

Министерство образования и науки РФ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

**НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. Р.Е. Алексеева**

Кафедра "Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника"

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ И УСТАНОВКИ

Методические указания к практическим работам

**для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника**

**Нижний Новгород
2017**

Составители: С.А. Петрицкий

УДК 620.9

Энергетические ресурсы и установки: Методические указания к практическим работам для студентов направления подготовки 13.03.02 "Электроэнергетика и электротехника"/ НГТУ; Сост.: С.А. Петрицкий. Н.Новгород, 2017. - 21 с.

Приведен тематический план практических занятий по курсу "Энергетические ресурсы и установки", варианты контрольных работ по курсу и методические указания к их выполнению.

Научный редактор

Редактор

Компьютерная верстка С.А. Петрицкий

Подп. к печ. __.__.__. Формат 60x84 1/16. Бумага газетная. Печать офсетная. Печ. л. 1,31. Уч.-изд. л. ____. Тираж ____ экз. Заказ ____.

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева.

Типография НГТУ. 603600, Н.Новгород, ул. Минина, 24.

© Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2017

© Петрицкий С.А., 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Тематический план практических занятий.....	3
Контроль знаний студентов. Задания и методические указания для выполнения контрольных работ	4
Контрольная работа № 1	4
Контрольная работа № 2	8
Контрольная работа № 3	11
Контрольная работа № 4	14
Индивидуальные варианты заданий для контрольных работ	16
Список литературы	21

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

1. Энергия и энергоресурсы.

- Энергетические ресурсы России. Стадии процесса энергетического производства

2. Энергетические ресурсы земли

- Расчет характеристик органического топлива
- Горение органического топлива
- Энергетический потенциал и перспективы использования возобновляемых геофизических ресурсов
- Реакции ядерного деления и термоядерного синтеза. Процесс ядерного топливного цикла

3. Современные способы производства электрической и тепловой энергии

- Процессы термодинамики в энергетических установках
- Вторичные энергетические ресурсы и их использование
- Котельные установки. Расчет параметров котлоагрегатов

4. Новые способы преобразования различных видов энергоресурсов в электрическую и тепловую энергию

- Малая энергетика
- Накопители энергии. Системы аккумулирования энергии
- Расчет параметров ветроэнергетических установок

КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ. ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Контрольная работа № 1

Классификация и характеристики органического топлива

Краткие сведения из теории и расчетные формулы

Любое вещество или смесь веществ для получения теплоты называют топливом. В настоящее время известны две группы топлив, различающихся по принципу высвобождения энергии: органическое топливо, которое выделяет теплоту при окислении (горении) горючих элементов, входящих в его состав, и ядерное топливо, выделяющее теплоту в результате ядерных преобразований. Рассмотрим органическое топливо. Оно классифицируется: по агрегатному состоянию - твердое (уголь, торф, горючий сланец, растительное топливо), жидкое (бензин, керосин, мазут и др.), газообразное (природный и искусственный газы); по способу получения - естественное (добываемое из земных недр) и искусственное (получаемое в результате физической или химической переработки естественного топлива и других природных веществ). Ископаемое твердое топливо (за исключением сланцев) является продуктом разложения органической массы растений. Самое молодое из них - торф, представляет собой плотную массу, образовавшуюся из перегнивших остатков болотных растений. Следующими по "возрасту" являются бурые угли - землистая или черная однородная масса, которая при длительном хранении на воздухе частично окисляется ("выветривается") и рассыпается в порошок. Затем идут каменные угли, обладающие, как правило, повышенной прочностью и меньшей пористостью. Органическая масса наиболее старых из них - антрацитов - претерпела наибольшие изменения и на 93% состоит из углерода. Антрацит отличается высокой прочностью.

Практически все жидкие топлива пока получают путем переработки нефти. Сырую нефть нагревают до 300-370 °С, после чего полученные пары разгоняют на фракции, конденсирующиеся при различной температуре t_k : сжиженный газ (выход около 1 %), бензиновую (около 15%, $t_k = 30-180$ °С), керосиновую (около 17 %, $t_k = 120-315$ °С), дизельную (около 18%, $t_k = 180-350$ °С). Жидкий остаток с температурой начала кипения 330-350 °С называется мазутом. Указанные фракции служат исходным сырьем для получения смазочных материалов и топлив для двигателей внутреннего сгорания и газотурбинных установок - бензина, керосина, дизельных топлив. Мазутная фракция может подвергаться дальнейшей переработке на светлые нефтепродукты путем крекинга, т.е. расщепления тяжелых молекул на более легкие. Мазут, как и моторные топлива, представляет собой сложную смесь углеводородов, в состав которых входят в основном углерод ($C^P = 84-86$ %) и водород ($H^P = 10-12$ %). Мазуты, получаемые из нефти ряда месторождений (башкирской, серноводской и некоторых других), могут содержать много серы (до 4,3 %), что резко усложняет защиту окружающей среды при их сжигании. К газообразным топливам относят прежде всего природный газ. Основным его компонентом является метан CH_4 , кроме того, в газе разных месторождений содержатся небольшие количества водорода H_2 , азота N_2 , высших

углеводородов C_mH_n , окисла CO и диоксида CO_2 углерода. В процессе добычи природного газа его обычно очищают от сернистых соединений, но часть их (в основном сероводород) может оставаться. В бытовой газ для обнаружения утечек добавляют так называемые одоризаторы, придающие газу специфический запах; они тоже содержат соединения серы. Принято считать, что концентрация водяного пара в природном газе соответствует состоянию насыщения при температуре газа в трубопроводе. При добыче нефти выделяют так называемый попутный газ, содержащий меньше метана, чем природный, но больше высших углеродов и поэтому выделяющий при сгорании больше теплоты. В промышленности, и особенно в быту, находят широкое применение сжиженный газ, получаемый при первичной переработке нефти и попутных нефтяных газов. На металлургических заводах в качестве попутных продуктов получают коксовый и доменный газы. И тот и другой используются здесь же, на заводах для отопления печей и технологических аппаратов. Коксовый газ иногда (после очистки от сернистых соединений) применяют для бытового газоснабжения прилегающих жилых массивов. Из-за большого содержания CO (5-10%) он значительно токсичнее природного. Избытки доменного газа сжигают в топках заводских электростанций.

