

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В. А. Коротинский, А. Е. Андрейчик, С. И. Саница

ИСТОЧНИКИ И СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением
по аграрному техническому образованию в качестве
учебно-методического пособия для студентов
учреждений высшего образования по специальности
1-74 06 05 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства
(по направлениям)», направление специальности
1-74 06 05-02 «Энергетическое обеспечение
сельского хозяйства (теплоэнергетика)»*

Минск
БГАТУ
2022

УДК 697.1(07)
ББК 31.38я7
К68

Рецензенты:
кафедра ЮНЕСКО «Энергосбережение
и возобновляемые источники энергии» БНТУ
(доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий кафедрой *В. Г. Баитовой*);
директор ООО «Лаборатория ПВТи» *А. В. Михадюк*

Коротинский, В. А.

К68 Источники и системы теплоснабжения. Лабораторный практикум : учебно-методическое пособие / В. А. Коротинский, А. Е. Андрейчик, С. И. Сеница. – Минск : БГАТУ, 2022. – 80 с.
ISBN 978-985-25-0142-2.

Содержит основные теоретические положения, общие сведения о лабораторных методах теплотехнических измерений и экспериментальных исследованиях процессов, необходимые для выполнения лабораторных работ, а также методические рекомендации по их выполнению.

Для студентов учреждений высшего образования сельскохозяйственного профиля направления специальности 1-74 06 05-02 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (теплоэнергетика)».

УДК 697.1(07)
ББК 31.38я7

ISBN 978-985-25-0142-2

© БГАТУ, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Правила выполнения лабораторных работ	5
Лабораторная работа № 1. Физико-химические процессы горения топлива	6
Лабораторная работа № 2. Определение влажности топлива	13
Лабораторная работа № 3. Определение зольности топлива	19
Лабораторная работа № 4. Определение выхода летучих веществ при сжигании топлива	24
Лабораторная работа № 5. Проверка качества нефтепродуктов простейшими методами	30
Лабораторная работа № 6. Изучение действующего индивидуального теплового пункта главного корпуса БГАТУ	35
Лабораторная работа № 7. Определение теплотребления индивидуального теплового пункта	41
Лабораторная работа № 8. Определение действительной теплопроизводительности пластинчатого теплообменника	44
Лабораторная работа № 9. Определение коэффициента эффективности теплоизоляционной конструкции трубопровода	49
Лабораторная работа № 10. Изучение элементов систем теплоснабжения по наглядно-демонстрационному стенду	56
Лабораторная работа № 11. Изучение элементов генерирующих теплоисточников действующей котельной, мини-ТЭЦ, ТЭЦ-3	63
Список использованных источников	64
Приложение	66

ВВЕДЕНИЕ

На производственных предприятиях агропромышленного комплекса тепловая энергия, вырабатываемая в источниках теплоты и транспортируемая по тепловым сетям, используется для нужд отопления, вентиляции, горячего водоснабжения и в технологическом оборудовании.

Снижение расхода топлива и энергии при ее выработке и распределении, уменьшение капиталовложений в котельную, тепловые и абонентские сети требуют рационального решения, знания всех элементов теплоснабжения и грамотного выбора оборудования с учетом современных технических требований.

Структура и содержание учебно-методического пособия соответствуют образовательным стандартам и учебной программе по дисциплине «Источники и системы теплоснабжения».

Учебно-методическое пособие содержит краткие теоретические сведения к каждой работе, методические указания по выполнению лабораторных работ, контрольные вопросы.

ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Студент допускается к выполнению лабораторных работ после ознакомления с правилами техники безопасности в лабораториях кафедры и разрешения преподавателя (лаборанта).

В процессе подготовки к лабораторной работе необходимо изучить методические указания, привести на бланке отчета схему лабораторной установки и таблицу для записи результатов измерений.

При выполнении лабораторных работ студент должен действовать в строгом соответствии с методическими указаниями и не допускать самовольных действий с приборами, пускорегулирующей аппаратурой и другими элементами установок.

Запрещается:

- включать и выключать лабораторные установки без разрешения преподавателя;
- прикасаться к элементам оборудования, которые могут находиться под напряжением;
- прикасаться к нагретым поверхностям и движущимся частям оборудования;
- облачиваться или ставить ноги на оборудование.

Студент должен знать, где находится аппаратура, с помощью которой включается (выключается) оборудование, производится снятие показаний.

По окончании выполнения экспериментальной части лабораторной работы или изучения элементов систем необходимо показать преподавателю заполненную таблицу результатов измерений, схемы и записи.

При нарушении правил техники безопасности студент отстраняется от выполнения лабораторных работ и может быть допущен к дальнейшему их выполнению после собеседования с преподавателем по правилам выполнения работ.

Лабораторная работа № 1

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА

Цель работы: изучить физико-химические процессы горения топлива.

Общие сведения

Горение – это химическая реакция окисления, сопровождающаяся выделением теплоты и света. Для возникновения горения требуется наличие трех факторов: горючего вещества, окислителя и источника загорания. Окислителями могут быть кислород, хлор, фтор, бром, йод, окиси азота и другие. Кроме того, необходимо чтобы горючее вещество было нагрето до определенной температуры и находилось в определенном количественном соотношении с окислителем, а источник загорания имел определенную энергию.

Физико-химические основы горения заключаются в термическом разложении вещества или материала до углеводородных паров и газов, атомы которых под воздействием высоких температур вступают в химическое взаимодействие с окислителем (кислородом воздуха), превращаясь в процессе сгорания в углекислый газ (двуокись углерода) и воду, при этом выделяется тепло и световое излучение.

Процесс возникновения горения может быть нескольких видов.

Вспышка – быстрое сгорание горючей смеси, не сопровождающееся образованием сжатых газов.

Возгорание – возникновение горения под воздействием источника зажигания.

Условно источники зажигания можно разделить на 4 вида:

- открытый огонь в виде тлеющей сигареты, зажженной спички, конфорки газовой плиты, керосинового фонаря, лампы;
- теплоэлектронагревательные приборы;
- искры от сварочных аппаратов;
- самовозгорание веществ и материалов.

Все горючие вещества и материалы имеют свою температуру воспламенения.

Воспламенение – процесс возникновения горения, происходящий в результате нагрева горючего вещества источником зажигания.

Температура воспламенения горючих веществ и материалов колеблется от отрицательных (бензин, керосин, лаки, краски) до положительных величин и не превышает для большинства твердых материалов 300 °С.

Многим твердым веществам и материалам присуще самовозгорание.

Самовозгорание – явление скачкообразного увеличения инертности реакции, приводящей к началу горения вещества (материала, смеси) при отсутствии видимого источника зажигания. Сущность этого процесса заключается в том, что при продолжительном воздействии тепла оно накапливается в материале и при достижении температуры самонагрева происходит тление или воспламенение материала. Накопление тепла может продолжаться от нескольких дней до нескольких месяцев.

Самовоспламенение – самовозгорание, сопровождается появлением пламени.

Для большинства горючих веществ процесс самовозгорания выглядит, как совокупность тепловой, химической и микробиологической реакции.

Температура самовозгорания торфа и бурого угля составляет 50–60 °С, хлопка – 120 °С, бумаги – 100 °С, линолеума – 80 °С – это тепловое самовозгорание под действием постоянного источника нагревания.

Химическое самовозгорание связано со способностью веществ и материалов вступать в химическую реакцию с воздухом или другими окислителями при нормальных условиях с выделением теплоты, достаточной для их возгорания.

Самовозгораются промышленная ветошь и фосфор на воздухе, легковоспламеняющаяся жидкость при контакте с марганцовкой, древесные опилки при контакте с кислотами.

Микробиологическое самовозгорание связано с деятельностью мельчайших насекомых. Они в огромном количестве размножаются в спрессованных материалах, поедают все органическое и там же погибают, вместе со своим разложением выделяя определенную температуру, которая накапливается внутри материала. Наиболее

характерным примером является самовозгорание прошлогодних скирд сена.

Процесс горения твердых, жидких и газообразных веществ включает фазы: окисление, самовоспламенение и горение.

По степени горючести вещества делятся: на горючие (сгораемые), трудногорючие (трудносгораемые) и негорючие (несгораемые).

К горючим относятся такие вещества, которые при воспламенении посторонним источником продолжают гореть и после его удаления.

К трудногорючим относятся такие вещества, которые не способны распространять пламя и горят лишь в месте воздействия источника зажигания.

Негорючими являются вещества, не воспламеняющиеся даже при воздействии достаточно мощных источников зажигания.

Горючие вещества могут быть в трех агрегатных состояниях: жидком, твердом и газообразном. Большинство горючих веществ независимо от агрегатного состояния при нагревании образуют газообразные продукты, которые при смешении с воздухом, содержащим определенное количество кислорода, образуют горючую среду.

Из горючих газов и пыли образуются горючие смеси при любой температуре, в то время как твердые вещества и жидкости могут образовать горючие смеси только при определенных температурах.

Горение твердых топлив происходит через ряд стадий накладывающихся друг на друга:

- нагрев;
- испарение влаги;
- выделение летучих веществ и образование кокса;
- горение летучих веществ и образование кокса.

Определяющей является стадия горения кокса, т.е. углерода. Поскольку углерод является главной горючей составляющей почти всех натуральных твердых топлив. Кроме этого стадия горения кокса продолжительнее всех остальных ($\approx 90\%$) и именно эта стадия создает тепловые условия для всех остальных стадий. В целом горение твердых топлив является сложным физико-химическим процессом, включающим в себя подвод кислорода к поверхности топлива химической реакции и удаление продукта реакции.

Твердое топливо сжигается в слое (рис. 1.1). Под слоем загруженного топлива находится горящий кокс, после прогрева поступившего топлива происходит испарение влаги и летучих веществ. Одновременно образуется кокс, опускающийся в нижний слой взамен выгоревшего в нем кокса. С раскаленных кусочков кокса каплями стекает вниз шлак, затвердевая на колосниковой решетке, откуда периодически его удаляют.

Для разрушения слоя шлака, образующегося на поверхностях горения и сильно его затрудняющего, появляется необходимость шуровать (тормошить) слой. Горение происходит как в слое топлива, так и в надслойном пространстве, куда выделяются горючие газы. В нижней части слоя кокса одновременно образуются СО и СО₂. Эта зона, где кислород воздуха принимает участие в реакциях окисления, называется *окислительной (кислородной) зоной*.

К концу окислительной зоны концентрация О₂ снижается до 1–2 %, а концентрация СО₂ достигает максимума.

Над окислительной зоной находится восстановительная зона, в которой кислород практически отсутствует. СО₂ здесь взаимодействует с раскаленным углеродом С, с образованием СО, что приводит к уменьшению содержания СО₂ и увеличению СО по высоте восстановительной зоны. В восстановительной зоне возможна также экзотермическая реакция разложения водяных паров с образованием еще одного горючего газового компонента водорода. Образование горючих газов из топлива СО и Н₂ составляет процесс газификации топлива. Температура в окислительной зоне резко возрастает по высоте и достигает максимальных значений там, где наибольшая концентрация СО₂. В восстановительной зоне температура меньше, чем в окислительной.

О скорости горения топлива судят по тепловому напряжению топочного пространства (МВт/м²). Эта величина определяется по формуле

$$q_v = \frac{Q}{V_T},$$

где Q – количество выделяемой теплоты в секунду, МВт;

V_T – объем зоны горения, м².

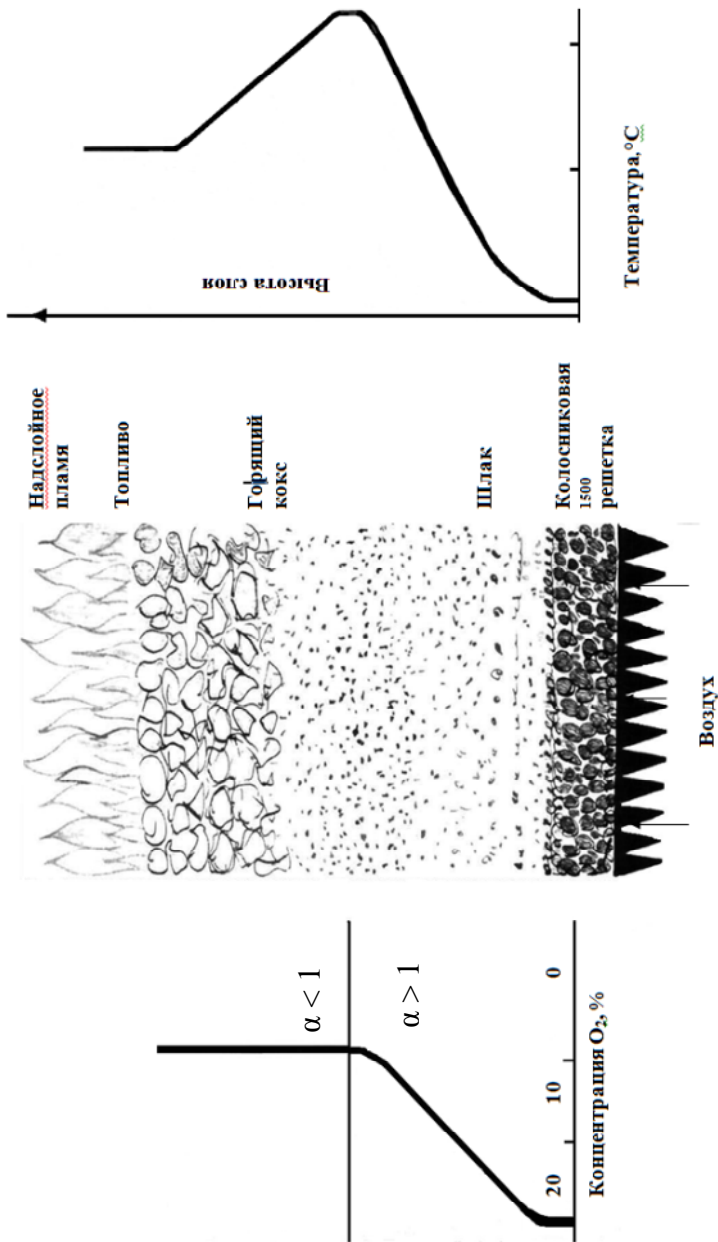


Рис. 1.1. Структура горящего слоя топлива

Скорость горения топлива равна:
для камерных топок – $0,2\text{--}0,4 \text{ МВт/м}^2$;
циклонных топок – $6,5\text{--}12,0 \text{ МВт/м}^2$;
топки печей – $0,35\text{--}1,20 \text{ МВт/м}^2$.

Методика выполнения работы

При исследовании процесса горения требуется наличие горючего вещества, окислителя и источника загорания. Суть процесса состоит в том, что навеска топлива прокаливается при свободном доступе воздуха (сгорает) в открытом тигле при температуре $850 \pm 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Лабораторная установка (рис. 1.2) состоит из муфельной электрической печи 3, в которой предусмотрены два отверстия для подвода воздуха и удаления продуктов сгорания. Температура внутри печи измеряется хромель-алюмелевой (ХА) термопарой 1 с потенциометром 2. В системе нагрева предусматривается двухпозиционное автоматическое поддержание соответствующей температуры после выхода установки на режим. Лабораторная установка укомплектована тиглями 4.

