет эффекта от реализации энергосберегающих мероприятий в сельскохозяйственном производстве.

6 Энергосбережение в общепроизводственных процессах и в быту

Пути экономии электрической энергии. Мероприятия по снижению расхода электроэнергии на освещение. Характеристики источников света. Расчет экономии электроэнергии при использовании энергоэффективных осветительных приборов. Снижение потерь электрической энергии в электроприводах. Энергетическая эффективность различных способов регулирования электропривода.

Экономия тепловой энергии. Снижение потерь тепловой энергии в тепловых сетях. Методика расчета потерь энергии в тепловых сетях. Потери тепловой энергии в зданиях. Методика расчета потерь тепла в зданиях. Теплоизоляционные характеристики строительных материалов и ограждений. Снижение потерь тепла через окна, двери и систему вентиляции здания. Регулирование теплопотребления в зданиях.

Методы энергосбережения в быту. Рациональное использование электрической и тепловой энергии населением. Классы энергоэффективности бытовой техники.

7 Ресурсосбережение в сельскохозяйственном производстве

Производственный процесс. Технологический процесс. Технология производства. Интенсивные технологии. Адаптивные технологии. Ресурсо-, энергосберегающие технологии.

Технологические карты. Объем работ. Энергоемкость. Материалоемкость. Уровень механизации.

8 Организационно техническое обеспечение ресурсосберегающих технологий производства кормов для животноводства

Резервы энергосбережения при производстве продукции животноводства: энергосберегающие технологии заготовки, приготовления и раздачи кормов; снижение расхода топливно-энергетических ресурсов технологическим оборудованием для доения животных, первичной обработки молока, удаления навоза и создания оптимальных параметров микроклимата. Снижение расхода топливно-энергетических ресурсов в животноводстве путем оптимизации поточно-технологических линий.

9 Резервы энергосбережения в сельскохозяйственном производстве

Резервы для экономии топливно-энергетических ресурсов при производстве продукции растениеводства: рациональное комплектование и эксплуатация машинно-тракторных агрегатов; применение энергоэффективных приемов и технических средства для обработки почвы; использование средств удаленного мониторинга МТА, систем автоматического управления и технологий точного земледелия.

Экономия топлива при выполнении транспортных работ.

Снижение расхода топлива путем совершенствования технического сервиса машинно-тракторного парка. Внедрение прогрессивных средств механизации

3 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ КАРТЫ

3.1 Учебно-методическая карта учебной дисциплины

«Основы энерго- и ресурсосбережения»

Форма получения высшего образования дневная, полный срок обучения

№ п.п.	Название тем	Всего аудитор- ных часов	в том числе		Количество часов СР	Форма контроля знаний	Иное
			лекции	практиче- ские заня- тия			
1	Топливо-энергетические ресурсы Республики Беларусь	22	2	-	8	ЗПР	
2	Производство энергии традиционными методами	4	2	2	8	ЗПР	
3	Производство энергии на основе возобновляемых источников	10	4	6	8	ЗПР	
4	Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР)	4	2	2	8	ЗПР	
5	Управление энергосбережением и энергопотреблением	4	2	2	8	ЗПР	
6	Энергосбережение в общепроизводственных процессах и в быту	4	2	2	8	ЗПР	
7	Ресурсосбережение в сельскохозяйственном производстве	8	4	4	8	ЗПР	
8	Организационно техническое обеспечение ресурсосберегающих технологий производства кормов для животноводства	8	4	4	8	ЗПР	
9	Резервы энергосбережения в сельскохозяйственном производстве	4	2	2	8	ЗПР	
В с е г о		48	24	24	72		

Примечание: ЗПР – защита практической работы; З – сдача зачета.

3.2 Учебно-методическая карта учебной дисциплины

«Основы энерго- и ресурсосбережения»

Форма получения высшего образования дневная, сокращенный срок обучения

№ п. п.	Название тем	Всего аудиторных асов	в том числе			Количество часов СР	Форма контроля знаний	Иное
			лекции	Лаборатор- ные	Практиче- ские			
1	Топливо-энергетические ресурсы Республики Беларусь	3	2	1	-	6	ЗЛР	
2	Производство энергии традиционными методами	6	2	2	2	8	ЗЛР ЗЛР	
3	Производство энергии на основе возобновляемых источников	8	4	2	2	8	ЗЛР ЗЛР	
4	Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР)	6	2	4	-	6	ЗЛР	
5	Управление энергосбережением и энергопотреблением	4	2	2	-	6	ЗЛР	
6	Энергосбережение в общепроизводственных процессах и в быту	4	2	2	-	6	ЗЛР	
7	Ресурсосбережение в сельскохозяйственном производстве	4	2	-	2	8	ЗЛР	
8	Организационно техническое обеспечение ресурсосберегающих технологий производства кормов для животноводства	4	2	-	2	8	ЗЛР	
9	Резервы энергосбережения в сельскохозяйственном производстве	3	2	1	-	6	ЗЛР	
Всего		42	20	14	8	62	3	

Примечание: ЗЛР – защита практической работы; З – сдача зачета.