Элементарный состав жидких и твердых топлив состоит из следующих компонентов: углерода C, водорода H_2 , кислорода O_2 , азота N_2 , серы S, минеральных соединений A, влаги W. Сера S может присутствовать в топливе в трех видах: органическая S_o , колчеданная S_k и сульфатная S_s . Сумму $S_o+S_k = S_l$ называют летучей серой. В твердом топливе различают рабочую, сухую, сухую беззольную (горючую) и органические массы, а в жидком - рабочую и сухую массы. Сухой беззольной, или горючей, называют часть массы топлива, состоящую из углерода, водорода, кислорода, азота и летучей серы. Влага и минеральные соединения составляют негорючую массу топлива, называемую балластом. Сухая беззольная масса и минеральные соединения составляют сухую массу топлива. Сухая масса топлива и влага образуют рабочую массу топлива.

Состав твердых и жидких топлив принято представлять в виде суммы масс химических элементов

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

Индекс "р" означает, что состав топлива рассчитан на рабочую массу. В справочных данных приводится состав сухой беззольной массы топлива. Пересчет состава топлива с сухой беззольной на рабочую или сухую массы производится с помощью коэффициентов

$$K^P = (100 - (A^P + W^P))/100; K^C = (100 - A^C)/100$$

Основными компонентами газообразного топлива являются метан CH_4 , высшие углеродные соединения C_mH_n , водород H_2 , азот N_2 , оксид углерода CO, диоксид углерода CO_2 , сероводород H_2S , кислород O_2 . Состав газообразного топлива может быть представлен в виде суммы долей объема составляющих его компонентов

$$CH_4 + C_mH_n + H_2 + CO + CO_2 + H_2S + O_2 = 100\%$$

Количество теплоты, выделившейся при полном сгорании единицы массы или объема топлива, называется теплотой сгорания, которую разделяют на высшую и низшую. Высшей теплотой сгорания Q_H^P называют количество

теплоты, полученное при сгорании 1 кг твердого (жидкого) или 1 м³ газообразного топлива (при температуре 0 °С и давлении 0,1013 МПа) и конденсации водяных паров, содержащихся в продуктах сгорания. Низшая теплота сгорания Q_H^P , кДж/кг, не включает в себя теплоту конденсации водяных паров.

Теплота сгорания топлива определяется исходя из химического состава (%) топлива.

Для твердого и жидкого топлива (кДж/кг):

$$Q_B^P = 338C^P + 1250H^P - 108,5(O^P - S^P)$$

$$Q_H^P = 338C^P + 1025H^P - 108,5(O^P - S^P) - 25W^P$$

Теплоту сгорания газообразного топлива в кДж/м³ определяют в расчете на сухую массу (кДж/м³):

$$Q_H^P = 108N_2 + 126CO_2 + 234H_2S + 358CH_4 + 591C_2H_6 + 913C_3H_8 + 1187C_4H_{10} + 1461C_5H_{12}$$

Цифровые коэффициенты в формулах выражают теплоту сгорания отдельных горючих элементов, деленную на 100.

Важным показателем в характеристике твердого и жидкого топлива является выход летучих веществ, представляющих собой смесь горючих и негорючих газов, которые выделяются из массы топлива при его нагревании от 110 до 1100 °С. Уменьшение массы пробы топлива при нагревании без доступа воздуха за вычетом содержащейся в топливе влаги, отнесенное к горючей массе топлива (масса пробы 1 г, температура нагревания 850 °С, время нагрева 7 минут), характеризует величину выхода V_g . Чем больше выход летучих веществ, тем ниже температура воспламенения топлива и легче его зажигание. Выход летучих веществ зависит в основном от возраста топлива и условий его формирования. Так, выход летучих у торфа, имеющего самый молодой возраст, составляет 70 %, бурого угля - 45...50 %, каменных углей - 25...40 %, а у антрацита - 3...4 %. Твердый остаток топлива после выхода летучих веществ называется коксом. Коксовый остаток может быть плотным, спекшимся или рыхлым. В энергетических установках используются топлива, непригодные для получения плотного кокса. Несгоревший остаток, образующийся после сгорания топлива и состоящий в основном из минеральных примесей, называется золой. Часть золы в процессе горения топлива под действием высоких температур оплавляется и превращается в шлак.

Отношение массы золы к массе топлива в % называют зольностью A . Бурые и каменные угли имеют зольность A (в зависимости от месторождения), сланцы - 40...60 %, жидкие топлива - 0,05...0,1 %. Зольность топлива и свойства золотого остатка влияют на процесс горения. Зола уменьшает теплоту сгорания топлива, снижает интенсивность теплообмена вследствие осаждения на поверхностях нагрева, вызывает износ их, загрязняет окружающую среду. Вместе с тем зола иногда используется в производстве строительных материалов, в сельском хозяйстве как удобрение. Из золы некоторых топлив добывают редкие и рассеянные элементы (например, германий, галлий и др.). Влажность W - количество влаги (воды) в топливе, выраженное в %. Повышенная влажность снижает теплоту сгорания топлива и вызывает

большие трудности при сжигании. Высокую влажность (до 50%) имеют бурые угли и торф, и поэтому их теплота сгорания невелика 8...10 МДж/кг. Влажность каменных углей значительно ниже и составляет 5...8 %. Сернистость S - Количество серы в топливе. Большое количество серы в топливе вызывает усиленную коррозию поверхностей нагрева и газоотводящих трактов топливоиспользующего оборудования, приводит к его преждевременному износу и выходу из строя. Для сравнения топлив с различной степенью влажности, зольности и сернистости используют приведенные характеристики, под которыми понимают характеристики рабочей массы топлива, отнесенные к низшей теплоте его сгорания. Приведенные влажность W , зольность A , сернистость S , вычисляют соответственно по формулам

$$W^{np} = W^p/Q_n^p ; A^{np} = A^p/Q_n^p ; S^{np} = S^p/Q_n^p$$

Топлива с $W^{np} < 0,7$ (%·кг)/МДж считаются маловлажными, а с $W^{np} < 1,9$ (%·кг)/МДж высоковлажными. Топлива с $A^{np} \leq 0,7$ (%·кг)/МДж называют малозольными, а с $A^{np} > 5$ (%·кг)/МДж – высокозольными.