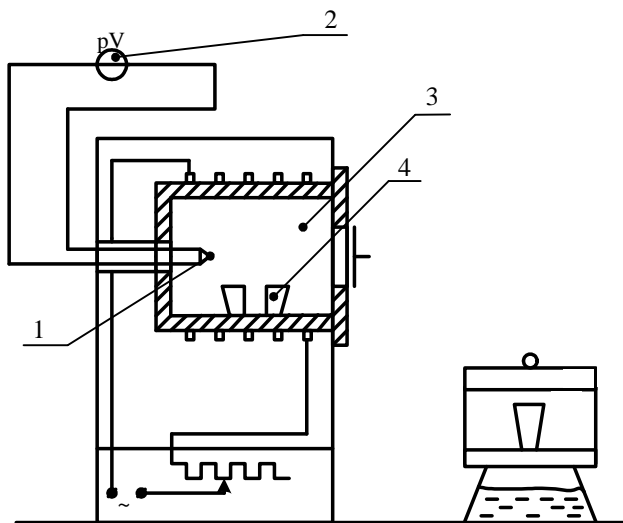


Рис. 1.2. Схема муфельной печи

Работа выполняется в следующей последовательности:

1. Ознакомиться с лабораторной установкой, приборами.
2. Включить муфельную печь в электрическую сеть и разогреть до температуры 850 ± 25 °С.
3. Тщательно перемешать исследуемое топливо в открытой банке.
4. Измерить температуру в печи. При соответствующей температуре открыть переднюю дверцу муфеля и поместить тигли с навесками топлива на край муфеля.
5. Наблюдать за реакцией, происходящей с топливом.
6. Сделать выводы и заключение о процессах горения топлива.

Контрольные вопросы

1. Что такое горение?
2. Какие есть факторы горения? виды горения?
3. Как различаются вещества по степени горючести?
4. Из каких слоев состоит горящее топливо?

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ТОПЛИВА

Цель работы: изучить классификацию и различный состав топлива, основные его элементы и теплотехнические характеристики; научиться экспериментально определять влажность топлива; изучить теплотехнические, экономические и экологические недостатки влажного топлива.

Общие сведения

Топливо – горючие вещества, умышленно сжигаемые с целью получения большого количества теплоты. Эти вещества одновременно являются ценным сырьем для химической промышленности. Поэтому целесообразность использования их в качестве топлива предварительно определяется технико-экономическим расчетом с учетом запасов, свойств, уровня развития техники и экономики на данном этапе.

По агрегатному состоянию топливо подразделяется на твердое, жидкое и газообразное; по способу применения – на естественное и искусственное, полученное переработкой естественного.

Любое топливо состоит из горючих элементов и негорючих примесей (балласта). К горючим элементам твердого и жидкого топлива относятся углерод, водород и горючая (летучая) сера. Внутренний балласт топлива составляют кислород и азот, внешний балласт – минеральные негорючие примеси и влага.

Топливо, которое сжигается в технических устройствах без предварительной обработки, то есть содержит горючие элементы и балласт, называется рабочей массой. Состав топлива задается в процентах по массе и определяется следующим соотношением:

$$C^P + H^P + O^P + N^P + S_n^P + A^P + W^P = 100 \%$$

Составом топлива в виде рабочей массы пользуются при выполнении теплотехнических расчетов топок котлоагрегатов, печей, а также камер сгорания различных двигателей.

При полном отсутствии влаги в топливе его состав выражается в виде сухой массы:

$$C^C + H^C + O^C + N^C + S_n^C + A^C = 100 \%$$

Состав топлива без внешнего балласта ($A^P + W^P$) называется горючей массой:

$$C^\Gamma + H^\Gamma + O^\Gamma + N^\Gamma + S_n^\Gamma = 100 \text{ \%}.$$

На практике наиболее часто изменяется внешний балласт топлива (зольность, влажность). Поэтому горючая масса – наиболее стабильный состав топлива.

Характеристика основных элементов топлива

Углерод и водород – самые ценные горючие компоненты топлива.

Углерод при полном сгорании выделяет 33,65 МДж теплоты на 1 кг массы. Его содержание в горючей массе различных видов топлива составляет более 50 % и возрастает с увеличением геологического возраста топлива. Например, в мазуте содержание углерода составляет 86–88 %.

Водород при полном сгорании образует воду. Поэтому экологически является самым чистым горючим компонентом топлива. При его сгорании выделяется примерно 141,5 МДж теплоты на 1 кг водорода. С увеличением геологического возраста топлива содержание водорода уменьшается от 6 до 2 %. Частично водород в топливе находится в связанном виде, образуя внутреннюю влагу топлива, что несколько снижает его тепловую ценность как горючего элемента. Однако водород играет основную роль в образовании летучих веществ, выход которых является одной из основных теплотехнических характеристик топлива.

Кислород и азот составляют внутренний балласт топлива, потому что снижают содержание в нем горючих элементов. С увеличением возраста топлива содержание кислорода уменьшается. Кислород химически связывает часть водорода в топливе, тем самым обесценивая его. Содержание азота в горючей массе различных видов топлива незначительно и составляет 1–3 %. Однако и такое малое количество азота в топливе является весьма вредным из-за повышенной токсичности образующихся при высокотемпературном сжигании топлива (более 1100 °С) оксидов азота (NO, NO₂).

Сера топлива в виде органических соединений и колчедана (FeS₂, CuFeS₂) образует горючую или летучую серу (Sn). Горючая сера при полном сгорании (до образования SO₂) выделяет 9 МДж

теплоты на 1 кг серы. В топливе содержится также негорючая сера или сульфатная в виде различных химических соединений – сульфатов (CaSO_4 , MgSO_4 , Na_2SO_4 и т. п.). Эта сера входит в состав негорючих примесей топлива (A^P). Содержание серы в твердом топливе составляет 4–9 %, в мазуте – 0,2–2,5 %. Любая сера обесценивает топливо и снижает его качество. Продукты сгорания горючей серы – сернистый газ (SO_2) и серный ангидрид (триоксид серы) SO_3 – крайне токсичны, вызывают коррозию и разрушение металлических конструкций топочных устройств и газоходов. Поэтому серу нередко относят к балласту топлива.

Влага – внешний балласт топлива, составляет от 1 до 50 % рабочей массы различных видов топлива. Количество влаги в топливе зависит от геологического возраста, химической природы, условий залегания, добычи, транспортировки и хранения. Влага топлива бывает двух видов: внешней (воздушной) и равновесной (гигроскопической). Внешняя – смачивает поверхность кусков топлива, равновесная – заполняет поры и капилляры. Для этой влаги характерна физико-механическая связь с материалом. Внешняя влага удаляется из топлива при любой температуре до установления равновесия между парами влаги в топливе и окружающем воздухе при данных условиях.

Топливо без воздушной влаги называют воздушно-сухим или аналитической пробой. С этим составом в лаборатории проводят технический анализ топлива, а в данной лабораторной работе нужно определять влажность топлива. Содержание внешней влаги определяют высушиванием навески топлива на воздухе.

Влага, остающаяся в аналитической пробе при точно выдержанной температуре 20 °C (± 1 °C) и относительной влажности топлива 65 % (± 5 %), испаряющаяся при температуре 102–105 °C, называется гигроскопической. Для этой влаги характерна более прочная физико-химическая связь, обусловленная действием абсорбционных и осмотических сил в капиллярах и порах топлива. Однако после удаления гигроскопической влаги в топливе остается еще гидратная (кристаллизационная) влага и коллоидная (осмотическая).

Влага, как и зола, обесценивает топливо теплотехнически, экономически и экологически:

– уменьшает содержание горючих элементов, выход летучих веществ и величину теплоты сгорания топлива. При этом по сравнению с золой дополнительная теплота затрачивается на испарение влаги;

- увеличивает затраты труда и ресурсов на всех этапах подготовки топлива к использованию, приводит к смерзанию зимой или к возможности самовозгорания летом;
- увеличивает объем продуктов сгорания, загрязняющих окружающую среду;
- повышает теплопотери с уходящими газами, снижая КПД топков.

Методика выполнения работы

Экспериментально влажность топлива определяется путем сушки его навески в сушильном шкафу при постоянной температуре 101–110 °С до полного испарения влаги. Затем по убыли массы навески рассчитывается влажность.

Данное значение температуры сушки обусловлено тем, что в этих условиях парциальное давление водяных паров в топливе превышает их парциальное давление в окружающей среде (атмосферном воздухе). Это способствует интенсивному удалению влаги из топлива.

Превышение указанной температуры сушки влечет за собой неконтролируемое окисление и разложение органических веществ с выделением летучих компонентов, что искажает экспериментальные результаты и поэтому недопустимо.

Лабораторная установка (рис. 2.1) состоит из электрического сушильного шкафа 2 с терморегулятором и отверстиями для естественной вентиляции, бюксов 3 с навесками топлива, эксикатора 4 с химическим реактивом, поглощающим воду. Термометр 1 предназначен для измерения температуры внутри сушильного шкафа.

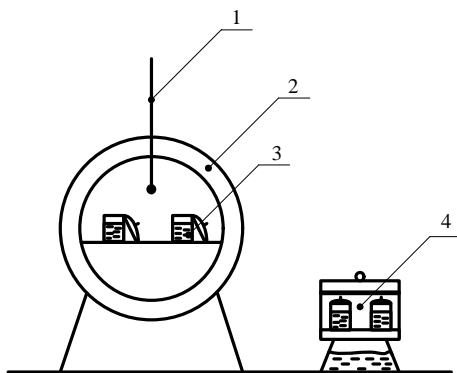


Рис. 2.1. Сушильный шкаф

Работа выполняется в следующей последовательности:

1. Ознакомиться с лабораторной установкой, используемыми приборами и принадлежностями, инструкцией по взвешиванию на весах. Вместе с преподавателем проверить работоспособность весов. Взвешивание выполнить не менее 3 раз.

2. Включенный в электрическую сеть сушильный шкаф разогреть до температуры 105–110 °С.

3. Подготовить таблицу рекомендуемой формы (табл. 2.1) для записи результатов измерений.

Таблица 2.1

Результаты измерений

№ бюкса	Масса бюкса, г			
	пустого с крышкой M_1	с навеской топлива M_2	после 1-й сушки M_3	после 2-й сушки M_4

4. Взвесить пустые бюксы с крышками и записать значение масс M_1 в таблицу.

Одновременно исследовать две навески топлива!

5. Тщательно перемешать исследуемое топливо в открытой банке. Вместе с бюксом и крышкой отобранную навеску топлива взвесить на весах. При этом масса навески топлива должна быть равна 1–2 г. Записать значение массы M_2 в таблицу.

6. Измерить температуру в сушильном шкафу. При соответствующей температуре приоткрыть крышки бюксов с навесками топлива и быстро поместить в сушильный шкаф. Зафиксировать время и выдерживать бюксы в шкафу в течение 1 часа.

7. После сушки бюксы с навесками осторожно извлечь из сушильного шкафа и охлаждать на воздухе в течение 2 минут, а затем в эксикаторах – до комнатной температуры. Взвесить и записать массы M_3 бюксов с навесками топлива после 1-й сушки.

8. При той же температуре в сушильном шкафу произвести контрольную (вторую) сушку в течение 30 минут с последующим вышерассмотренным охлаждением и взвешиванием. Записать значения массы M_4 в таблицу.

9. Контрольные просушки повторяют до тех пор, пока убыль массы каждой из навесок не будет менее 0,001 г.

Обработка экспериментальных данных

По средним значениям измерительных величин убыли масс навесок топлива определяется относительная влажность твердого топлива аналитической пробы для каждой навески в отдельности по следующей формуле:

$$W^a = \frac{M_2 - M_4}{M_2 - M_1} 100 \%$$

Окончательно влажность исследуемого топлива определяется как среднее арифметическое для двух навесок:

$$W_{\text{ср}}^a = \frac{W_1^a + W_2^a}{2}$$

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение топлива.
2. Приведите классификацию и состав топлива.
3. Назовите и охарактеризуйте горючие элементы топлива.
4. Что такое внутренний и внешний балласты топлива?
5. Приведите основные теплотехнические характеристики топлива.
6. Укажите теплотехнические, экономические и экологические недостатки влажного топлива.

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОЛЬНОСТИ ТОПЛИВА

Цель работы: изучить классификацию и различные составы топлива, основные его элементы и теплотехнические характеристики, научиться экспериментально определять зольность топлива, изучить теплотехнические, экономические и экологические недостатки топлива с повышенной зольностью, а также рациональные пути использования золы в сельском хозяйстве.

Общие сведения

Зола – твердый негорючий остаток, образующийся при горении в процессе разложения и окисления минеральных примесей. Эти примеси состоят из силикатов, карбонатов, фосфатов, сульфатов и сульфидов железа, кремния, алюминия, кальция, натрия, калия, марганца и других элементов. Зола во многом определяет качество топлива и особенность протекания процесса горения. Содержание минеральных примесей в сухой массе топлива иногда достигает 75 %. После сгорания топлива масса золы меньше массы негорючих примесей. Это объясняется превращениями и изменениями, которые претерпевают минеральные примеси в процессе горения топлива. Зола подразделяют на *первичную*, образующуюся при сгорании из минеральных остатков составных элементов – топливообразователей; *вторичную*, образующуюся при сгорании из минеральных примесей, внесенных в топливо в процессе его образования путем выветривания и разложения минеральных пород; *третьичную*, образующуюся из минеральных примесей, внесенных в топливо при его добыче, транспортировке и хранении.

Зола твердого топлива содержит глинозем (Al_2O_3), кремнезем (SiO_2), окислы железа (FeO , Fe_2O_3), известь (CaO), магнезию (MgO), окись калия (K_2O), хлориды, щелочи и сульфаты.

Содержание золы в рабочей массе твердого топлива составляет 4–25 %. При сжигании зольного топлива возникают дополнительные трудности, обусловленные плавлением золы или шлакообразованием. Легкоплавкая зола зашлаковывает горящий слой топлива, налипает на поверхности нагрева, резко ухудшая теплопроводность стенок. При высоких температурах шлак вступает в химическое

взаимодействие с огнеупорной кладкой и преждевременно разрушает ее.

В зависимости от температуры зола бывает: легкоплавкой ($t_{\text{пл}} < 1200 \text{ }^\circ\text{C}$), плавкой (1200–1350 $^\circ\text{C}$), тугоплавкой (1350–1500 $^\circ\text{C}$), очень тугоплавкой (1500–1650 $^\circ\text{C}$), огнеупорной ($t_{\text{пл}} < 1650 \text{ }^\circ\text{C}$). Присутствие в золе щелочей, сульфата натрия, окиси железа снижает температуру плавления.

Минеральные негорючие примеси (зола) обесценивают топливо теплотехнически, экономически и экологически:

- уменьшают содержание горючих элементов, выход летучих веществ и величину теплоты сгорания топлива;

- увеличивают затраты труда и расход ресурсов на добычу, транспортировку, переработку и хранение топлива;

- затрудняют процесс сжигания топлива и снижают интенсивность теплообмена зашлаковыванием горящего слоя и поверхностей нагрева;

- увеличивают недожог и абразивный износ частичками летучей золы поверхностей труб котлоагрегата и дымососа;

- сокращают срок службы огнеупорной обмуровки, в связи с разрушением ее химически агрессивным шлаком, требующим дополнительных технических устройств и мероприятий по его удалению и использованию;

- загрязняют атмосферу и окружающую среду, что требует применения золоулавливающих устройств и своевременного комплексного использования золы в народном хозяйстве.