3.3 Учебно-методическая карта учебной дисциплины

«Основы энерго- и ресурсосбережения»

Форма получения высшего образования заочная, полный срок обучения

№ п.п.	Название тем	Всего аудитор- ных часов	в том числе		Количество часов СР	Форма контроля знаний	Иное
			лекции	практиче- ские заня- тия			
1	Топливо-энергетические ресур- сы Республики Беларусь	1	1	-	12		
2	Производство энергии традици- онными методами	2	1	1	12	ЗПР	
3	Производство энергии на основе возобновляемых источников	4	2	2	12	ЗПР	
4	Вторичные энергетические ре- сурсы (ВЭР)	1	-	1	12	ЗПР	
5	Управление энергосбережением и энергопотреблением	-	-	-	12		
6	Энергосбережение в общепроиз- водственных процессах и в быту	-	-	-	12		
7	Ресурсосбережение в сельскохозяйственном производ- стве	2	1	1	12	ЗПР	
8	Организационно техническое обеспечение ресурсосберегаю- щих технологий производства кормов для животноводства	2	1	1	12	ЗПР	
9	Резервы энергосбережения в сельскохозяйственном производ- стве	-	-	-	12		
В с е г о		12	6	6	108	3	

Примечание: ЗПР – защита практической работы; 3 – сдача зачета.

3.4 Учебно-методическая карта учебной дисциплины

«Основы энерго- и ресурсосбережения»

Форма получения высшего образования заочная, сокращенный срок обучения

№ п.п.	Название тем	Всего аудитор- ных часов	в том числе			Количество ча- сов СР	Форма контроля знаний	Иное
			лекции	практиче- ские заня- тия	Лаборатор- ные			
1	Топливо-энергетические ресур- сы Республики Беларусь	1	1	-	-	10		
2	Производство энергии традици- онными методами	2	1	-	1	10	ЗПР	
3	Производство энергии на основе возобновляемых источников	3	1	1	1	12	ЗПР ЗЛР	
4	Вторичные энергетические ре- сурсы (ВЭР)	1	-	1	-	10	ЗЛР	
5	Управление энергосбережением и энергопотреблением	-	-	-	-	10		
6	Энергосбережение в общепроиз- водственных процессах и в быту	-	-	-	-	10		
7	Ресурсосбережение в сельскохозяйственном производ- стве	1	-	-	1	12	ЗПР	
8	Организационно техническое обеспечение ресурсосберегаю- щих технологий производства кормов для животноводства	2	1	-	1	12	ЗПР	
9	Резервы энергосбережения в сельскохозяйственном производ- стве	-	-	-	-	8		
Всего		10	4	2	4	94	3	

Примечание: ЗПР – защита практической работы; З – сдача зачета.

4 ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

4.1 Литература

Основная

1. Добыш, Г. Ф. Основы энергосбережения в сельскохозяйственном производстве / Г. Ф. Добыш – Минск, 2015. – 343 с.
2. Андрижиевский, А. А. Энергосбережение и энергетический менеджмент: учебное пособие / А. А. Андрижиевский, В. И. Володин. – 2-е изд., испр. – Минск: Вышэйшая школа, 2005. – 294 с.

Дополнительная

1. Энергосбережение и возобновляемые источники энергии: учеб. метод. пособие / О. И. Родькин [и др.]; под общ. ред. С. П. Кундаса. – Минск: МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2011. – 160 с.
2. Клочков, А. В. Энергосбережение в сельскохозяйственном производстве / А. В. Клочков, О. С. Клочкова. – Горки: БГСХА, 2007. – 64 с. (123*).
3. Арутюнян, А. А. Основы энергосбережения. Методы расчета и анализа потерь электроэнергии, энергетическое обследование и энергоаудит, способы учета и снижения потерь, экономический эффект / А. А. Арутюнян. – М.: Энергосервис, 2007. – 593 с.
3. Колесников, А. И. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях: учеб. пособие / А. И. Колесников, М. Н. Федоров, Ю. М. Варфоломеев; ред. М. Н. Федоров. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 123 с.
5. Полонский, В. М. Энергосбережение: учеб. пособие / В. М. Полонский, М. С. Трутнева. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2005. – 160 с.
6. Малин, Н. И. Энергосберегающая сушка зерна: учеб. пособие / Н. И. Малин. – М.: КолосС, 2004. – 239 с.
7. Севернев, М. М. Энергосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве / М. М. Севернев. – М.: Колос, 1992. – 190 с.
8. Добышев, А. С. Энергосберегающие технологии и машины для возделывания сельскохозяйственных культур: монография / А. С. Добышев, Ф. Ф. Зубиков, К. Л. Пузевич. – Горки, 2014. – 160 с.
9. Позняк, С. С. Энергосбережение и альтернативная энергетика / С. С. Позняк. – Минск: Право и экономика, 2015. – 188 с.
10. Основы энергосбережения: учебное пособие / Б. И. Врублевский [и др.]; ред. Б. И. Врублевский. – Гомель: Развитие, 2002. – 190 с.
11. Пестис, В. К. Основы энергосбережения в сельскохозяйственном производстве: учебное пособие / В. К. Пестис, П. Ф. Богданович, Д. А. Григорьев. – Минск: ИВЦ Минфина, 2008. – 199 с.
12. Энергоресурсосбережение в животноводстве / Н. С. Яковчик [и др.]; ред. В. В. Валуев. – Минск: Дэбор, 1998. – 292 с.