Программа работы

1. Сделать перерасчет заданного состава топлива с сухой беззольной на сухую и рабочую массы топлива.
2. Рассчитать высшую и низшую теплоту сгорания топлива
3. Для заданного состава топлива определить приведенные влажность, зольность и сернистость.

Содержание отчета

1. Ф.И.О. студента, номер группы, вариант задания
2. Исходные данные в соответствии с индивидуальным вариантом
3. Программа работы
4. Расчет
5. Результаты расчета

Контрольные вопросы

1. Как классифицируются топлива?
2. Каков элементарный состав твердых и жидких топлив?
3. Каков элементарный состав газообразного топлива?
4. Что такое горючая, сухая и рабочая масса топлива? Как производится пересчет состава топлива с одной массы на другую?
5. Назовите основные характеристики различных видов топлива. Как они влияют на организацию процессов горения?
6. Что такое приведенные характеристики? .
7. В чем разница между низшей и высшей теплотой сгорания?

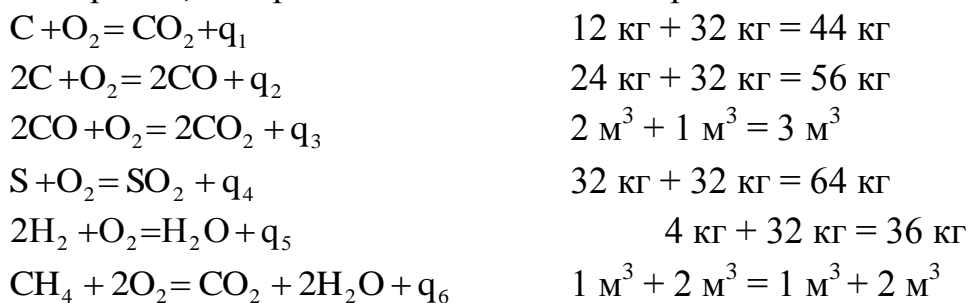
Контрольная работа № 2 Горение органического топлива

Краткие сведения из теории и расчетные формулы

Горение – экзотермическая окислительно-восстановительная реакция топлива с окислителем (кислородом воздуха и др.), сопровождающаяся выделением теплоты и света. Различают гомогенное горение, протекающее в объеме, когда топливо и окислитель находятся в одинаковом агрегатном состоянии (например, горение газа в воздухе), и гетерогенное, происходящее на поверхности раздела фаз, когда топливо и окислитель находятся в различных агрегатных состояниях (например, горение твердых и жидких топлив).

Процесс горения может идти с различной скоростью: от медленного до мгновенного окисления горючих элементов во всем объеме топлива. Примером медленного горения является самовоспламенение твердого топлива при горении его на складе без соприкосновения с пламенем или раскаленным телом. Мгновенное окисление представляет собой взрыв. В энергетических установках практическое значение имеет такая скорость реакции, при которой происходит устойчивое горение с постоянной во времени концентрацией топлива и окислителя (воздуха). Такой процесс горения осуществляется, например, в двигателе внутреннего сгорания или в топочной камере парового котла. При нарушении соотношения между концентрациями топлива и воздуха, например при избытке воздуха (бедная смесь) или топлива (богатая смесь), скорость реакции снижается, и вследствие этого уменьшается тепловыделение на единицу объема. Существуют нижний и верхний пределы концентрации, топлива, вне которых горение становится невозможным.

Максимальное тепловыделение в процессе горения, происходит при определенных соотношениях масс элементов исходных веществ, вступающих в реакцию горения, которые называют стехиометрическими:



Из реакции горения углерода следует, что для полного сгорания 1 кг углерода необходимо затратить $32/12 = 2,67$ кг кислорода и при этом образуется $44/12 = 3,67$ кг углекислого газа CO_2 . Для аналогичных реакций окисления H_2 и S требуется 8 кг ($5,55 \text{ м}^3$) O_2 и при этом образуется $11,1 \text{ м}^3$ водяных паров, а для сжигания 1 кг S расходуется примерно 1кг ($0,7 \text{ м}^3$) O_2 и получается $0,7 \text{ м}^3$ SO_2 . Таким образом, теоретически необходимое количество кислорода, кг/кг, с учетом его содержания в топливе для полного сжигания 1кг рабочей массы топлива

$$L_{O_2}^o = 2,67C^P/100 + S^P/100 + 8H^P/100 - O^P/100$$

Так как содержание кислорода в воздухе составляет примерно 21% по объему, то теоретически необходимое количество воздуха, м^3 , на кг твердого или жидкого топлива

$$V^0 = 0,0889(C^P + 0,375S^P) + 0,265H^P - 0,0333O^P$$

При рассмотрении горения газообразного топлива объемы воздуха и продукты сгорания относят к 1 м³ газа. Для определения теоретически необходимого количества воздуха V⁰ на 1 м³ газового топлива аналогично производится расчет материального баланса элементарных реакций горения и получается следующее выражение:

$$V^0 = 0,0476(0,5CO + 0,5H_2 + 1,5H_2S + (m + n/4)C_mH_n - O_2)$$

В реальных условиях горения газообразного топлива требуется больший объем воздуха V_B > V⁰. Отношение a_B = V_B/V⁰ называют коэффициентом избытка воздуха. При сжигании твердых топлив a_B принимается равным 1,15...1,25, а для газообразных a_B = 1,02...1,1.