Золу используют в промышленности строительных материалов частично вместо цемента для получения бетона, в сельском хозяйстве – как удобрение. Из золы некоторых углей получают также полупроводниковые элементы, такие как германий и галлий.

Методика выполнения работы

При определении зольности топлива оперируют с аналитической пробой. Зольность определяется по ускоренному стандартному методу, суть которого состоит в том, что навеска топлива прокаливается при свободном доступе воздуха (сгорает) в открытом тигле при температуре $850 \pm 25 \text{ }^\circ\text{C}$. При этом органическая часть топлива выгорает без пламени, и в тигле остается зола.

При недостатке воздуха в тигле неизбежно произойдет частичное коксование. Образующийся кокс выжечь до конца практически невозможно. В процессе опыта должно производиться медленное беспламенное сжигание топлива, именно прокаливание. При пламенном сжигании наблюдается неконтролируемый аэродинамический унос минеральных примесей, что занижает истинное значение зольности топлива.

Следует добавить также, что при быстром нагреве может также произойти образование кокса, который практически не выжигается.

Лабораторная установка (рис. 3.1) состоит из муфельной электрической печи 3, в которой предусмотрены два отверстия для подвода воздуха и удаления продуктов сгорания. Температура внутри печи измеряется хромель-алюмелевой (ХА) термопарой 1 с потенциометром 2. В системе нагрева предусматривается двухпозиционное автоматическое поддержание соответствующей температуры после выхода установки на режим. Лабораторная установка укомплектована тиглями 4, эксикатором 5 с серной кислотой для охлаждения тигля с пробой после прокаливания, а также лабораторными весами.

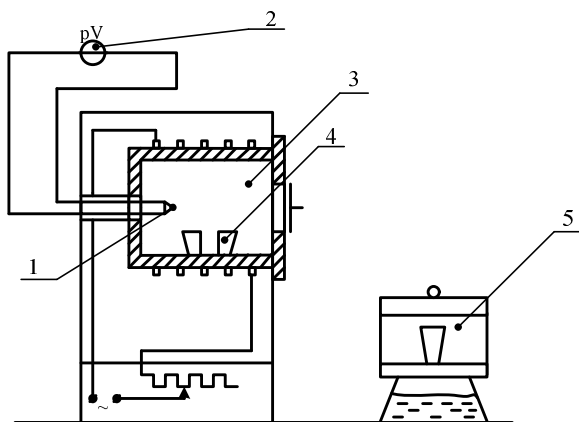


Рис. 3.1. Схема муфельной печи

Работа выполняется в следующей последовательности:

1. Ознакомиться с лабораторной установкой, приборами. Вместе с преподавателем проверить работоспособность весов. Взвешивание выполнять с каждой навеской топлива не менее трех раз.

2. Включить муфельную печь в электрическую сеть и разогреть до температуры 850 ± 25 °С.

3. Подготовить таблицу рекомендуемой формы (табл. 3.1) для записи результатов измерений.

Таблица 3.1

Результаты измерений

№ тигля	Масса тигля, г			
	пустого с крышкой M_1	с навеской топлива M_2	с золой после прокаливания M_3	с золой после контрольного прокаливания M_4

4. Взвесить пустые тигли и записать значения масс M_1 в таблицу.

Одновременно исследовать две навески топлива!

5. Тщательно перемешать исследуемое топливо в открытой банке. Записать значение массы M_2 в таблицу.

6. Измерить температуру в печи. При соответствующей температуре открыть переднюю дверцу муфеля и поместить тигли с навесками топлива на край муфеля. В таком положении выдерживать тигли в течение 10 минут. Затем тигли медленно со скоростью 1 см/мин необходимо подвигать внутрь печи до центральной зоны муфеля.

7. По достижении этой зоны тиглями закрыть дверцу муфеля. Прокаливать навески топлива в течение 40 минут, поддерживая температуру равной 850 ± 25 °С.

8. Затем тигли осторожно удалить из печи, разместить на асбестовой подставке, охладить в течение 5 минут на воздухе. Поместить в эксикатор и охладить до комнатной температуры. Взвесить и записать массу M_3 в таблицу.

9. Провести серию контрольных прокаливаний при температуре 850 ± 25 °С в течение 15 минут каждое. При этом разность в массе при двух последующих взвешиваниях не должна превышать 0,001 г. Записать в таблицу массу M_4 тигля с зональным остатком после последнего контрольного прокаливания.

Обработка экспериментальных данных

По средним значениям измеренных величин убыли масс навесок топлива после прокаливания или золообразования определяется зольность топлива в аналитической пробе для каждой навески в отдельности по следующей формуле:

$$A^a = \frac{M_4 - M_1}{M_2 - M_1} 100 \%.$$

Окончательно зольность исследуемого топлива определяется как среднее арифметическое для двух навесок:

$$A_{\text{ср}}^a = \frac{A_1^a + A_2^a}{2}.$$

Пересчет зольности топлива на сухую массу производится по формуле

$$A^c = A^a \frac{100}{100 - W^a}.$$

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое топливо?
2. Приведите классификацию и состав топлива.
3. Что такое внутренний и внешний балласты топлива?
4. Приведите основные теплотехнические характеристики топлива.
5. Укажите теплотехнические, экономические и экологические недостатки зольного топлива.

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫХОДА ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ ПРИ СЖИГАНИИ ТОПЛИВА

Цель работы: изучить классификацию и различные составы топлива, основные его элементы и теплотехнические характеристики; научиться экспериментально определять выход летучих веществ, спекаемость кокса; на основании экспериментальных данных охарактеризовать исследуемое топливо и установить его марку.

Общие сведения

Теплотехнические характеристики топлива. Тепловую ценность топлива характеризуют теплота сгорания и выход летучих веществ, величина которых существенно зависит от зольности и влажности топлива, как известно, обесценивающих его. Поэтому все они являются четырьмя важнейшими теплотехническими характеристиками.

Теплота сгорания топлива – теплота, выделяющаяся при полном сгорании 1 кг топлива. Различают низшую и высшую теплоту сгорания топлива. Низшая теплота сгорания топлива меньше высшей на теплоту, затраченную на испарение влаги как образующейся при сгорании водорода топлива, так и на испарение влаги самого топлива:

$$Q_H^P = Q_B^P - r \left(\frac{9H^P}{100} + \frac{W^P}{100} \right) = Q_B^P - 226H^P - 25,1W^P \text{ (кДж/кг)},$$

где r – теплота испарения влаги при 20 °С, $r = 2\,511$ кДж/кг;

$\frac{9H^P}{100}$ – количество влаги, образующейся при сгорании водорода;

$\frac{W^P}{100}$ – количество влаги в топливе.

Теплоту сгорания топлива определяют двумя способами – расчетным или экспериментальным. Теплота сгорания топлива равна сумме теплот, выделяемых при сгорании его отдельных элементов.

$$Q_H^P = 340C^P + 1030H^P - 109(O^P - S_n^P) - 25W^P,$$

где числовые коэффициенты выражают теплоту сгорания отдельных элементов, деленную на 100, а C^P , H^P , O^P , S_n^P – содержание различных элементов в топливе в процентах.

Максимальное значение низшей теплоты сгорания твердых топлив составляет $Q_H^P = 28$ МДж/кг (антрациты, каменные угли), минимальное в зависимости от балласта равняется $Q_H^P = 10$ МДж/кг (бурые угли). Для мазутов $Q_H^P = 28$ МДж/кг. Для природного газа $Q_H^P = 35$ МДж/м³.

Второй важнейшей теплотехнической характеристикой топлива, которую предстоит экспериментально определять в лабораторной работе № 4, является выход летучих веществ, который, как правило, приводится в процентах горючей массы топлива. Чем больше выход летучих веществ топлива, тем ниже температура воспламенения, легче его зажигание и больше объем пламени. При нагревании твердого топлива без доступа воздуха (сухой перегонки) при достаточно высокой температуре оно разлагается на газообразные продукты (летучие вещества), влагу и твердый остаток (кокс). Кокс состоит из углерода и золы. При нагревании топлива сначала выделяется внешняя влага, затем отгоняются конденсирующие пары масел и жирных кислот, являющиеся продуктами прямой отгонки. С повышением температуры наступает разложение топлива с выделением углеводородных газов и паров, а масса топлива, спекаясь, вновь затвердевает, образуя кокс.

Выход летучих веществ неравномерен во времени и зависит от температуры. В процессе сухой перегонки спекающихся углей при 350–450 °С сначала происходит размягчение угля, объясняемое тем, что содержащиеся в топливе битумы переходят в жидкое состояние. И только после этого с повышением температуры наступает разложение топлива с выделением углеводородных газов и паров, а масса топлива, спекаясь, вновь затвердевает, образуя кокс. С физико-химической точки зрения при сухой перегонке ослабевают связи между отдельными атомами и их звеньями. Наиболее слабые связи сложных органических молекул распадаются на простые звенья

и получают новые продукты, выдерживающие более высокую температуру. Последними распадаются простые углеводороды – метан CH_4 , этилен C_2H_4 и др. Летучие вещества состоят из горючих газов – CO , H_2 , H_2S и негорючих – CO_2 , O_2 , N_2 и др.

Выход летучих веществ в основном зависит от геологического возраста топлива, уменьшаясь с его увеличением, что объясняется разложением топлива в недрах земли. Например, для антрацитов выход летучих веществ составляет всего 29 %, для древесины намного больше – 85 %. Поэтому в основу классификации твердого топлива положены выход летучих веществ и вид кокса. Именно эти характеристики предопределяют процессы искусственной переработки и сгорания топлива в топках. В зависимости от исходного топлива кокс бывает трех видов: спекшийся, сплавленный и порошкообразный. Например, бурыми называют угли с выходом летучих веществ более 40 %, каменными – 10–40 %. В зависимости от вида кокса (точнее от степени спекаемости) маркируют угли: Д – длиннопламенный, Г – газовый, СС – слабоспекающийся и т. п.

Выход летучих веществ, отнесенный к аналитической пробе, сухой или рабочей массам отличается в больших пределах в зависимости от степени загрязнения топлива примесями, т.е. зависит от внешнего балласта – золы и влаги. Поэтому топливо одного и того же месторождения можно ошибочно отнести к различным маркам. Во избежание этого установлено для маркировки топлива выход летучих веществ приводит к горючей массе:

$$V^{\Gamma} = V^a \frac{100}{100 - A^a - W^a}.$$

Методика выполнения работы

Экспериментально выход летучих веществ топлива определяется стандартным методом. При этом навески топлива нагреваются в муфельной печи без доступа воздуха при температуре 850 ± 10 °С в течение 7 минут.

Для сопоставления результатов исследования необходимо строго в процессе эксперимента соблюдать указанные температуру и продолжительность прокаливания.

Выход летучих веществ определяется как отношение убыли массы навески топлива после прокаливания при указанных условиях к первоначальной массе навески за вычетом влажности топлива.

Влажность топлива определяется заранее экспериментально в лабораторной работе № 1 и результаты используются в данной работе.

Лабораторная установка (см. рис. 3.1) состоит из муфельной электрической печи 3, в передней дверце которой предусмотрено отверстие для лучшего удаления летучих веществ. Температура внутри печи измеряется хромель-алюмелевой (ХА) термопарой 1 с потенциометром 2. В системе нагрева предусматривается двухпозиционное автоматическое поддержание соответствующей температуры после выхода установки на режим. Лабораторная установка укомплектована тиглями 4 с крышками, эксикатором 5 с серной кислотой для охлаждения тигля с пробой после прокаливания, а также лабораторными весами ВЛКТ-500г-М 4 класса.

Работа выполняется в следующей последовательности:

1. Ознакомиться с лабораторной установкой, используемыми приборами и инструкцией по взвешиванию на весах. Вместе с преподавателем проверить работоспособность весов. Взвешивание выполнять с каждой навеской топлива не менее трех раз.

2. Включить муфельную печь в электрическую сеть и разогреть до температуры 850 °С.

3. Подготовить таблицу рекомендуемой формы (табл. 4.1) для записи результатов измерений.

Таблица 4.1

Результаты измерений

№ тигля	Масса тигля, г		
	пустого с крышкой M_1	с навеской топлива M_2	после прокаливания M_3

4. Взвесить пустые тигли с крышкой и записать значения масс M_1 в таблицу.

Одновременно исследовать две навески топлива!

5. Тщательно перемешать исследуемое топливо в открытой банке, насыпать в тигель и взвесить вместе с крышкой. Записать значение массы M_2 в таблицу.

6. Тигель с навеской топлива плотно закрыть крышкой и быстро поместить в муфельную печь. Зафиксировать время. Дверцу печи закрыть и выдерживать тигель с навеской при заданной температуре в течение 7 минут.

7. После прокаливания тигель осторожно удалить из печи, разместить на асбестовой подставке, зафиксировать время и охладить на воздухе в течение 5 минут. Затем поместить его в эксикатор и охладить до комнатной температуры.

8. Взвесить тигли с навеской и записать значение масс M_3 в таблицу.

Обработка экспериментальных данных

Величина выхода летучих веществ для аналитической массы топлива определяется по относительной убыли массы навески топлива в процентах с помощью следующей формулы:

$$V^a = \bar{M} \cdot 100 - W^a,$$

где \bar{M} — относительная убыль массы навески топлива:

$$\bar{M} = \frac{M_2 - M_3}{M_2 - M_1};$$

W^a — относительная влажность аналитической массы топлива. Принимается по результатам лабораторной работы № 1.

Чтобы по величине выхода летучих веществ и виду коксового остатка дать точную характеристику исследуемого топлива (установить марку), необходимо пересчитать полученный выше результат на горючую массу по формуле

$$V^{\Gamma} = V^a \frac{100}{100 - A^a - W^a}.$$

При этом зольность топлива принимается по результатам лабораторной работы № 2.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое топливо?
2. Приведите классификацию и состав топлива.
3. Охарактеризуйте горючие элементы топлива.
4. Какие элементы составляют балласт топлива и почему?
5. Перечислите основные теплотехнические характеристики топлива.
6. Какой элемент топлива играет основную роль в образовании летучих веществ?
7. Какие особенности сжигания топлива с повышенным выходом летучих веществ?

Лабораторная работа № 5

ПРОВЕРКА КАЧЕСТВА НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРОСТЕЙШИМИ МЕТОДАМИ

Цель работы: изучение простейших методов определения вида и качества топлива и масел; оценка исследуемых образцов топлива и картерного масла по внешним признакам; определение содержания механических примесей и воды.

Общие сведения

Цвет топлива зависит от наличия в нем растворенных смол, этиловой жидкости или случайных примесей, являющихся следствием смешения топлива с другими нефтепродуктами.

Бензины прямой гонки бесцветны; керосин прямой гонки окрашен в светло-желтый цвет. Дизельное топливо обычно желтого или светло-коричневого цвета. Бензины и керосины в зависимости от количества растворенных в них смол имеют окраску от соломенно-желтой до темно-желтой и даже коричневой. Чем темнее цвет топлива, тем больше в нем смол и тем хуже его качество. При использовании темных топлив с высоким содержанием смол наблюдается большое нагарообразование на деталях двигателя.