13. Самойлов, М. В. Основы энергосбережения: учебное пособие / М. В. Самойлов, В. В. Паневчик, А. Н. Ковалев. – 2-е изд. стер. – Минск: БГЭУ, 2003. – 198 с.

Нормативно-правовые акты

1. Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства: Директива Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007 г. № 3 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2007. – № 146. – 1/8668.

2. Об энергосбережении: Закон Республики Беларусь, 15 июля 1998 г., № 190-З // Ведомости Национального собрания Республики Беларусь. – 1998. – № 31–32. – С. 470.

3. Об утверждении Государственной программы «Энергосбережение» на 2016–2020 годы [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 28 марта 2016 г., № 248 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа: <http://pravo.by/document/guid=3961&p0=C21600248>. – Дата доступа: 22.03.2016.

4.2 Методы (технологии) обучения

Основными методами (технологиями) обучения, отвечающими целям учебной дисциплины, являются:

- элементы проблемного обучения (проблемное изложение, вариативное изложение, частично поисковый метод), реализуемые на лекционных занятиях;
- элементы учебно-исследовательской деятельности, применение творческого подхода, реализуемого на лабораторных занятиях, а также при выполнении индивидуальных заданий.

4.3 Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов

При изучении учебной дисциплины используются следующие формы самостоятельной работы:

- самостоятельная работа в виде выполнения индивидуальных работ в аудитории во время проведения лабораторных занятий под контролем преподавателя в соответствии с расписанием;
- самостоятельная работа при изучении технических систем в аудитории в дополнительное время под контролем преподавателя;
- подготовка рефератов и презентаций по индивидуальным темам;
- самостоятельная работа, в том числе отработка лабораторных занятий с консультацией преподавателя.

4.4 Перечень рекомендуемых средств диагностики компетенций студентов

Для оценки промежуточных учебных достижений студентов используется следующий диагностический инструментарий:

- проведение текущих контрольных опросов;
- выступление студента на конференции по подготовленному реферату;
- защита выполненных лабораторных работ;

Оценка итоговых приобретенных компетенций проводится в форме зачета.

4.5 Примерный перечень тем лабораторных работ

1. Снижение потерь электрической энергии при энергоснабжении сельских потребителей.
2. Уменьшение потерь электроэнергии компенсацией реактивной мощности.
3. Конструкция и принцип действия солнечных батарей.
4. Приборы учета расхода воды, газа и тепловой энергии.

4.6 Перечень лабораторного оборудования

1. Лабораторная установка для исследования рабочих параметров ветроэнергетической установки.
2. Лабораторная установка изучения уменьшения потерь электроэнергии компенсацией реактивной мощности.
3. Лабораторная установка изучения принципа действия и эффективности солнечных батарей.
4. Лабораторная установка изучения приборов учета расхода воды, газа и тепловой энергии.

4.7 Перечень тем практических занятий

1. Способы получения электрической энергии: традиционные и альтернативные.
2. Экономия электрической энергии при эксплуатации светотехнических устройств.
3. Изучение направлений экономии электроэнергии при получении горячей воды.
4. Оценка резерва экономии топливно-энергетических ресурсов за счет реализации энергосберегающих мероприятий в растениеводстве и животноводстве.
5. Разработка норм расхода топливно-энергетических ресурсов.
6. Основы проектирования ресурсосберегающих сельскохозяйственных производственных процессов

7. Оценка эффективности ресурсосбережения в сельскохозяйственных производственных процессах

Учебное издание

Мелехов Андрей Владимирович
Мачехин Кирилл Александрович

УЧЕБНО–МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

ОСНОВЫ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

для специальности 1-74 06 01 Техническое обеспечение процессов
сельскохозяйственного производства

В авторской редакции

Ответственный за выпуск *Мелехов А. В.*

Подписано в печать **23.11.2020**. Формат 84 × 120 ¹/₈. Бумага офсетная.
Печать цифровая. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. . Уч. - изд. л. .
Тираж 2 экз. Заказ .

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Свидетельство о ГРИИРПИ № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия». Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.