В процессе горения топлива образуется углекислый газ CO₂ водяные пары H₂O, сернистый ангидрид SO₂, а при недостатке воздуха - оксид углерода CO. Кроме того, в продуктах сгорания имеется азот N₂, выделяющийся из топлива, а также поступающий вместе с воздухом; небольшое количество оксидов азота и сернистого ангидрида, образующихся при высокой температуре и наличии кислорода. В продуктах сгорания имеется также кислород O₂ оставшийся после горения топлива, а при сжигании газообразного топлива - водород H₂ и метан CH₄.

Объем продуктов сгорания, м³/кг или м³/м³, определяется из выражения

$$V_{\Gamma} = V_{\Gamma}^0 + (a_B - 1)V^0 = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + V_{H_2O}^0 + (a_B - 1)V^0$$

где V_{RO₂} = V_{SO₂} + V_{CO₂} - объем трехатомных газов;

V_{N₂} и V_{H₂} - теоретические объемы азота и водяного пара соответственно.

Теоретический объем V_Γ⁰ продуктов сгорания 1 кг или 1 м³ топлива определяется так же, как и V⁰, из материального баланса элементарных реакций окисления топлива. Для твердых топлив

$$V_{RO_2} = 0,01866(C^P + 0,375S^P); V_{N_2}^0 = 0,79V^0 + 0,008N^P;$$

$$V_{H_2O}^0 = 0,111H^P + 0,0124W^P + 0,0161V^0$$

Для газообразных топлив

$$V_{RO_2} = 0,01(CO_2 + CO + H_2S + mC_mH_n); V_{N_2}^0 = 0,79V^0 + 0,01N_2;$$

$$V_{H_2O}^0 = 0,01(H_2S + H_2 + 0,5n C_mH_n) + 0,0161V^0$$

Все объемы газов и воздуха выражают в м³ при 0 °С и давлении 0,101МПа. Газообразные продукты сгорания принято называть дымовыми газами. Обладая относительно высокими скоростями, они выносят в атмосферу различные твердые частицы негорючих примесей топлива: золу, сажу (копоть) и др., а при сжигании мазута - также пятиокись ванадия V₂O₅. Из всех образовавшихся продуктов сгорания топлива безопасными для живого организма являются водяные пары, азот, углекислый газ и кислород. Остальные - оксиды серы и азота, угарный газ, сажа, пятиокись ванадия - являются в той или иной мере токсичными веществами, вредно влияющими на органы дыхания, кожу человека и животных, растения и др.

В зависимости от степени опасности воздействия на организм человека вредные продукты сгорания органического топлива разделяются на несколько групп. К чрезвычайно опасным относятся пятиокись ванадия и бензапирен, появляющийся в дымовых газах при сжигании любого топлива с недостатком

кислорода. Высокоопасными являются диоксид азота NO_2 и серный ангидрид SO_3 , при взаимодействии которого с водяными парами атмосферного воздуха образуются пары азотной и серной кислот, являющиеся токсичными и коррозионно-агрессивным веществом. Вредное воздействие на живой организм оценивают по их концентрации в воздухе. Предельно допустимые концентрации (С), мг/м^3 , вредных веществ образующихся при сжигании органических топлив, устанавливаются санитарными нормами (в числителе - максимальная концентрация, в знаменателе - среднесуточная): диоксид азота - 0,085/0,085; серный ангидрид - 0,25/0,25; сернистый ангидрид - 0,30/0,10 ; оксид углерода - 3,0/1,0; пятиокись ванадия - /0,002; сажа (копоть) - 0,15/0,05; пыль(зола) - 0,50/0,15.

Сопоставляя действительные концентрации того или иного вещества с предельно допустимыми, делают заключение о степени их токсичности. Концентрация C_i вредного вещества безопасна, если $C_i/(C_i) < 1$, где (C_i) - предельно, допустимая концентрация вещества. При одновременном содержании в воздухе нескольких вредных веществ, близких по характеру воздействия на живой организм, воздушная среда будет безопасной, если сумма отношений действительных концентраций $\sum C_i$ к предельно допустимым концентрациям $\sum (C_i)$ будет меньше или равна единице.

Программа работы

1. Рассчитать теоретич. и действительный объем воздуха для сгорания 1 кг (м^3) топлива.
2. Рассчитать объем продуктов сгорания, выделяющихся при сжигании 1 кг (м^3) топлива.
3. Определить расход воздуха при сжигании заданного объема топлива.

Содержание отчета

1. Ф.И.О. студента, номер группы, вариант задания
2. Исходные данные в соответствии с индивидуальным вариантом
3. Программа работы
4. Расчет
5. Результаты расчета

Контрольные вопросы

1. Назовите виды горения. Как скорость сгорания влияет на процесс горения?
2. Каковы стехиометрические соотношения для основных горючих элементов органического топлива?
3. Как определить расход воздуха, необходимый для сгорания 1 кг топлива?
4. Как определить расход воздуха, необходимый для сгорания 1 м^3 топлива?
5. Каков состав и объем продуктов сгорания твердого топлива?
6. Каков состав и объем продуктов сгорания газообразного топлива?
7. Как влияют продукты сгорания топлива на окружающую среду?

Контрольная работа № 3 Вторичные энергетические ресурсы и их использование

Краткие сведения из теории и расчетные формулы

Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР) – энергетический потенциал (химическая связанная теплота, физическая теплота и потенциальный энергия) продукции отходов, побочных и промежуточных продуктов, образующихся в технологических агрегатах (установках, процессах), который в них не используется, но может быть частично или полностью использован для энергосбережения других агрегатов.

Потенциальные запасы вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) в отраслях народного хозяйства оцениваются более чем в 1000 млн.ГДж. Рациональное их использование является одним из крупнейших резервов экономии топлива, способствующим снижению топливной энергоемкости промышленной продукции.

Использование ВЭР для удовлетворения потребностей в топливе, тепло, электрической и механической энергии других агрегатов и процессов называют утилизацией ВЭР. Причем ВЭР могут использоваться непосредственно без изменения вида энергоносителя для удовлетворения потребности в топливе и теплоте либо с его изменением путем выработки теплоты, холода или механической энергии в специальных установках, называемых утилизационными.