Топлива, содержащие этиловую жидкость (для предупреждения об их ядовитости), окрашивают в розово-красный или сине-зеленый цвета. Интенсивность окраски зависит от количества этиловой жидкости.

Прозрачность. Все нефтепродукты с однородной фазовой структурой прозрачны. Нарушение фазовой однородности вызывает помутнение образца. Если при комнатной температуре образец мутный, это указывает на наличие в нем эмульсионной воды.

Если при комнатной температуре образец прозрачный, а при понижении температуры до 0–5 °С мутнеет, то это происходит в результате образования в топливе кристаллов парафина. Такое топливо имеет высокую температуру застывания и может применяться только в теплое время года. Особенно нежелательно выпадение кристаллов парафина в дизельном топливе, так как они забивают фильтры очистки топлива, нарушают нормальную подачу

топлива и даже прекращают ее. Прозрачность топлива проверяется в стеклянном цилиндре емкостью 50–100 мл.

Запах. Прямогонные бензины и керосины имеют свой специфический запах. Особенно резкий запах у бензина. Дизельное топливо на вид более густое, слегка маслянистое и почти без запаха. Топлива, содержащие продукты термического крекинга, имеют характерный резкий и неприятный запах. Резкий запах имеют также топлива, содержащие большое количество ароматических углеводородов (бензола). Запах бензола легко запоминается и легко определяется даже в различных смесях топлива.

Испаряемость. О сорте топлива легко судить по его испаряемости. Стеклой палочкой на листик белой бумаги наносят каплю топлива и дают ему испариться. Для ускорения испарения можно помахать бумагой или слегка подогреть ее с обратной стороны. Авиационные бензины испаряются быстро и полностью (в течение 1–2 мин). Автомобильные бензины испаряются медленнее, и на бумаге остается желтоватое пятно, которое испаряется только после нагревания бумаги над электроплиткой. Керосин и дизельное топливо полностью не испаряются. На бумаге длительное время остается желтое жирное пятно, которое является практически исчезающим.

Методика выполнения работы

Определение фактических смол. Предварительно отфильтрованное испытываемое топливо в количестве 1 мл наносят пипеткой в центр сферического стекла диаметром 60 мм. Тяжелые топлива (дизельное, керосин) предварительно можно разбавить равным объемом бензина, не содержащего смол. Топливо на стекле поджигают спичкой. Легкие топлива (бензин, бензол) загораются сразу, керосин – после небольшого подогревания стекла на спиртовке, а дизельное топливо – после значительного подогревания. По окончании горения стеклу дают остыть и осматривают остаток на нем.

Бензины, не содержащие смол, оставляют на стекле небольшой след в виде слабозаметного беловатого пятна. Смолистые топлива оставляют ряд концентрических колец желтого или коричневого цвета. Чем больше в топливе смол, тем больше диаметр пятна.

Если в топливе много бензола и других ароматических углеводородов, то после сжигания остается небольшое коричневое кольцо

с черным углистым остатком внутри. Топлива, загрязненные маслами, оставляют отдельные несгоревшие капли, расположенные с внешней стороны кольца. Диаметр пятна измеряют в трех направлениях и берут среднее значение его в миллиметрах. Зная диаметр пятна, по табл. 5.1 находят содержание смол (приближенно).

Таблица 5.1

Содержание смол в топливе

Диаметр пятна (мм)	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Количество смол в 100 мл топлива (мг)	4	11	20	32	43	56	70	85	102	120

Определение коррозионности нефтепродуктов. Коррозионность топлива обуславливается содержанием в нем сернистых соединений, органических кислот и минеральных кислот или щелочей. Наиболее сильную коррозию вызывают активные сернистые соединения, а также минеральные кислоты и щелочи, эти вещества ни в одном виде горючего не допустимы. Органические кислоты и неактивные сернистые соединения содержатся в топливе, но чем меньше их в нем, тем лучше его качество.

Коррозионные свойства топлив простейшим методом проверяют следующим путем. Отполированную пластинку из красной меди помещают в испытуемое топливо и в течение 3 часов выдерживают в нем при температуре 50 °С (нагревание ведут на водяной бане). Если на пластинке появится пленка или налеты черного, коричневого или серого цвета, это указывает на присутствие в топливе активных сернистых соединений. Такое топливо к эксплуатации непригодно. Появление на пластинке зеленых пятен или следов разрушения указывает на повышенное содержание кислот.

Исследование картерного масла. Цвет масла зависит от количества содержащихся в нем смол. Масла, не содержащие смол, бесцветны. Оттенки картерных масел меняются от темно-желтых до красных.

В отраженном свете авиационные и хорошие дизельные масла флюоресцируют зеленовато-голубым цветом, а автолы – синеватым, что указывает на большее содержание в них смолистых веществ.

Цвет образца определяется осмотром его в проходящем свете в пробирке из бесцветного стекла. Пробирку помещают между глазом наблюдателя и источником света (солнечный свет, электрическая лампа). Если масло в толстом слое непрозрачно, то цвет его определяют в тонком слое, например осмотром масла, стекающего по стенкам стеклянной посуды. Цвет испытуемых масел хорошо сравнивать с эталонными образцами. Если масло в тонком слое мутное, это указывает на наличие в нем эмульсионной воды. Масло с водой может давать очень стойкие эмульсии. Такие масла перед применением необходимо обезводить.

Определение воды и механических примесей. Для определения воды пробу масла тщательно перемешивают (встряхивая бутылку) и в количестве 2–3 мл наливают в пробирку. Пробирку осторожно нагревают. При наличии воды происходит вспенивание образца, слышно характерное потрескивание на верхней (холодной) части пробирки скапливаются мельчайшие капельки сконденсировавшейся воды. Если потрескивания нет, но верхняя часть пробирки слегка затуманилась, то в масле содержатся следы воды.

Для определения механических примесей предварительно подогретую до 40–50 °С пробу масла тщательно перемешивают и чистой стеклянной палочкой наносят несколько капель масла на фильтровальную бумагу и на стекло. Если механические примеси есть, то при рассмотрении капель масла на просвет отчетливо видны отдельные вкрапления или темные подтеки.

Масла, содержащие механические примеси и воду, перед использованием необходимо отстоять и профильтровать.

Определение наличия присадки в картельных маслах. В дизельных двигателях используются масла, содержащие присадки. Ориентировочно наличие присадки определяют следующим путем. 15–20 мл чистого масла (не содержащего механических примесей) осторожно сжигают в фарфоровом тигле. Углистый остаток прокаливают при температуре 550–600 °С. Если масло не содержит присадку, то золы практически не остается, на дне тигля должен быть очень небольшой желтоватый осадок. Если в масле содержится

присадка, то получается значительно большее количество остатка. Осадок бывает светло-серого или белого цвета.

Экспериментальные данные

По образцам, представленным преподавателем, выявить виды и качество топлива и масел, определив:

- 1) вид жидкого топлива по цветности, запаху и прозрачности;
- 2) наличие смол;
- 3) наличие воды в топливе;
- 4) наличие воды в картерном масле;
- 5) наличие присадки в картерном масле.

Результаты исследования

На основании выполненных анализов установить марки топлива и масла. Дать заключение об их качестве и возможности использования в двигателях внутреннего сгорания.

Контрольные вопросы

1. Чем характеризуется цветность бензина?
2. Как по цветности определить вид топлива?
3. Как определяется наличие смол и присадок в топливе?
4. Как определяется качество картерного масла?
5. Как определяется присутствие воды и механических примесей в картерном масле?

Лабораторная работа № 6
ИЗУЧЕНИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО
ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО ПУНКТА
ГЛАВНОГО КОРПУСА БГАТУ

Цель работы: изучить принцип работы теплового пункта, его оборудование и приборы учета, контроля и автоматического управления системами отопления и горячего водоснабжения главного корпуса БГАТУ.

Общие сведения

Тепловые пункты представляют собой узлы подключения потребителей тепловой энергии к тепловым сетям и предназначены для подготовки теплоносителя, регулирования его параметров перед подачей в местные системы, а также для учета потребления теплоты. От работы тепловых пунктов зависит нормальная работа местных потребителей (систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения) и технико-экономические показатели абонента.

Данный тепловой пункт расположен в подвальном помещении главного корпуса БГАТУ. Питание теплом систем осуществляется от ТЭЦ-3. Здание находится в конце расчетной магистрали. Неблагоприятные условия работы тепловых сетей (небольшое располагаемое давление, невысокие параметры теплоносителя) сказываются на работе системы отопления. Тепловые сети, тепловой пункт и системы потребителей были смонтированы и введены в эксплуатацию в 1960 г. За последнее время изменились нормы проектирования и требования по эксплуатации систем. В 2000 г. была произведена реконструкция теплового пункта: демонтирован элеватор и установлен циркуляционный насос на перемычке между подающим и обратным трубопроводами, заменен скоростной секционный теплообменник горячего водоснабжения на современный пластинчатый, пункт оснащен современными приборами учета и автоматики.

Схема действующего индивидуального теплового пункта приведена на рис. 6.1.

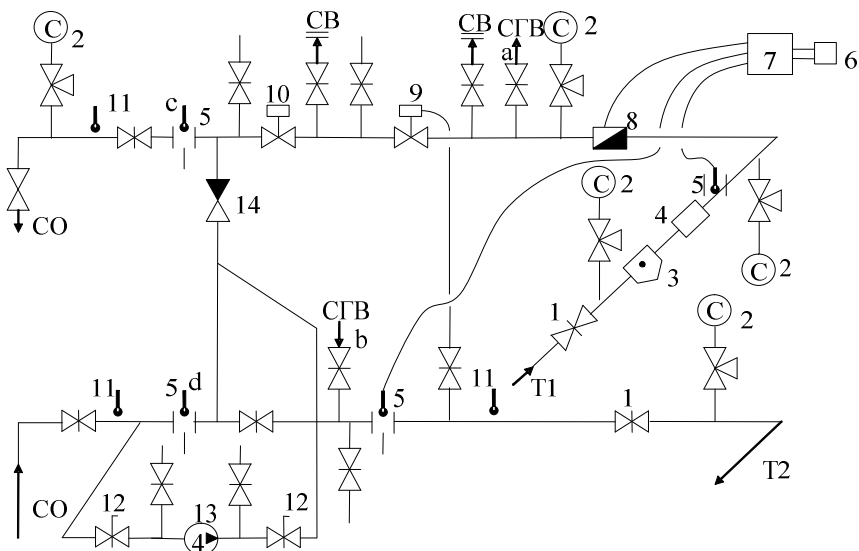


Рис. 6.1. Действующий индивидуальный тепловой пункт главного корпуса БГАТУ:

- 1 – отключающие задвижки;
- 2 – манометр МП-100 Р до 1,6 МПа, цена деления 0,02 МПа; 3 – грязевик;
- 4 – сетчатый фильтр; 5 – термосопротивление ТСП-1096;
- 6 – пульт управления тепловычислителем АП 50Б 2МТУЗ;
- 7 – тепловычислитель ТЭМ-104; 8 – преобразователь расхода ППР-40/ППР-20;
- 9 – регулятор расхода РР; 10 – регулирующий клапан КРС-40-24;
- 11 – термометр спиртовой t до 200 °С с делением 2 °С;
- 12 – шаровой кран-клапан; 13 – насос Grundfos тип URS 50-60/2f

Принцип работы теплового пункта следующий: сетевая вода по подающему трубопроводу Т1 поступает в тепловой пункт, проходит отключающую задвижку 1, грязевик 3, где улавливаются крупные частицы загрязнений, поступает в сетчатый фильтр 4, в котором проходит дальнейшую очистку. Здесь же осуществляется измерение параметров теплоносителя, а именно: давления с помощью манометра 2 и температуры с помощью спиртового термометра 11. Для измерения поступающего в тепловой пункт расхода теплоносителя установлен преобразователь расхода ППР-40/ППР-20. Контроль и измерение температур осуществляют термометры сопротивления 5, установленные на подающем и обратном трубопроводе, импульс от которых поступает на тепловычислитель

МИТ-9701. На тепловычислитель поступает также импульс с преобразователя расхода 8.

Тепловычислитель предназначен для работы в комплектах счетчиков тепловой энергии в качестве устройства приема нормативной информации от расходомера с импульсным выходом сигнала и термосопротивлений, обработки полученных сигналов в соответствии с алгоритмом определения количества тепловой энергии в ГДж, индикации, хранения и передачи параметров.

Тепловычислитель использован для учета и контроля потребления тепловой энергии, потребляемой на отопление и горячее водоснабжение главного корпуса БГАТУ.

Значения измеренных основных и информационных параметров высвечиваются на цифробуквенном жидкокристаллическом индикаторе, установленном на передней панели прибора.

Переключение параметров производится нажатием кнопки, находящейся на передней панели. Индицирующие параметры записываются в табл. 6.1 и 6.2.

Таблица 6.1

Показания приборов

Число, месяц, год, время	Энергия, ГДж	Температура, °С			Объем, м ³	Расход теплоносителя, м ³ /ч	Мощность, ГДж/ч	Наработка, ч
		T1	T2	T				

Таблица 6.2

Показания приборов на вводе в тепловой пункт

Давление, МПа		Температура, °С	
подающ. P1	обратн. P2	T1	T2

Далее идет распределение теплоносителя между системами потребителя. Для этого вварены патрубки ответвлений на теплообменник

системы горячего водоснабжения (СГВ), вентиляции (СВ) и систему отопления (СО).

Теплоноситель проходит через регулятор расхода 9, который ограничивает подачу воды в систему отопления до расчетной величины и регулирует располагаемое давление в системе отопления. Регулирующий клапан (КРС-40-24) 10 с реверсивным прямоходовым механизмом регулирует подачу теплоносителя из подающей магистрали в систему отопления с учетом работы циркулярного насоса, установленного на перемычке. Работа клапана 10 и насоса 13 позволяет регулировать температуру воды в подающем трубопроводе системы отопления в зависимости от изменения наружной температуры.

Охлажденная в системе отопления вода по обратному трубопроводу возвращается в тепловой узел, где частично с помощью насоса 13 подается в перемычку для подмешивания к подающей, а частично, с учетом воды, возвращаемой из теплообменника, поступает в обратную магистраль и уходит в ТЭЦ-3.

Для контроля и учета на подающем и обратном трубопроводах установлены манометры 2, термометры 11, а для работы тепловычислителя термосопротивления 5 и преобразователь расхода 8.

Система горячего водоснабжения в главном корпусе БГАТУ обеспечивает горячей водой душевые при спортивном зале и мойки в буфете.

Получение горячей воды для систем горячего водоснабжения осуществляется по схеме, приведенной на рис. 6.2.

Водопроводная вода по трубопроводу В1 поступает в сетчатый фильтр 1, проходит через водомер 3 и подается в пластинчатый водонагреватель-теплообменник 5, нагревается и по трубопроводу Т3 поступает в систему горячего водоснабжения. Для определения температуры нагрева горячей воды установлены датчики 8 и 9. Давление в системе измеряется с помощью манометров 2.

Первичным теплоносителем служит теплоноситель, поступающий по патрубку «а» из подающей магистрали Т1 (рис. 6.1, 6.2).

Для поддержания в системе горячего водоснабжения (рис. 6.2) постоянной заданной температуры на подающем трубопроводе Т1 установлен регулирующий клапан КРС-25-3,5 с реверсивным прямоходовым механизмом 11, с помощью которого регулируется подача первичного теплоносителя.

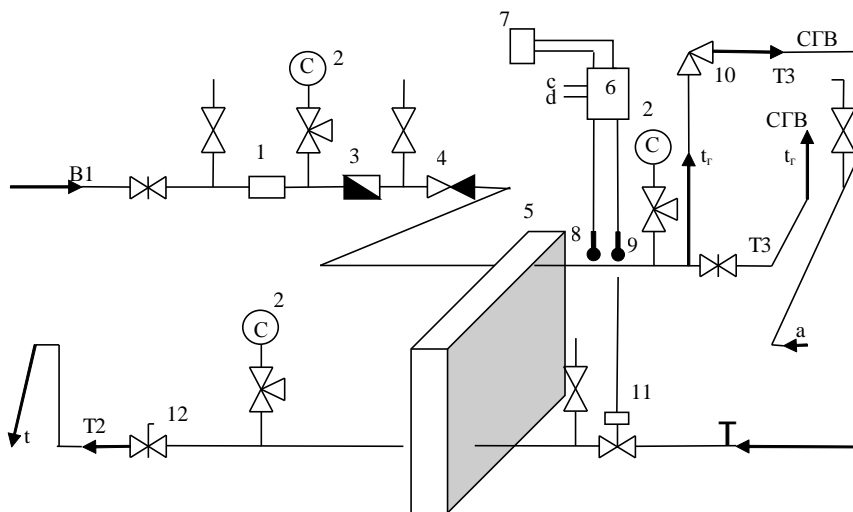


Рис. 6.2. Система горячего водоснабжения главного корпуса БГАТУ:

- 1 – сетчатый фильтр;
- 2 – манометр МП-100 Р до 1,6 МПа, цена деления 0,02 МПа;
- 3 – водомер марки ВСКМ-10/32; 4 – обратный клапан;
- 5 – пластинчатый водонагреватель разборный РС-02 Р = 10 МПа, А = 3,6 м²;
- 6 – регулятор расхода тепловой энергии МИР-9701;
- 7 – пульт управления регулятором расхода АП50Б 2МТУЗ 500 V;
- 8, 9 – датчики температуры DS-1820;
- 10 – предохранительный грузовой рычажный клапан;
- 11 – регулирующий клапан КРС-25-3,5 с реверсивным прямоходовым механизмом МРП-1,6; 12 – шаровой кран-клапан

Регулятор расхода тепловой энергии 6 предназначен для регулирования расхода теплоты и поддержания заданной температуры на выходе из теплообменника (пластинчатого водонагревателя) 5.

Регулятор расхода тепловой энергии представляет собой прибор, в основу которого положено вычисление необходимых температур потоков теплоносителя по комплексу параметров (температур наружного воздуха и потоков теплоносителя, давления в магистралях и управления исполнительными механизмами (регулирующим клапаном, циркуляционным насосом)) в зависимости от результата вычисления.

Электронный блок регулятора расхода тепловой энергии обеспечивает измерение температур на выходе из теплообменника Т3,

подающей T1 и обратной T2 магистралей, системы отопления, наружного воздуха t_H и управляет внешними устройствами (регулирующими клапанами и циркуляционным насосом).

Питание регулятора тепловой энергии осуществляется с помощью пульта управления 7.

На передней панели находится индикатор. Переключение индицируемых параметров производится нажатием первой кнопки справа.

Индицируемые параметры записываются в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Данные индикатора

Время анализа по отоплению, с	Время, число, месяц, год	T3, °C	Динамический диапазон, °C/мин	Рабочий диапазон, с	Время анализа по бойлеру, с	$T_{нар}$, °C	T1, °C	T2, °C

Контрольные вопросы и задания

1. Какое основное оборудование установлено в тепловом пункте главного корпуса БГАТУ?
2. Какие приборы учета и контроля установлены в тепловом пункте?
3. Объясните назначение теплового пункта системы горячего водоснабжения.
4. Какие приборы учета и контроля установлены в тепловом пункте системы горячего водоснабжения?

Лабораторная работа № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО ПУНКТА

Цель работы: определение теплотребления систем отопления и горячего водоснабжения, присоединенных к индивидуальному тепловому пункту главного корпуса БГАТУ, и сравнение полученных данных с расчетными значениями.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Ознакомившись с принципом работы индивидуального теплового пункта главного корпуса БГАТУ (см. лабораторную работу № 6, рис. 6.1 и 6.2) производим в начале лабораторных занятий запись показаний тепловычислителя МИТ-9701 и регулятора расхода тепловой энергии МИР-9701.

Все данные записываются в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Показания индикаторов

Показатель	Начальные значения	Конечные значения
Число, месяц, год		
Время		
Энергия, ГДж		
T_1 , °С		
T_2 , °С		
ΔT , °С		
Расходы теплоносителя V_C , м ³ /ч		
Мощность, ГДж/ч		
Наработка, ч		
T_3 , °С		
T_{10} , °С		
T_{20} , °С		

2. Дополнительно снимаются показания измерительных приборов (термометров, водомера) и записываются в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Показания измерительных приборов

Время	Показания температур по термометрам, °С							Показания водомера, м ³	
	t	T_1	T_{10}	T_2	T_{20}	T_3	t_x	начальное, V_H	конечное, V_K

3. Через один час после записи показаний всех приборов производят съем показаний и запись всех величин в табл. 7.1 и 7.2 (конечные показания).

4. Разность показаний конечных и начальных значений водомера за время снятия τ дает часовой объем воды V_{Γ} , кг/ч, используемой на горячее водоснабжение:

$$V_{\Gamma} = V_K - V_H / \tau \cdot 3,6 \cdot 10^7 .$$

5. Теплопотребление, кДж/ч, системы горячего водоснабжения определяется по формуле

$$\Phi_{\Gamma B} = V_{\Gamma} c (t_{\Gamma} - t_x) 10^3 ,$$

где c – удельная теплоемкость воды, $c = 4,19$ кДж/кг·°С.

Температура t_{Γ} по термометру должна быть равна T_3 снятому с показаний регулятора расхода тепловой энергии МИР-9701 (табл. 7.1 и 7.2).

При отсутствии водоразбора и невозможности снять показания водомера за время занятий принимать $V_{\Gamma} = 0,2$ кг/с = 720 кг/ч.

6. Теплопотребление индивидуального теплового пункта по показаниям тепловычислителя МИТ-9701 будет равно

$$\Phi = V_c (T_1 - T_2) 10^3 ,$$

где значения V_c , T_1 и T_2 берутся из табл. 7.1.

7. Часовое теплопотребление системы отопления пункта:

$$\Phi_o = \Phi - \Phi_{\Gamma B} .$$

Полученное значение Φ_O должно соответствовать часовой мощности из табл. 7.1.

8. Расчетное теплотребление, кДж/ч, системы отопления определяется по формуле

$$\Phi_O^p = 3,6q_O V(t_B - t_H),$$

где q_O – удельная тепловая характеристика на отопление, $q_O = 0,27 \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{°C}$;

V – объем здания по наружному обмеру, $V = 74\,280 \text{ м}^3$;

t_B – температура внутри помещения, $t_B = 17 \text{ °C}$;

t_H – температура наружного воздуха во время проведения лабораторной работы, °C .

$$\Phi_P = \Phi_O^p + \Phi_{ГВ}.$$

Сравнение снятых показаний и расчетных значений сводятся в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Теплотребление индивидуального теплового пункта, кДж/ч

Показания	Теплотребление	
	системы отопления	системы горячего водоснабжения
измеренные	Φ_O	$\Phi_{ГВ}$
расчетные	Φ_B	$\Phi_{ГВ}$

9. Выводы.

На основании сравнения значений табл. 7.3 производят анализ полученных значений.

Контрольные вопросы

1. Как изменяется теплотребление индивидуального пункта при включении системы горячего водоснабжения?
2. От чего зависит теплотребление системы горячего водоснабжения?
3. От чего зависит теплотребление системы отопления?

Лабораторная работа № 8
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЙ
ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

Цель работы: выявить действительную теплопроводность пластинчатого теплообменника для данного теплового режима.

Общие сведения

В тепловом пункте главного корпуса БГАТУ установлен пластинчатый теплообменник РС-02 для получения горячей воды для душевых спортзала.

Схема установки приведена на рис. 6.2 лабораторной работы 6.

Характерной особенностью пластинчатого теплообменника является равенство площадей живых сечений всех каналов. Конструкция теплообменника позволяет собирать из гофрированных тонкостенных штампованных металлических пластин с уплотняющими прокладками из термостойкой резины любую поверхность нагрева. Пластины собирают и стягивают монтажными болтами на специальной раме. В гофрированных каналах потоки теплоносителей подвергаются искусственной турбулизации, что интенсифицирует процесс теплообмена.

Установленный в тепловом пункте пластинчатый теплообменник РС-02 имеет следующие технические данные:

количество пластин – $n = 18$ шт.;

поверхность нагрева пластины – $f_{пл} = 0,2 \text{ м}^2$;

площадь поверхности нагрева – $A = 3,6 \text{ м}^2$;

размер пластин – 960×460 мм;

эквивалентный диаметр канала – $d_э = 0,0088 \text{ м}^2$;

приведенная длина канала – $0,518$ м;

площадь поперечного сечения канала – $f_к = 0,00178 \text{ м}^2$.

Для определения действительной теплопроводности пластинчатого теплообменника снимают показания контрольно-измерительных приборов и записывают в табл. 8.1.

Располагаемый перепад давления теплообменника, кПа:

$$\Delta P = \Delta P_1 = \Delta P_2 = P_1 - P_2 .$$

Показания приборов

Время, число, месяц, год	Показания манометров греющей воды на входе и выходе из пластинчатого теплообменника, МПа		Температура по тепловычислителю, °С			Показание водомера, м ³ /ч		Темпе- ратура t_x , °С
	P_1	P_2	T_1	T_2	T_3	началь- ное	конеч- ное	

Средние температуры горячей и нагреваемой воды, °С:

$$t_1 = 0,5(T_1 + T_2); \quad t_2 = 0,5(T_3 + t_x).$$

Температура пластин, °С:

$$t_{CT} = 0,5(t_1 + t_2).$$

По значению t_1 , t_2 и t_{CT} выписываем их теплофизические свойства: плотность (ρ), коэффициент теплопроводности (λ), коэффициент кинематической вязкости (ν).

Определяем температурный напор в теплообменнике по рис. 8.1.

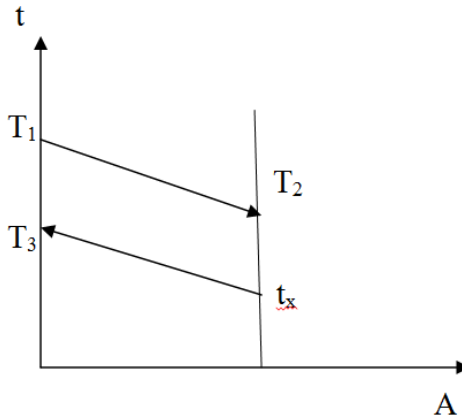


Рис. 8.1. Противоточная схема теплообменного аппарата

$$\Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}},$$

где Δt_B , Δt_M – большая и меньшая разности температур теплоносителей на входе и выходе из теплообменного аппарата, °С.

При $\frac{\Delta t_B}{\Delta t_M} < 1,7$ допускается расчет по формуле

$$\Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_B + \Delta t_M}{2}.$$

Скорости греющей и нагреваемой воды в теплообменнике принимаем равными $\vartheta_1 = 0,028$ кг/с и $\vartheta_2 = 0,026$ кг/с.

Число каналов в испытываемом теплообменнике $m_1 = m_2 = 1$. Расходы греющей и нагреваемой воды, кг/с, проходящие через пластинчатый теплообменник определяются по выражениям

$$G_1 = m_1 \rho_1 \vartheta_1 f_K;$$

$$G_2 = m_2 \rho_2 \vartheta_2 f_K.$$

Критерии:

$$Re_1 = \frac{\vartheta_1 d_{\vartheta}}{v_1}, \quad Re_2 = \frac{\vartheta_2 d_{\vartheta}}{v_2};$$

$$Pr_1 = \frac{c \cdot \rho_1 v_1}{\lambda_1}, \quad Pr_2 = \frac{c \cdot \rho_2 v_2}{\lambda_2}.$$

Критерий Pr_{CT} определяют по температуре пластин:

$$Pr_{CT} = \frac{c \cdot \rho_{CT} v_{CT}}{\lambda_{CT}}.$$

Критерии Nu для турбулентного режима данного типа теплообменника:

$$Nu_1 = 0,18 \cdot Re_1^{0,73} Pr_1^{0,43} \left(\frac{Pr_1}{Pr_{CT}} \right)^{0,25},$$

$$Nu_2 = 0,18 \cdot Re_2^{0,73} Pr_2^{0,43} \left(\frac{Pr_2}{Pr_{CT}} \right)^{0,25}.$$

Коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 , Вт/м²·°С, определяются по зависимостям

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_3} \text{ и } \alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_3}.$$

Термическое сопротивление стенки пластины и загрязнений на ней:

$$\frac{\delta}{\lambda} = 0,000599 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°С}.$$

Коэффициент теплопередачи теплообменника, Вт/м²·°С:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}.$$

Теплопроизводительность пластинчатого теплообменника, кВт, по греющей воде определяется как

$$Q = G_1 c \delta t_1,$$

где δt_1 – перепад температур греющей воды на входе в теплообменник

$$\delta t_1 = T_1 - T_2.$$

Действительная теплопроизводительность пластинчатого теплообменника, которую можно получить при данном режиме, кВт:

$$Q_d = Ak\Delta t \cdot 10^{-3}.$$

Сравниваются значения Q и Q_d , делаются выводы.

Контрольные вопросы

1. Что представляют собой пластинчатые теплообменники?
2. Чем отличаются пластинчатые теплообменники от скоростных?
3. С помощью чего интенсифицируется процесс теплообмена в пластинчатых теплообменниках?

Лабораторная работа № 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ КОНСТРУКЦИИ ТРУБОПРОВОДА

Цель работы: определение и сравнение коэффициентов эффективности тепловых изоляций, выполненных из различных теплоизоляционных материалов.

Общие сведения

Для снижения потерь теплоты в окружающую среду трубопроводы покрывают слоем изоляции. Величина теплотерь зависит не только от теплофизических качеств изоляционной конструкции и толщины основного слоя изоляции, а также от длины участка, диаметра трубопровода, температуры теплоносителя и окружающей среды, условий теплообмена и от других факторов.

Под эффективностью тепловой изоляции понимается способность изоляционной конструкции препятствовать теплоотдаче теплоносителя в окружающую среду. Для оценки качества изоляционной конструкции используется коэффициент эффективности:

$$\eta = 1 - \frac{\Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{н}}}, \quad (9.1)$$

где $\Phi_{\text{п}}$ – поток теплоты от теплоносителя в окружающую среду через конструкцию изоляции, Вт;

$\Phi_{\text{н}}$ – то же для неизолированного трубопровода, Вт.

КПД тепловой изоляции соответствует коэффициенту эффективности, выраженному в процентах:

$$\eta = \left(1 - \frac{\Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{н}}} \right) 100 \%, \quad (9.2)$$

Описание лабораторной установки

Исследования теплоизоляционных свойств материалов проводятся на лабораторной установке, схема которой представлена на рис. 9.1.