Количество ВЭР, образующихся в ходе технологических и производственных процессов в агрегате, называют выходом ВЭР. Количество используемой потребителем энергии, вырабатываемой за счет ВЭР в утилизационных установках, называют использованием ВЭР. За счет использования ВЭР экономится количество топлива $\Delta V_{\text{эк}}$, которое называют показателем экономии топлива за счет ВЭР.

По виду энергии ВЭР разделяют на три группы: горючие (или топливные), тепловые и ВЭР избыточного давления.

К горючим ВЭР относят горючие отходы технологических процессов химической и термохимической переработки углеродистого и углеводородного сырья, побочные горючие газы плавильных печей (доменных, коксовых), ферросплавных, конверторных и т.д., на пригодных для дальнейшей технологической переработки, и др.

Тепловые ВЭР - это физическая теплота различных газов, выходящих из технологических агрегатов; физическая теплота основной, побочной и промежуточной продукции и отходов основного производства (например, раскаленный кокс, горячий агломерат, расплавленные шлаки и др.), физическая теплота рабочих тел, отработавших в технологических установках и системах их принудительного охлаждения.

ВЭР избыточного давления называют потенциальную энергию газов и жидкости, покидающих технологические агрегаты с давлением выше атмосферного, которое необходимо снижать перед последующей ступенью использования или при выбросе в атмосферу (например, избыточное давление доменного газа, используемое в специальных газовых турбинах).

Различают четыре основных направления использования ВЭР: топливное

(горючие компоненты применяют непосредственно в качестве топлива); тепловое (использование теплоты или холода, вырабатываемых за счет ВЭР, соответственно в утилизационных установках или в абсорбционных холодильных установках, а также использование теплоты, получаемой непосредственно в качестве ВЭР); силовое (использование механической или электрической энергии, вырабатываемой за счет ВЭР на утилизационных установках) и комбинированное (использование теплоты и электрической энергии, одновременно вырабатываемых на утилизационных установках).

Топливные ВЭР должны использоваться в качестве топлива полностью (на 100%). Возможное использование вторичных энергетических ресурсов, утилизируемых с преобразованием энергоносителя, определяется возможной выработкой электроэнергии в утилизационной установке.

Возможная выработка теплоты в виде пара или горячей воды в утилизационной установке за счет тепловых ВЭР в общем случае определяется выражением

$$Q_T = (G_1 h_1 - G_2 h_2) \beta_y (1 - \xi_y)$$

где G_1 и G_2 - количество энергоносителя соответственно на входе в утилизационную установку и на выходе из нее, кг/с; h_1 и h_2 энтальпии энергоносителя соответственно на выходе из технологического агрегата - источника ВЭР и на выходе из утилизационной установки, кДж/кг; β_y - коэффициент, учитывающий несоответствие режима числа часов работы, утилизационной установки и агрегата - источника ВЭР; ξ_y - коэффициент потерь теплоты утилизационной установки в окружающую среду.

Энергетическую эффективность применения ВЭР оценивают экономией топлива, получающейся в той энергетической установке (ТЭЦ, котельная), которую замещает рассматриваемая утилизационная установка.

Возможная экономия условного топлива, кг, за счет использования ВЭР

$$\Delta B_{\text{ЭК}} = Q_T / (29300 \cdot \eta_{\text{ЗАМ}}),$$

где $\eta_{\text{ЗАМ}}$ - КПД замещаемой котельной установки.

Для сопоставления экономичности работы энергетических установок, использующих различные топлива, применяется понятие «условное топливо», теплота сгорания которого принята 29,3 МДж/кг. Пересчет расхода B , т/г, используемого топлива с теплотой сгорания Q_H^P кДж/кг, на условное топливо производится по формуле

$$B_{\text{УСЛ}} = B Q_H^P / (Q_H^P)_{\text{УСЛ}} = B Q_H^P / 29300,$$

где $B_{\text{УСЛ}}$ - расход условного топлива, т у. т./год.

Наибольшими тепловыми ВЭР располагают предприятия черной и цветной металлургии, химической, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, промышленности строительных материалов, газовой промышленности, тяжелого машиностроения и некоторых других отраслей народного хозяйства.

В утилизационных установках, использующих ВЭР, могут вырабатываться: водяной пар, горячая вода, электроэнергия, высокотемпературные теплоносители, охлажденная вода, горячий воздух, механическая энергия для непосредственного привода машин. От энерготехнологических утилизационных установок отличаются тем, что основной технологический процесс может осуществляться и без них.

Наиболее распространенными в различных отраслях народного хозяйства утилизационными установками являются котлы-утилизаторы, использующие высокопотенциальные дымовые газы промышленных печей и технологические газы химического производства, а также водяные экономайзеры для нагрева питательной воды котлов и воздухоподогреватели для нагрева дутьевого воздуха, использующие дымовые газы среднего потенциала с температурой 523 - 773 К. Котлы-утилизаторы обеспечивают большую экономию топлива путем генерирования энергетического и технологического пара, а также нагрева воды за счет использования вторичной теплоты. Утилизация ВЭР осуществляется и в сушильных установках, холодильных и расширительных машинах и других установках.

Программа работы

1. Рассчитать количество вырабатываемой теплоты в котле-утилизаторе (кДж/с) и возможную экономию условного топлива (кг/с).
2. Определить годовое количество вырабатываемой теплоты в котле-утилизаторе (ГДж) и возможную годовую экономию условного топлива (т у.т.).
3. Определить годовую экономию топлива по заданной низшей теплоте сгорания топлива (т).

Содержание отчета

1. Ф.И.О. студента, номер группы, вариант задания
2. Исходные данные в соответствии с индивидуальным вариантом
3. Программа работы
4. Расчет
5. Результаты расчета

Контрольные вопросы

1. Что называют вторичными энергетическими ресурсами? Как они классифицируются по виду энергии?
2. Какие основные направления использования вторичных энергоресурсов?
3. Как определить возможную выработку теплоты и экономию топлива в утилизационной установке?
5. Что такое утилизационные установки (котлы-утилизаторы) и где они применяются?

Контрольная работа № 4 Котельные установки. Тепловой баланс и КПД котла.