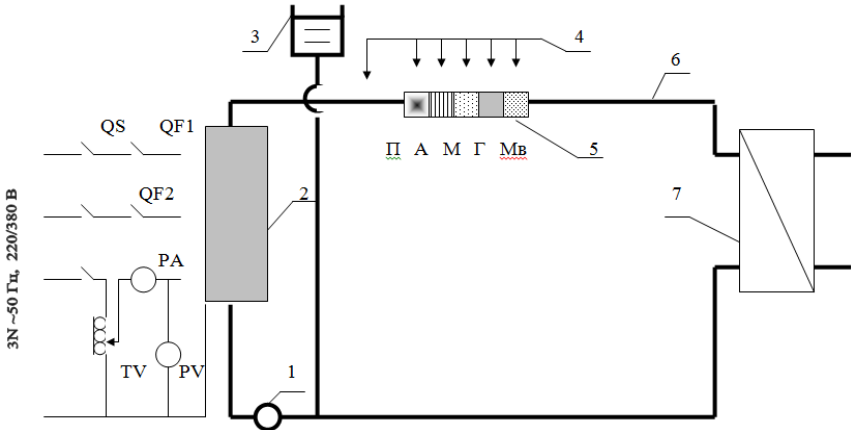


Рис. 9.1. Схема лабораторной установки:

- 1 – циркуляционный насос; 2 – электроводонагреватель ($P = 9,6$ кВт);
- 3 – расширительный бак; 4 – точки измерения температур;
- 5 – теплоизоляционная конструкция; 6 – трубопровод;
- 7 – трехсекционный скоростной водоподогреватель

Установка состоит из электроводонагревателя 2, теплообменника-водоподогревателя 7, расширительного бака 3, циркуляционного насоса 1 и системы трубопроводов 6.

На участке трубопровода наружным диаметром $d_H = 21$ мм нанесены образцы тепловой изоляции 5 одинаковой длины. Толщина их одинакова и составляет $\delta_{из} = 20$ мм. Изоляция покрыта стеклолакотканью толщиной $\delta_C = 0,3$ мм. В качестве материала теплоизоляции применены *пенополиуретан* (П), *асбест* (А), *минеральная вата* (М), *глина* (Г) и *увлажненная минеральная вата* (Мв).

Для измерения температуры неизолированной поверхности трубы и изолированных участков применяется универсальный измерительный прибор testo-635.

Прибор testo-635 состоит из корпуса, на котором расположен дисплей и клавиши управления (рис. 9.2).

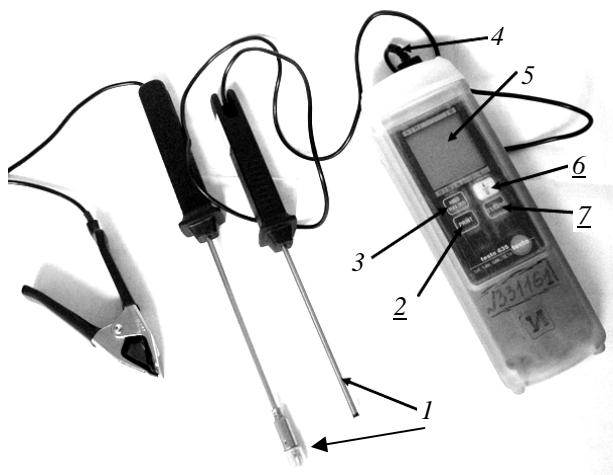


Рис. 9.2. Внешний вид прибора testo-635:

- 1 – измерительный зонд; 2 – клавиша режимов работы **Hold/max/min**;
- 3 – клавиша печати **Print**; 4 – разъемы для подключения зондов;
- 5 – дисплей; 6 – клавиша включения прибора **I/O**;
- 7 – клавиша режимов работы **T₁/T₂/td**

Внутри зонда *1* для измерения параметров окружающей среды помещена термопара и датчик влажности. Для определения температуры на поверхности изоляции к прибору присоединяется зонд *1*.

Зонды для измерения влажности и температуры соединяются с прибором кабелем с помощью разъемов *4*. При подключении зонда следует соблюдать полярность.

Зонд *1* измеряет относительную влажность в диапазоне 0–100 % и температуру в диапазоне –20...+140 °С.

Погрешность измерения влажности составляет ±2 % в пределах всего диапазона, а погрешность измерения температуры различна и принимается по табл. 9.1.

Зонд *1* позволяет измерять температуру поверхности во всем диапазоне (–50...+1000 °С) с погрешностью ±1 °С.

Порядок работы с прибором testo-635:

1. Подключить к прибору два зонда.
2. Включить прибор нажатием клавиши **I/O**. После короткого самотеста на индикаторе прибор готов к работе.

3. При нажатии клавиши **T₁/T₂/td** на экране высвечиваются два значения и стрелкой показывается, какая величина измерена: верхняя цифра соответствует относительной влажности φ , %, а нижняя – температуре T_1 , °C. Высвечивание символа **Bat** на экране свидетельствует об окончании ресурса элементов питания.

4. Нажатие клавиши **T₁/T₂/td** дает значения температур T_1 и T_2 .

5. После окончания работы с прибором выключить его нажатием клавиши **I/O**.

Таблица 9.1

Погрешности измерения температуры T зондом, °C

Диапазон измерения	Погрешность измерения
-20...0	±0,5
0...+50	±0,4
+50...+80	±0,5
+80...+140	±1,2

Определение текущих, максимальных и минимальных значений измеряемых величин осуществляется повторными нажатиями клавиши **Hold/max/min**. В приборе имеются встроенные часы и календарь.

Методика выполнения лабораторной работы

При подготовке к проведению лабораторной работы необходимо включить электроводонагреватель и циркуляционный насос.

Привести в рабочее состояние прибор testo-635. После достижения стационарного режима, когда температура теплоносителя $T_B = \text{const}$, прибором testo-635 произвести измерение относительной влажности φ и температуры T_1 окружающего воздуха, а также температуры T_2 на поверхности всех образцов теплоизоляции и неизолированной трубы T_T . Жидкостным термометром измерить температуру теплоносителя T_B и окружающего воздуха t_B .

На основании измеренных данных заполнить табл. 9.2.

Таблица экспериментальных данных

Дата и время	$T_T, ^\circ\text{C}$	$T_1, ^\circ\text{C}$	$\varphi, \%$	Показания $T_2, ^\circ\text{C}$					Измерения термометром		
				П	А	М	Г	М _В	$T_B, ^\circ\text{C}$	$t_B, ^\circ\text{C}$	

Сравнить значения $T_T \approx T_B$ и $T_T \approx t_B$.

Оценить погрешность измерений:

$$\Delta = \frac{T_B - T_T}{T_B} 100 \% \text{ и } \Delta = \frac{T_1 - t_B}{T_1} 100 \% . \quad (9.3)$$

Обработка экспериментальных данных

Линейная плотность теплового потока q_n , Вт/м, для двухслойной цилиндрической стенки (рис. 9.3) определяется по выражению

$$q_n = \frac{T_B - T_2}{R_{\text{из}}} = \frac{T_B - T_2}{\frac{1}{2\pi\lambda_{\text{из}}} \ln \frac{d_{\text{из}}}{d} + \frac{1}{2\pi\lambda_C} \ln \frac{d_C}{d_{\text{из}}}} , \quad (9.4)$$

где T_B – температура поверхности трубы, $^\circ\text{C}$;

T_2 – температура на изолированной поверхности, $^\circ\text{C}$;

$R_{\text{из}}$ – термическое сопротивление теплопроводности изоляции, $\text{м}\cdot^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

$\lambda_{\text{из}}$ и λ_C – коэффициенты теплопроводности изоляционного материала и покрывного слоя соответственно, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$.

Температуру поверхности трубы допустимо принять равной температуре теплоносителя.

Коэффициент теплопроводности изоляционного материала $\lambda_{\text{из}}$, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ принимается:

для пенополиуретанового слоя

$$\lambda_{\text{п}} = 0,035 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C});$$

для асбестового слоя

$$\lambda_A = 0,093 + 0,0002 t_{\text{ср}};$$

для минераловатного слоя

$$\lambda_M = 0,045 + 0,00021 t_{\text{ср}};$$

для глиняного слоя

$$\lambda_{\Gamma} = 0,8 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C});$$

для увлажненной минеральной ваты

$$\lambda_{\text{МВ}} = 0,5 \dots 0,9 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C}).$$

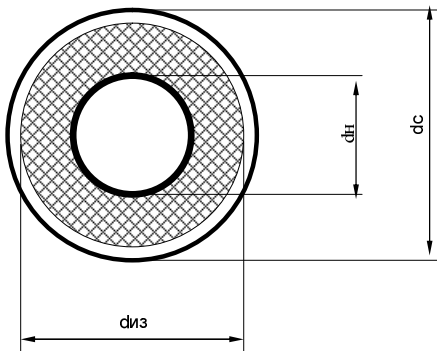


Рис. 9.3. Поперечный разрез трубопровода

Коэффициент теплопроводности стеклолакоткани, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$:

$$\lambda_C = 0,041 + 0,00029 t_2.$$

Наружный диаметр изоляционного слоя, м:

$$d_{\text{из}} = d_{\text{н}} + 2\delta_{\text{из}}.$$

Наружный диаметр покровного слоя, м:

$$d_{\text{с}} = d_{\text{из}} + 2\delta_{\text{с}}.$$

При определении линейного теплового потока неизолированного участка трубопровода, Вт/м, используется выражение

$$q_n = \alpha_n \pi d_n (T_B - T_1), \quad (9.5)$$

где α_n – коэффициент теплоотдачи от поверхности неизолированного трубопровода, Вт/(м²·°С):

$$\alpha_n = 9,4 + 0,052(T_B - T_1). \quad (9.6)$$

На основании расчетных значений заполнить табл. 9.3.

По итогам измерений и обработки экспериментальных данных сделать вывод об эффективности или неэффективности применения того или иного типа теплоизоляционной конструкции.

Таблица 9.3

Результаты обработки экспериментальных данных

Значение	Ед. изм.	П	А	М	Г	М _В
Средняя температура $t_{ср}$	°С					
Коэффициент теплопроводности λ	Вт/м °С					
Термическое сопротивление $R_{из}$ теплопроводности изоляции	м·°С/Вт					
Линейная плотность q_n теплового потока неизолированной трубы	Вт/м					
Линейная плотность q_n теплового потока изолированной трубы	Вт/м					

Контрольные вопросы и задания

1. Для чего служит тепловая изоляция?
2. От чего зависят тепловые потери через изоляционную конструкцию?
3. Что называется эффективностью изоляции и чем она оценивается?
4. Охарактеризуйте результаты лабораторной работы и поясните значение КПД изоляции для глиняного и влажного минераловатного слоя.

Лабораторная работа № 10

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПО НАГЛЯДНО-ДЕМОНСТРАЦИОННОМУ СТЕНДУ

Цель работы: изучение и наглядное закрепление всех элементов системы теплоснабжения.

Общие сведения

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

Современная система теплоснабжения (рис. 10.1) состоит из следующих основных элементов: топливоподачи Т, источника теплоты ИТ для выработки теплоты, тепловых сетей ТС для ее транспортирования, тепловых пунктов ТП для распределения между потребителями и местных систем теплоснабжения, а именно системы отопления СО, вентиляции СВ, горячего водоснабжения СГВ и технологических нужд СТ.

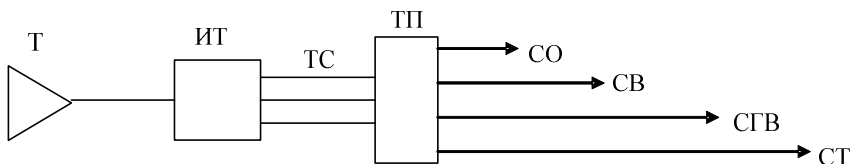


Рис. 10.1. Современная система теплоснабжения

Рассмотрим элементы системы теплоснабжения, которые представлены на наглядно-демонстрационном стенде.

Структурная схема наглядно-демонстрационного стенда со всеми деталями и наглядными узлами изображена на рис. 10.2.

В качестве топлива в котельную подается природный газ, а резервным служит мазут. Природный газ по трубопроводу подается в газораспределительный пункт ГРП, где установлены фильтр, газовый счетчик, приборы КИП. Из ГРП газ подается в газомазутные горелки котлов.

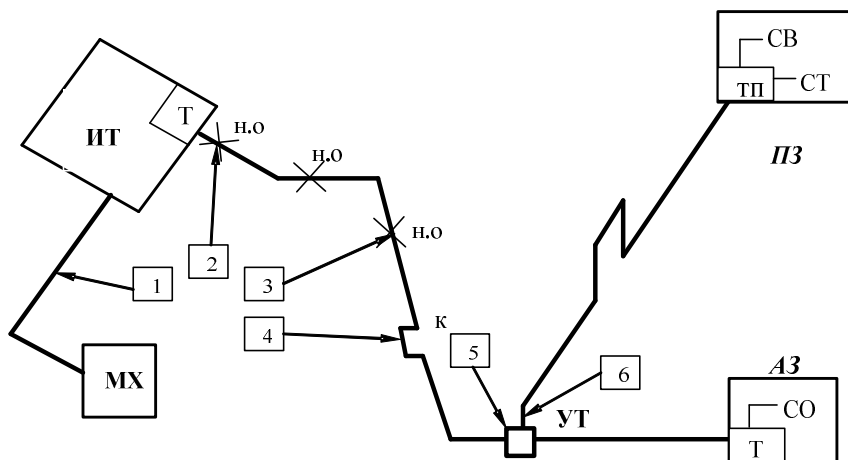


Рис. 10.2. Структурная схема рассматриваемой системы теплоснабжения на наглядно-демонстрационном стенде:

ИТ – источник теплоты; МХ – мазутное хозяйство; ПЗ – промышленное здание;
 АЗ – административное здание; ТП – тепловой узел;

Узлы: 1 – канальная прокладка паропровода и мазутопровода;

2 – устройство щитовой неподвижной опоры при канальной прокладке;

3 – устройство лобовой неподвижной опоры при канальной прокладке;

4 – устройство П-образного компенсатора с изображением подвижных опор;

5 – устройство тепловой камеры УТ;

6 – выход из камеры при надземной прокладке;

СО, СВ, СТ – местные системы отопления, вентиляции и технологического оборудования

Мазутное хозяйство (рис. 10.3) состоит из цистерны 7, фильтров 5, мазутных насосов 4, подогревателей мазута 1, конденсатного бака 2 и конденсатного насоса 3.

Мазут привозится автотранспортом и сливается в цистерну 7 и подогревается с помощью змеевика 6, по которому проходит пар. Затем он проходит очистку в фильтрах 5 и подается в подогреватель 1. Для уменьшения вязкости мазута в подогреватели подается пар, который его нагревает. Образовавшийся конденсат через конденсатоотводчик сливается в конденсатный бак 2, из которого с помощью конденсатного насоса 3 перекачивается в котельную. Нагретый мазут с помощью насосов 4 подается на газомазутную горелку котла.