Краткие сведения из теории и расчетные формулы

В энергетике основным теплоносителем является вода или водяной пар. Котельная установка - комплекс устройств и агрегатов, обеспечивающих получение горячей воды или водяного пара под давлением.

Котельная установка состоит из котла и вспомогательного оборудования.

Котел - устройство для получения горячей воды или водяного пара с давлением выше атмосферного за счет теплоты сгорания органического топлива.

Котлы бывают паровые и водогрейные. По назначению они делятся на отопительные, промышленные и энергетические. Пар или вода, получаемые в отопительных котлах, используются для отопления, в промышленных котлах - для промышленных нужд. Котлы также классифицируются по паро- и теплопроизводительности, по параметрам пара и другим признакам.

В качестве топлива в котельных установках используется каменный уголь, газ, мазут.

Экономичность работы котла определяется степенью совершенствования организации процесса горения топлива и передачи теплоты от продуктов сгорания теплоносителю. Количество теплоты, которое может выделиться при полном сжигании 1 кг или 1 м³ топлива называют располагаемой теплотой Q_P^P .

В ориентировочных расчетах принимают $Q_P^P = Q_H^P$. Количество теплоты, которое воспринимается в котле теплоносителем, в расчете на 1 кг или 1 м³ сжигаемого топлива называют полезно используемой теплотой Q_1 .

Для установившегося режима работы котла уравнение теплового баланса сжигаемого топлива имеет вид

$$Q_P^P = Q_1 + \sum Q_{\text{пот}}$$

или в процентах от Q_P^P

$$100 = q_1 + \sum q_{\text{пот}}$$

где $\sum Q_{\text{пот}}$ - энергетические потери в котле, кДж/кг или кДж/м³;

$\sum q_{\text{пот}} = (\sum Q_{\text{пот}}/Q_P^P) \cdot 100$ - удельные энергетические потери, %.

Энергетические потери $\sum q_{\text{пот}}$ складываются из потерь теплоты с уходящими газами q_2 , химическими q_3 и механическими q_4 недожогами топлива, в окружающую среду q_5 и с физической теплотой шлаков q_6 .

$$\sum q_{\text{пот}} = q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6,$$

Коэффициент полезного действия брутто котла

$$\eta_k^{\text{бр}} = Q_1/Q_P^P \text{ или } \eta_k^{\text{бр}} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6)$$

Коэффициент полезного действия нетто котла

$$\eta_k^{\text{н}} = \eta_k^{\text{бр}} - \Delta\eta_c$$

где $\Delta\eta_c$ - доля затрат на собственные нужды котла, %.

Зная КПД котла брутто, можно определить расход натурального топлива на котел

$$B = (G_o (h_2 - h_1)) / (Q_p^p \eta_k^{bp}),$$

где G_o - расход теплоносителя, кг/ч;

h_1, h_2 - энтальпия теплоносителя на входе и выходе из котла, кДж/кг

B - расход топлива, кг/ч или м³/ч.

Для сопоставления экономичности работы энергетических установок, использующих различные топлива, применяется понятие «условное топливо», теплота сгорания которого принята 29300 кДж/кг. Пересчет расхода B используемого топлива с теплотой сгорания Q_H^p на условное топливо производится по формуле

$$B_{усл} = B Q_H^p / (Q_H^p)_{усл} = B Q_H^p / 29300,$$

где $B_{усл}$ - расход условного топлива, кг. у. т.

Программа работы

1. Рассчитать коэффициент полезного действия брутто котла (%) и расход топлива на котел (кг/ч).
2. Для данного котла определить количество полезной теплоты (кДж/кг), энергетические потери в котле (кДж/кг) и КПД котла нетто (%).

Содержание отчета

1. Ф.И.О. студента, номер группы, вариант задания
2. Исходные данные в соответствии с индивидуальным вариантом
3. Программа работы
4. Расчет
5. Результаты расчета

Контрольные вопросы

1. Как классифицируются котлы? Как происходит подача топлива в котел?
2. В каких элементах котла происходит образование пара из питательной воды?
3. В каких элементах котла происходит движение продуктов сгорания топлива?
4. Приведите уравнение теплового баланса котла. Дайте характеристику его составляющих. В чем различие КПД котла брутто и нетто?
5. Как определяется расход натурального и условного топлива?

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Таблица 1 - Варианты заданий и исходные данные для контрольных работ №1, №2

Номер варианта	Топливо		Кол. топл. м ³ /ч (кг/ч)	Номер варианта	Топливо		Кол. топл. м ³ /ч (кг/ч)
	наименование	№			наименование	№	
1	кам. уголь	1	500	36	бурый уголь	8	4000
2	торф	1	1000	37	гор. сланцы	10	750
3	бурый уголь	1	1500	38	кам. уголь	10	1250
4	гор. сланцы	1	2000	39	торф	10	1750
5	кам. уголь	2	3500	40	бурый уголь	9	2250
6	торф	2	4000	41	гор. сланцы	11	2750
7	бурый уголь	2	750	42	кам. уголь	11	3250
8	гор. сланцы	2	1250	43	торф	11	3750
9	кам. уголь	3	1750	44	бурый уголь	10	600
10	торф	3	2250	45	гор. сланцы	12	1100
11	бурый уголь	3	2750	46	кам. уголь	12	1600
12	гор. сланцы	3	3250	47	торф	12	2100
13	кам. уголь	4	3750	48	антрацит	2	2600
14	торф	4	600	49	бурый уголь	11	3750
15	бурый уголь	4	1100	50	гор. сланцы	13	600
16	гор. сланцы	4	1600	51	кам. уголь	13	1100
17	кам. уголь	5	2100	52	торф	13	1600
18	торф	5	2600	53	бурый уголь	12	2100
19	бурый уголь	5	3100	54	гор. сланцы	14	2600
20	гор. сланцы	5	3600	55	кам. уголь	14	3100
21	кам. уголь	6	900	56	торф	14	3600
22	торф	6	1400	57	бурый уголь	13	900
23	антрацит	1	1900	58	гор. сланцы	15	1400
24	гор. сланцы	6	3400	59	кам. уголь	15	1900
25	гор. сланцы	7	3100	60	торф	15	3400
26	кам. уголь	7	3600	61	бурый уголь	14	500
27	торф	7	900	62	гор. сланцы	16	1000
28	бурый уголь	6	1400	63	кам. уголь	16	1500
29	гор. сланцы	8	1900	64	торф	16	2000
30	кам. уголь	8	3400	65	антрацит	3	3500
31	торф	8	500	66	гор. сланцы	17	4000
32	бурый уголь	7	1000	67	кам. уголь	17	750
33	гор. сланцы	9	1500	68	торф	17	1250
34	кам. уголь	9	2000	69	антрацит	4	1750
35	торф	9	3500	70	гор. сланцы	18	2250

Таблица 2 - Состав и характеристики бурого угля

Номер п.п.	Бассейн (месторождение) угля	Состав сухой беззольной массы, %					A ^c , %	W ^p , %
		S ^r	C ^r	H ^r	N ^r	O ^r		
1	Днепропетровский бассейн	4,9	66,9	5,7	0,7	21,8	22,5	54,6
2	Подмосковный бассейн	6,9	65,0	5,2	1,1	21,8	45,0	32,0
3	Челябинский бассейн	1,7	72,3	5,1	0,7	20,2	43,0	15,5
4	Южно-Уральский бассейн	1,3	66,2	6,3	0,8	25,4	30,0	52,0
5	Экибастузский бассейн	3,1	75,5	4,3	0,6	16,5	20,0	33,0
6	Майкобенский бассейн	0,9	75,0	5,0	1,0	18,1	30,0	23,5
7	Тургайский бассейн	3,0	70,1	5,1	1,2	20,6	23,0	37,0
8	Нижне-Илийское месторожден.	2,1	75,5	3,7	0,8	17,9	16,0	39,0
9	Месторождения Средней Азии	3,6	74,0	3,6	1,5	17,3	21,3	34,3
10	Канско-Ачинский бассейн	1,2	71,4	4,8	1,0	21,6	12,0	38,7
11	Минусинский бассейн	0,8	73,0	5,3	1,5	19,4	22,0	25,0
12	Угловский бассейн	0,7	70,5	5,6	1,4	21,8	42,0	21,0
13	Свердловское месторождение	1,6	67,3	4,7	0,6	25,8	34,0	44,5
14	Подмосковный бассейн	3,3	68,0	5,8	1,3	21,6	43,9	31,7

Таблица 3 - Состав и характеристики антрацита

Номер п.п.	Бассейн (месторождение) угля	Состав сухой беззольной массы, %					A ^c , %	W ^p , %
		S ^r	C ^r	H ^r	N ^r	O ^r		
1	Донецкий бассейн 1	1,8	92,8	1,8	0,8	2,8	35,0	9,0
2	Донецкий бассейн 2	2,0	92,3	1,8	0,8	3,1	43,0	9,0
3	Горловский бассейн	0,5	93,2	2,0	1,1	3,2	18,0	10,0
4	Кузнецкий бассейн	0,4	95,0	1,8	1,3	1,5	22,5	8,0

Таблица 4 - Состав и характеристики каменного угля

Номер п.п.	Бассейн (месторождение) угля	Состав сухой беззольной массы, %					A ^c , %	W ^p , %
		S ^r	C ^r	H ^r	N ^r	O ^r		
1	Донецкий бассейн	2,8	76,5	5,5	1,6	13,6	32,0	13,0
2	Львовско-Волынский бассейн	3,1	80,3	5,2	1,5	9,9	30,0	10,0
3	Печерский бассейн	2,8	75,3	4,8	2,6	14,5	32,5	11,5
4	Месторождения Кавказа	1,5	74,2	5,4	1,2	17,7	41,0	12,5
5	Кизеловский бассейн	5,9	81,0	5,7	1,0	6,4	34,0	6,0
6	Маймодемский бассейн	0,9	74,2	5,0	1,0	18,9	30,0	23,5
7	Карагандинский бассейн	1,5	77,8	5,2	1,4	14,1	41,0	8,5
8	Экибастузский бассейн	1,1	78,7	5,3	1,7	13,2	45,0	6,0
9	Месторождения Средней Азии	1,3	73,6	5,1	1,1	18,9	31,6	14,6
10	Кузнецкий бассейн	0,5	77,7	5,5	2,6	13,7	18,0	11,5
11	Иркутский бассейн	1,6	77,0	5,6	1,6	14,2	34,0	15,0
12	Минусинский бассейн	0,8	75,5	5,1	2,0	16,6	20,0	14,0
13	Улукхемский бассейн	0,5	80,5	5,9	1,3	11,8	15,0	5,0
14	Донецкий бассейн	3,8	75,5	5,5	1,6	13,6	30,0	15,0
15	Львовско-Волынский бассейн	4,1	79,3	5,2	1,5	9,9	28,0	12,0
16	Печерский бассейн	3,8	74,3	4,8	2,6	14,5	30,5	13,5
17	Месторождения Кавказа	2,5	73,2	5,4	1,2	17,7	39,0	14,5
18	Кизеловский бассейн	4,9	82,0	5,7	1,0	6,4	32,0	8,0