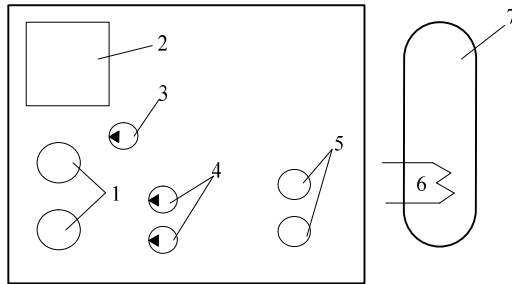


Рис. 10.3. Схема расположения оборудования мазутного хозяйства

Котлы обычно состоят из топки, каркаса, трубных конструкций, обмуровки и обшивки. Схема расположения оборудования в котельной представлена на рис. 10.4.

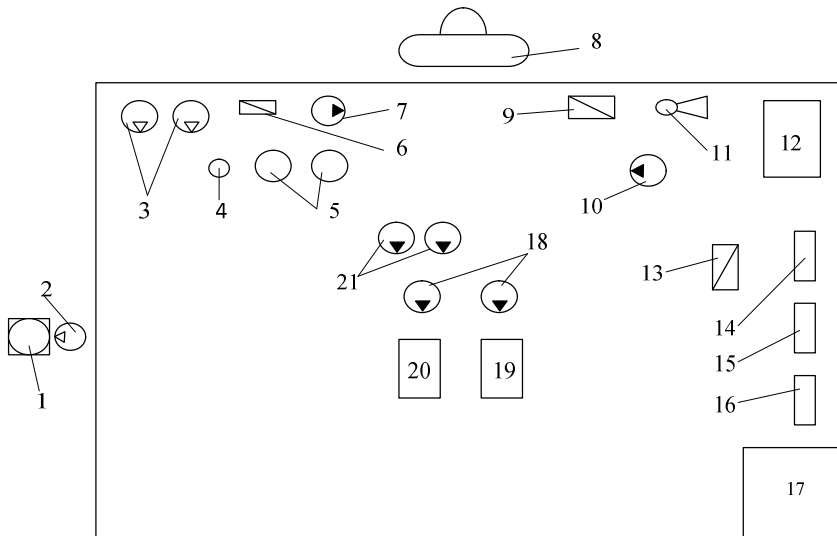


Рис. 10.4. Схема расположения оборудования в котельной:

- 1 – дымовая труба; 2 – дымосос; 3 – вентиляторы дутьевые;
- 4 – бак растворителя солей; 5 – натрий-катионитовые фильтры; 6 – водомер;
- 7 – циркуляционный насос на водопроводе; 8 – вакуумный деаэрагор;
- 9 – теплообменник пароводяной; 10 – конденсатный насос; 11 – эжектор;
- 12 – бак-газоотделитель; 13 – водоподогреватель;
- 14 – гребенка обратной сетевой воды; 15 – гребенка подающей сетевой воды;
- 16 – паровая гребенка; 17 – газораспределительный пункт; 18 – сетевые насосы;
- 19 – водогрейный котел; 20 – паровой котел; 21 – подпиточные насосы

В котельной наблюдается несколько трактов:

I – воздушный – дутьевой;

II – продуктов сгорания – дымовой;

III – водяной – питательной, подпиточной, сетевой воды.

В котельной установлены водогрейный 19 и паровой 20 котлы и все вспомогательное оборудование. Котельная установка предназначена для получения пара и горячей воды за счет сжигания топлива. Вспомогательное оборудование служит для подготовки и подачи топлива, питательной и подпиточной воды, дутьевого воздуха и удаления дымовых газов.

Для сжигания топлива необходимо в топку подавать кроме топлива дутьевой воздух. Дутьевой воздух забирается с помощью точной шахты снаружи и с верхней зоны котельной и с помощью вентиляторов 3 по подпольным каналам подается в топку, где смешивается с топливом; смесь сгорает и выделяется тепловая энергия, с помощью которой нагревается вода или образуется пар.

Продукты сгорания по дымоходам-боровам удаляются из котлов и с помощью дымососа 2 выбрасываются в дымовую трубу 1.

Для питания котлов и подпитки тепловой сети водопроводная вода должна пройти водоподготовку. Водопроводная вода, поступающая в котельную с помощью насоса 7, нагревается в водоподогревателе 13 до температуры 30–35 °С и поступает на умягчение в натрий-катионитовые фильтры 5, где оседают соли Са и Mg. Для регенерации фильтра служит бак-солерастворитель 4. Поэтому один фильтр работает, а другой восстанавливает свои свойства. Затем вода, прошедшая химводоочистку, подается в вакуумный деаэратор 8 для удаления из воды растворенного кислорода и газов. Для создания вакуума в головке деаэратора устанавливается эжектор 11, который отсасывает выделившиеся газы и воду и подает их в бак-газоотделитель 12.

Для работы эжектора и циркуляции воды устанавливается насос 10. Умягченная и деаэрированная вода подается с помощью подпиточного насоса 21 на подпитку тепловых сетей. Полученный в котле 20 пар поступает в паровую гребенку 16, а горячая вода из водяного котла 19 на гребенку сетевой воды 15.

Циркуляцию воды в тепловых сетях осуществляют сетевые насосы 18. Обратная сетевая вода из местных систем поступает

в обратный трубопровод и возвращается в котельную в гребенку обратной сетевой воды 15.

В качестве теплоносителя для производственного и административного здания служит горячая вода, которая транспортируется по подающему трубопроводу по тепловым сетям. Для технологической системы и для мазутного хозяйства теплоносителем служит пар, поступающий по паропроводу.

Прокладка тепловых сетей для транспортирования теплоносителя к мазутному хозяйству и административному зданию выбрана подземная в непроходных каналах, а к промышленному зданию – надземная на низких опорах.

При прокладке тепловых сетей предусмотрено устройство неподвижных и подвижных опор, компенсация температурных удлинений, устройство тепловой камеры. На тепловых сетях устанавливается запорная арматура. Для наглядности все элементы прокладки тепловых сетей представлены в виде узлов.

Узел 1. Прокладка мазутопроводов, подающего и циркуляционного, совместно с паропроводом осуществляется для экономии тепловой энергии в кожухе одной общей конструкции тепловой изоляции и только конденсатопровод имеет собственную изоляцию. Прокладка трубопроводов осуществляется в непроходном канале.

Узел 2. Прокладка паропровода, подающего и обратного трубопроводов тепловых сетей осуществляется в непроходном канале. На выходе из здания котельной установлена щитовая неподвижная опора, которая с помощью фланцев и приваренных косынок закрепляет трубы неподвижно.

Узел 3. Показано устройство лобовой неподвижной опоры, которые устанавливаются в каналах с заделкой швеллеров непосредственно в стенки канала.

Узел 4. Для компенсации температурных удлинений трубопроводов на прямолинейных участках часто устанавливаются П-образные компенсаторы. Для поддержки трубопроводов и свободного перемещения устраиваются подвижные опоры.

Узел 5. В месте ответвления тепловых сетей и установки запорной арматуры на тепловых сетях устраивают тепловые камеры УТ-1.

Тепловая камера имеет четыре люка для лучшего проветривания и имеет высоту в свету не менее 2 м. Для спуска в камеру устанавливают металлические лестницы или заделанные в стены скобы. Днище камеры имеет уклон не менее 0,002 м в сторону приямка. Между подающим и обратным теплопроводами имеется перемычка с задвижкой для перепуска воды из подающей в обратную трубу при аварийном режиме.

Узел 6. Прокладка ответвления к промышленному зданию осуществляется надземным способом на низких опорах из-за заболоченной почвы. Переход из подземной камеры наружу осуществляется с устройством подпятников и сверху закрывается плитой, чтобы дождевые воды не попадали в конструкцию камеры и каналы.

Прокладка тепловых сетей к производственному зданию осуществляется на низких опорах, с устройством подвижных и неподвижных опор и компенсаторов. Пересечение тепловыми сетями проезжей дороги осуществляется на высоких опорах.

Для распределения тепловых потоков в каждом здании устраивают тепловые пункты. Тепловой пункт административного здания расположен в подвальном помещении и служит для подключения системы отопления. Его схема приведена на рис. 10.5.

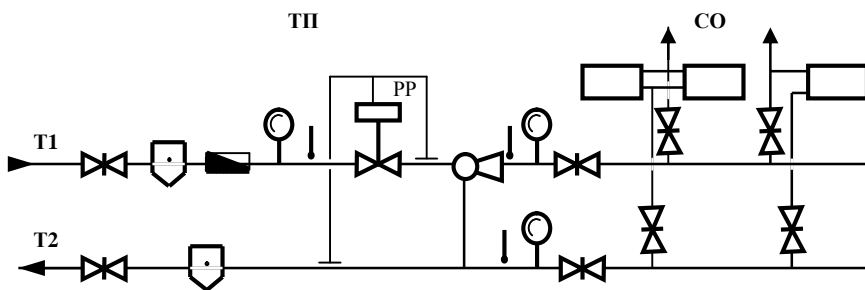


Рис. 10.5. Схема теплового пункта и системы отопления административного здания

В тепловом пункте установлены задвижки, грязевики, регулятор расхода РР, элеватор и приборы – манометры и термометры.

После изучения всех элементов системы теплоснабжения по наглядно-демонстрационному стенду необходимо зарисовать схему и описать оборудование.

Контрольные вопросы

1. Что относится к основным элементам системы теплоснабжения?
2. Для чего предназначен тепловой пункт?
3. Какие основные способы прокладки тепловых сетей вы знаете?
4. Из каких элементов состоят тепловые сети?

Лабораторная работа № 11

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ГЕНЕРИРУЮЩИХ ТЕПЛОИСТОЧНИКОВ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ КОТЕЛЬНОЙ, МИНИ-ТЭЦ, ТЭЦ-3

Цель работы: изучение элементов генерирующих теплоисточников котельной, мини-ТЭЦ, ТЭЦ-3 и назначение их установок, закрепление на практике знаний полученных на лекциях.

Общие сведения

Во время экскурсии в котельную, мини-ТЭЦ и ТЭЦ-3 необходимо обратить внимание на технические характеристики установленного оборудования, принципы его работы и назначение.

По окончании экскурсии студент должен:

знать:

– марки котлов, их количество, технические характеристики и назначения;

– способ подачи воздуха в котлы, тип дутьевых вентиляторов, производительность, давление;

– вид топлива и устройства для сжигания, тип топки;

– способы водоподготовки, умягчения и деаэрации;

– количество, марка и технические данные подпиточных котлов;

– количество, марка и технические данные сетевых котлов;

– назначение и марка установленных водоподогревателей;

записать часовой расход топлива и его давление, температуры воды в подающей и обратной магистрали, расход пара и его давление, температуру питательной воды и температуру наружного воздуха;

составить тепловую схему котельной.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Основной

1. Источники и системы теплоснабжения [Электронный ресурс]: электронный учебно-методический комплекс / Минсельхозпрод Респ. Беларусь, УО «БГАТУ», Кафедра энергетики; [сост.: А. Е. Андрейчик, В. А. Коротинский]. – Электронные данные (488 834 503 байт). – Минск : БГАТУ, 2019.

2. Гаркуша, К. Э. Источники и системы теплоснабжения. Курсовое проектирование : учебно-методическое пособие / К. Э. Гаркуша, А. Е. Андрейчик, В. Ф. Клинцева; БГАТУ, Кафедра энергетики. – Минск : БГАТУ, 2017. – 112 с.

3. Ионин, А. А. Газоснабжение : учебник / А. А. Ионин. – 4-е изд., перераб., доп., репринт. – М. : Транспортная компания, 2016. – 439 с.

4. Протасевич, А. М. Энергосбережение в системах теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха : учебное пособие / А. М. Протасевич. – Минск : Новое знание, 2013; М. : ИНФРА–М, 2013. – 286 с.

5. Теплогенерирующие установки : учебник / Г. Н. Делягин [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Бастет, 2010. – 624 с.

6. Варфоломеев, Ю. М. Отопление и тепловые сети : учебник / Ю. М. Варфоломеев, О. Я. Кокорин. – М. : ИНФРА–М, 2014. – 480 с.

7. Штокман, Е. А. Теплогазоснабжение и вентиляция : учебное пособие / Е. А. Штокман, Ю. Н. Карагодин. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2011. – 171 с.

8. Соколов, Б. А. Паровые и водогрейные котлы малой и средней мощности : учебное пособие / Б. А. Соколов. – 2-е изд., стер. – М. : Академия, 2010. – 128 с.

9. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование : учебное пособие / Б. М. Хрусталева [и др.] ; под общ. ред. Б. М. Хрусталева. – 3-е изд., испр. и доп. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. – 784 с.

10. Теплоснабжение. Котельное оборудование : справочное пособие / [автор-сост. Л. С. Овчинников]. – Минск : Дизайн ПРО, 2007. – 432 с.

Дополнительный

11. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / под ред. Б. М. Хрусталева. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2005. – 576 с.

12. Источники и системы теплоснабжения : методические указания к практическим работам / сост.: Н. К. Зайцева, А. Е. Андрейчик. – Минск, 2005. – 56 с.

13. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Источники и системы теплоснабжения» / сост.: Н. К. Зайцева, К. Э. Гаркуша, А. Е. Андрейчик. – Минск, 2004. – 46 с.

Технические нормативные правовые акты

14. СНБ 2.04.02–2000. Строительная климатология. – Введ. 01.07.2001. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2001. – 38 с.

15. СН 4.02.02–2019. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. – Введ. 09.07.2020. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 28 с.

16. СН 4.02.01–2019. Тепловые сети. – Введ. 09.07.20 Минск : Министерство архитектуры и строительства, 2020. – 43 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Технические условия и классы качества твердых биотоплив и торфа, применяемые в странах Балтийского региона

Сегодня возрастает интерес к использованию остатков рубки леса и отходов деревообработки для производства топлива – как для местного потребления, так и для экспорта. В связи с этим специалистам-энергетикам нашей республики могут быть полезны сведения по техническим условиям и классам качества твердых биотоплив и торфа, а также по низшей теплоте сгорания дров на рабочую массу, которые применяются в странах региона Балтийского моря.

Древесная щепа

Происхождение топлива: древесная биомасса.

Форма продажи: древесная щепа.

Размер, мм².

Нормативные		Основная фракция >80 % по весу	Тонкая фракция <5 %	Грубая фракция, макс. длина частиц
	P16	3,15 мм ≤ 16 мм	<1 мм	max 1 % ^a > 45 мм, all > 85 мм
	P45	3,15 мм ≤ 45 мм	<1 мм	max 1 % ^a > 63 мм
	P63	3,15 мм ≤ 63 м	<1 мм	max 1 % ^a > 100 мм
	P100	3,15 мм ≤ 100 мм	<1 мм	max 1 % ^a > 200 мм
	Влажность (% на рабочую массу)			
	M20	≥ 20 %	Сухое	
	M30	≥ 30 %	Пригодное для складирования	
	M40	≥ 40 %	Ограниченно пригодное для складирования	
	M55	≥ 55 %		
M65	≥ 65 %			

	Зольность (% на сухую часть)			
	A0.7	≤ 0,7 %		
	A1.5	≤ 1,5 %		
	A3.0	≤ 3,0 %		
	A6.0	≤ 6,0 %		
	A10.0	≤ 10,0 %		
	Азот, N (% на сухую часть)			
	N0.5	≤ 0,5 %	Азот нормируется только для химически обработанной биомассы	
	N1.0	≤ 1,0 %		
	N3.0	≤ 3,0 %		
	N3.0+	≤ 3,0 % (должна быть привлечена реальная величина)		
	Информативные	Низшая теплота сгорания на рабочую массу Q_n^p , (МДж/кг) или энергоемкость E^p (кВт/м ³ , кубометр насыпной)		Рекомендуется приводить при розничной торговле
		Насыпная плотность рабочей массы (кг/м ³)		Рекомендуется приводить при продаже в объемных единицах в категориях (BD200, BD300, BD450)
Хлор, Cl (массовый % на сухую часть)		Рекомендуется приводить по категориям C10.03, C10.07, C10.10 и C10.10+ (если Cl > 0,1 %, приводить реальное содержание)		

Примечание: численные значения размеров относятся к размерам частиц, проходящим через упомянутое круглое отверстие сита размером (3,15 мм, 16, 45, 63, 100 мм). Размеры реальных частиц могут отличаться от этих величин, особенно длина частиц

Брикеты

Происхождение топлива: древесная биомасса, травяная биомасса, биотопливо с добавками, торф.

Форма продажи: брикет.

Диаметр или эквивалентный размер, мм.

Нормативные	Диаметр (D)		
	D40	$25 \leq D \leq 40$	
	D50	≤ 50	
	D60	≤ 60	
	D80	≤ 80	
	D100	≤ 100	
	D125	≤ 125	
	D125+	>125 (приводить реальное значение)	
	Длина (L)		
	L50	≤ 50	
	L100	≤ 100	
	L200	≤ 200	
	L300	≤ 300	
	L400	≤ 400	
	L400+	> 400 (приводить реальное значение)	
	Влажность (% на рабочую массу)		
	M10	$\leq 10 \%$	
	M15	$\leq 15 \%$	
	M20	$\leq 20 \%$	
	Зольность (% на сухую часть)		
A0.7	$\leq 0,7 \%$		
A1.5	$\leq 1,5 \%$		
A3.0	$\leq 3,0 \%$		
A6.0	$\leq 6,0 \%$		
A10.0	$\leq 10,0 \%$		

	Сера, S (массовый % на сухую часть)		Сера нормируется только для химически обработанной биомассы или используются содержащие серу добавки
	S0.05	$\leq 0,05 \%$	
	S0.08	$\leq 0,08\%$	
	S0.10	$\leq 0,10 \%$	
	S0.20	$\leq 0,20 \%$	
	S0.20+	$> 0,20 \%$ (приводить реальное значение)	
Нормативные	Плотность брикета, кг/дм³		
	DE0.8	0,80–0,99	
	DE1.0	1,00–1,09	
	DE1.1	1,10–0,99	
	DE1.2	$\geq 1,20$	
	Включения (массовый % прессуемой массы)		
	Должны быть приведены тип и содержание добавок при прессовании, замедлителей шлакования и любых других включений		
	Азот, N (% на сухую часть)		
	N0.3	$\leq 0,3 \%$	Азот нормируется только для химически обработанной биомассы
	N0.5	$\leq 0,5 \%$	
	N1.0	$\leq 1,0 \%$	
N3.0	$\leq 3,0 \%$		
N3.0+	$\leq 3,0 \%$ (должна быть привлечена реальная величина)		
Информативные	Низшая теплота сгорания на рабочую массу Q_n^p (МДж/кг) или энергоемкость E^p (кВт/м ³ , кубометр насыпной)		Рекомендуется приводить при розничной торговле
	Насыпная плотность рабочей массы (кг/м ³)		Рекомендуется приводить при продаже в объемных единицах в категориях (BD200, BD300, BD450)

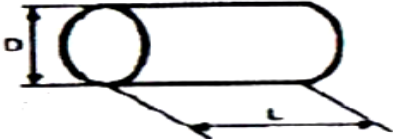
	Хлор, Cl (массовый % на сухую часть)	Рекомендуется приводить по категориям C10.03, C10.07, C10.10 и C10.10+ (если Cl > 0,1 %, приводить реальное содержание)
--	--------------------------------------	---

Пеллеты

Происхождение топлива: древесная биомасса, травяная биомасса, биотопливо с добавками, торф.

Форма продажи: пеллеты.

Размеры, мм.

Нормативные	Диаметр (D) и длина (L). Не более 20 % пеллет могут быть длиной $7,5 \times$ диаметр	
		
	D06	$\leq 6 \text{ мм} \pm 0,5 \text{ мм}$ и $L \leq 5 \times D$
	D08	$\leq 8 \text{ мм} \pm 0,5 \text{ мм}$ и $L \leq 4 \times D$
	D10	$\leq 10 \text{ мм} \pm 0,5 \text{ мм}$ и $L \leq 4 \times D$
	D12	$\leq 12 \text{ мм} \pm 0,5 \text{ мм}$ и $L \leq 4 \times D$
	D25	$\leq 25 \text{ мм} \pm 0,5 \text{ мм}$ и $L \leq \times D$
	Влажность (% на рабочую массу)	
	M10	$\leq 10 \%$
	M15	$\leq 15 \%$
M20	$\leq 20 \%$	

Нормативные	Зольность (% на сухую часть)		
	A0.7	≤ 0,7 %	
	A1.5	≤ 1,5 %	
	A3.0	≤ 3,0 %	
	A6.0	≤ 6,0 %	
	A6.0+	> 6,0 % (приводить реальное значение)	
	Сера, S, (массовый % на сухую часть)		
	S0.05	≤ 0,05 %	Сера нормируется только для химически обработанной биомассы или используются содержащие серу добавки
	S0.08	≤ 0,08%	
	S0.10	≤ 0,10 %	
	S0.20+	> 0,20 % (приводить реальное значение)	
	Механическая устойчивость (DU) (массовый % после испытания)		
	DU97.5	≥ 97,5 %	
	DU95.0	≥ 95,0 %	
	DU90.0	≥ 90,0 %	
	Объем тонкой фракции (массовый %, < 3,15 мм) после изготовления		
	F1.0	≤ 1,0 %	На последнем звене цепочки производства
	F2.0	≤ 2,0 %	
	F2.0+	> 2,0 % (приводить реальное значение)	
	Включения (массовый % прессуемой массы)		
	Должны быть приведены тип и содержание добавок при прессовании, замедлителей шлакования и любых других включений		
	Азот, N (% на сухую часть)		
	N0.3	≤ 0,3 %	Азот нормируется только для химически обработанной биомассы
N0.5	≤ 0,5 %		
N1.0	≤ 1,0 %		

	N3.0	$\leq 3,0 \%$	
	N3.0+	$\leq 3,0 \%$ (должна быть привлечена реальная величина)	
Информативные	Низшая теплота сгорания на рабочую массу Q_H^P (МДж/кг) или энергоемкость E^P (кВт/м ³ , кубометр насыпной)		Рекомендуется приводить при розничной торговле
	Насыпная плотность рабочей массы (кг/м ³)		Рекомендуется приводить при продаже в объемных единицах в категориях (BD200, BD300, BD450)
	Хлор, Cl (массовый % на сухую часть)		Рекомендуется приводить по категориям C10.03, C10.07, C10.10 и C10.10+ (если Cl > 0,1 %, приводить реальное содержание)

Древесная кора

Происхождение топлива: древесная биомасса.

Форма продажи: кора.

Нормативные	Влажность (% на рабочую массу)		
	M40	$\leq 40 \%$	
	M50	$\leq 50 \%$	
	M60	$\leq 60 \%$	
	M70	$\leq 75 \%$	
	Зольность (% на сухую часть)		
	A0.7	$\leq 0,7 \%$	
	A1.5	$\leq 1,5 \%$	

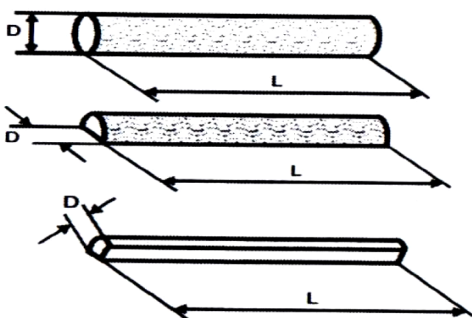
	A3.0	≤ 3,0 %	
	A6.0	≤ 6,0 %	
	A12,0	≤ 12,0 %	
	Азот, N (% на сухую часть)		
	N0.5	≤ 0,5 %	Азот нормируется только для химически обработанной биомассы
	N1.0	≤ 1,0 %	
	N3.0	≤ 3,0 %	
	N3.0+	≤ 3,0 % (должна быть привлечена реальная величина)	
	Измельчение		
	Приводить данные по измельчению (измельченная или неизмельченная)		
Информативные	Низшая теплота сгорания на рабочую массу Q_H^P (МДж/кг) или энергоемкость E^P (кВт/м ³ , кубометр насыпной)		Рекомендуется приводить при розничной торговле
	Насыпная плотность рабочей массы (кг/м ³)		Рекомендуется приводить при продаже в объемных единицах в категориях (BD200, BD300, BD450)
	Хлор, Cl (массовый % на сухую часть)		Рекомендуется приводить по категориям C10.03, C10.07, C10.10 и C10.10+ (если Cl > 0,1 %, приводить реальное содержание)

Дрова (древесные поленья)

Происхождение топлива: древесная биомасса.

Форма продажи: поленья.

Размеры, мм.

Нормативные			
	Длина (L) и диаметр (D) (наибольший диаметр отдельных чурбаков)		
	P200-	L < 200 мм и D < 20 (дрова для розжига)	
	P200	L = 200 ± 20 и 40 мм ≤ D ≤ 150 мм	
	P250	L = 250 ± 20 и 40 мм ≤ D ≤ 150 мм	
	P330	L = 330 ± 20 и 40 мм ≤ D ≤ 160 мм	
	P500	L = 500 ± 40 и 60 мм ≤ D ≤ 250 мм	
	P1000	L = 1000 ± 500 и 60 мм ≤ D ≤ 350 мм	
	P1000+	L > 1000 мм (должны быть указаны реальная длина и диаметр)	
	Влажность (% на рабочую массу)		
	M20	≤ 20 %	Пригодные для печки поленья
	M30	≤ 30 %	Высушенные на складе
	M40	≤ 40 %	Высушенные в лесу
	M65	≤ 65 %	Свежие после рубки на лесосеке
Дрова			
Указать, какое дерево, хвойное или лиственное			

Информативные	Энергоемкость E^P (кВт/м ³ , кубометр насыпной или в штабе)	Указывать при розничной продаже
	Объем, м ³ , плотный, в штабеле или насыпной, как получен	Указать, какой объем использован при розничной продаже
	Пропорции объема котловых дров	Нерасколотые (в основном кругляк)
		Колотые: более 85 % объема – колотые
Смесь: смесь колотых дров и кругляка		
Поверхность раскола	Указать, является ли поверхность раскола ровной, гладкой*, а торцы поленьев неровными	
Информативные	Плесень и гниль	Если значительная часть дров поражена плесенью и гнилью (более 10 % по весу), это должно быть указано
		В сомнительных случаях в качестве индикатора можно использовать плотность частиц и низшую теплоту сгорания

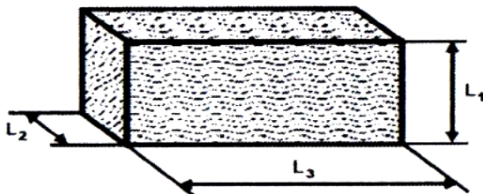
* Достичь ровности и гладкости можно, используя цепную пилу.

Прессованная солома

Происхождение топлива: травяная биомасса.

Форма продажи: тюки.

Размеры (мм): высота L_1 , ширина L_2 и длина L_3 .



Нормативные		Высота L_1	Высота L_2	Высота L_3	
	P1	1300	1200	2200	
	P2	1300	1200	2400	
	P3	600–900	1200	2400	
	P4	1300	1200	1100–2750	
	Плотность тюка (кг/м³)				
	BD130	≤ 130			
	BD150	≤ 150			
	BD165	≤ 165			
	BD165+	≤ 165			
	Влажность (% на рабочую массу)				
	M16	≤ 16 %	Нет частей с влажностью 23 %		
	M16+	≤ 16 %	Допустимы части с влажностью 23 %		
	M23	≤ 23 %	Нет частей с влажностью 30 %		
	M23+	≤ 23 %	Одна или более частей с влажностью выше 30 %		
	M30	≤ 30 %	Нет частей с влажностью выше 30 %		
	M30+	≤ 30 %	Одна или более частей с влажностью 35 %		

	Зольность (массовый % на сухую часть)	
	A05	$\leq 0,7 \%$
	A10	$\leq 1,5 \%$
	A10+	$\leq 3,0 \%$
Разновидность биомассы		
Должно быть указано		
Информативные	Низшая теплота сгорания на рабочую массу Q_H^P (МДж/кг) или энергоемкость E^P (кВт/м ³ , кубометр насыпной)	Рекомендуется приводить
	Размер и структура частиц	Рекомендуется приводить метод производства, влияющий на размер частиц соломы. Например, производился ли обмолот вращением или вибрацией, была ли солома измельчена

Древесные опилки

Происхождение топлива: древесная биомасса.

Форма продажи: опилки.

Нормативные	Влажность (% на рабочую массу)		
	M20	$\leq 20 \%$	Сухие
	M30	$\leq 30 \%$	Пригодные для складирования
	M35	$\leq 35 \%$	Ограничения на складирование
	M55	$\leq 55 \%$	
	M65	$\leq 65 \%$	

	Зольность (массовый % на сухую часть)		
	A0.7	≤ 0,7 %	
	A1.5	≤ 1,5 %	
	A3.0	≤ 3,0 %	
	A6.0	≤ 6,0 %	
	Азот, N (% на сухую часть)		
	N0.5	≤ 0,5 %	Азот нормируется только для химически обработанной биомассы
	N1.0	≤ 1,0 %	
	N3.0	≤ 3,0 %	
	N3.0+	≤ 3,0 % (указать реальные величины)	
	Информативные	Низшая теплота сгорания на рабочую массу Q_H^P (МДж/кг) или энергоёмкость E^P (кВт/м ³ , кубометр насыпной)	
Насыпная плотность рабочей массы (кг/м ³)		Рекомендуется приводить при продаже в объёмных единицах в категориях (BD200, BD300, BD350)	
Хлор, Cl (массовый % на сухую часть)		Рекомендуется приводить по категориям C10.03, C10.07, C10.10 и C10.10+ (если Cl > 0,1 %, приводить реальное содержание)	

Примечание: размер частиц опилок предполагается однородным. Распределение частиц может быть приведено по требованию

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Учебное издание

Коротинский Виктор Андреевич,
Андрейчик Алла Евгеньевна,
Синица Светлана Ивановна

**ИСТОЧНИКИ И СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск *А. М. Кравцов*
Редактор *Д. О. Бабакова*
Корректор *Д. О. Бабакова*
Компьютерная верстка *Д. О. Бабаковой*
Дизайн обложки *Д. О. Бабаковой*

Подписано в печать 14.03.2022. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 3,64. Тираж 99 экз. Заказ 25.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий

№ 1/359 от 09.06.2014.

№ 2/151 от 11.06.2014.

Пр-т Независимости, 99–1, 220023, Минск.