Таблица 5 - Состав и характеристики торфа

Номер п.п.	Бассейн (месторождение) угля	Состав сухой беззольной массы, %					A ^c , %	W ^p , %
		S ^r	C ^r	H ^r	N ^r	O ^r		
1	Ярославское	0,3	56,5	6,0	2,5	34,7	12,5	50,0
2	Ленинградское	0,3	57,1	6,0	2,5	34,1	11,3	48,0
3	Горьковское	0,2	58,0	6,0	1,1	34,7	14,2	45,5
4	Ивановское	0,3	56,5	5,9	1,9	35,4	13,3	47,2
5	Владимирское	0,3	57,7	6,0	3,1	32,9	9,6	48,1
6	Вологодское	0,3	56,9	6,1	2,4	34,3	15,0	47,9
7	Калининское	0,4	58,2	5,5	2,3	33,6	10,0	48,6
8	Кировское	0,6	58,1	5,9	2,8	32,6	11,5	46,7
9	Ореховское	0,3	59,5	5,9	1,9	32,4	13,2	47,8
10	Шатурское	0,3	57,7	6,0	3,6	32,4	11,0	48,3
11	Ярославское	0,3	57,2	5,8	3,5	33,2	10,7	49,4
12	Тюменское	0,4	54,0	5,9	3,4	36,3	15,0	47,0
13	Смоленское	0,3	55,3	5,7	2,5	36,2	12,0	47,9
14	Горьковское	0,2	58,9	5,6	1,0	34,3	13,9	46,2
15	Ивановское	0,2	57,7	5,7	1,8	34,6	14,2	46,9
16	Владимирское	0,3	56,9	5,8	3,3	33,7	10,4	47,5
17	Вологодское	0,3	58,0	6,3	2,6	32,8	14,7	48,3
18	Калининское	0,4	59,4	5,7	2,1	32,4	10,8	47,8

Таблица 6 - Состав и характеристики горючих сланцев

Номер п.п.	Бассейн (месторождение) угля	Состав сухой беззольной массы, %					A ^c , %	W ^p , %
		S ^r	C ^r	H ^r	N ^r	O ^r		
	Этосланец:							
1	шахта 1	4,4	65,5	8,2	0,3	21,6	49,35	7,6
2	шахта 2	4,2	66,2	8,1	0,1	21,4	49,5	11,4
3	шахта 3	4,4	68,5	8,2	0,2	18,7	50,0	10,7
4	шахта 4	4,2	70,4	8,9	0,3	16,2	51,55	12,2
5	шахта 5	4,5	72,7	9,1	0,7	13,0	50,0	10,2
6	шахта 6	4,4	73,3	8,9	0,8	12,6	52,9	11,5
7	шахта 7	4,2	67,1	8,0	0,3	20,4	48,9	10,7
8	шахта 8	3,6	69,5	8,1	0,3	18,5	49,3	9,8
9	шахта 9	3,5	68,1	8,3	0,2	19,9	50,2	11,5
	Ленинградсланец:							
10	шахта 1	4,4	72,8	9,0	0,7	13,1	53,0	10,8
11	шахта 2	4,4	68,0	8,1	0,7	18,8	49,6	10,5
12	шахта 3	4,4	73,4	9,1	0,5	12,6	51,8	10,5
13	шахта 4	4,6	68,5	7,9	0,6	18,4	48,2	10,5
14	шахта 5	4,3	72,1	8,8	0,5	14,3	53,4	10,5
15	шахта 6	5,1	67,1	8,3	0,7	18,8	49,6	10,5
16	шахта 7	5,9	71,5	9,3	0,7	12,6	51,8	10,5
17	шахта 8	12,4	58,0	7,5	1,5	20,6	68,5	14,0
	Новые месторождения:							
18	Болтышское	4,6	64,5	9,1	1,5	20,3	67,0	32,0

Таблица 7 - Варианты заданий и исходные данные для контрольной работы №3

Номер варианта	Кол-во энергоносителя G ₁ =G ₂ , кг/с	КПД замещающей котельной установки	Энтальпия энергоносителя		Коэффициенты		Теплота сгорания, Q _н ^p МДж/кг	Время работы T _г , ч
			на входе h ₁ , кДж/кг	на выходе h ₂ , кДж/кг	Потеря теплоты	несоответствия		
1	2,1	0,81	13200	1750	0,07	0,97	31,7	2000
2	5,2	0,90	13000	1930	0,08	0,99	29,9	2500
3	1,3	0,91	11400	2140	0,04	0,94	33,4	2200
4	4,9	0,83	12400	2340	0,05	0,95	36,5	3800
5	7,4	0,92	14450	2050	0,06	0,91	9,1	4100
6	3,3	0,91	15500	2150	0,1	0,90	7,9	3700
7	2,9	0,77	11100	2250	0,05	0,92	10,9	2300
8	3,1	0,82	12200	2190	0,09	0,98	20,8	4600
9	4,6	0,85	12450	1880	0,07	0,93	11,3	4900
10	5,2	0,81	11300	1740	0,02	0,94	10,4	3100
11	7,4	0,78	14100	2150	0,03	0,98	8,8	3900
12	2,2	0,81	13600	2210	0,06	0,91	15,1	3000
13	1,3	0,79	12600	2350	0,1	0,96	14,6	2200
14	0,9	0,82	13100	1810	0,04	1,00	41,0	2600
15	1,6	0,90	14450	2360	0,08	0,95	38,5	2800
16	7,1	0,92	12500	2160	0,11	0,99	37,2	2900
17	6,4	0,96	15500	2360	0,09	0,92	41,1	3400
18	4,3	0,86	14900	1990	0,03	1,00	40,5	3300
19	2,2	0,91	12700	1670	0,02	0,94	10,4	2700
20	1,0	0,88	14150	2340	0,08	0,96	14,6	2500
21	2,8	0,94	13100	1750	0,04	0,91	42,5	4200
22	1,7	0,90	13950	2220	0,07	0,90	38,7	4500
23	4,5	0,94	14200	1920	0,06	0,92	41,4	4900
24	3,2	0,9	12300	2310	0,05	0,95	39,5	4700
25	8,3	0,77	15400	1800	0,04	1,0	10,6	5500

Продолжение таблицы 7

Номер варианта	Кол-во энергоносителя $G_1=G_2$, кг/с	КПД замещающей котельной установки	Энтальпия энергоносителя		Коэффициенты		Теплота сгорания, $Q_{н^p}$ МДж/кг	Время работы T_r , ч
			на входе h_1 , кДж/кг	на выходе h_2 , кДж/кг	Потеря теплоты	несоответствия		
26	2,7	0,81	12500	1550	0,06	0,95	12,5	5600
27	4,1	0,83	10300	2700	0,1	0,92	22,2	5700
28	0,5	0,91	11500	2100	0,03	0,91	14,1	5900
29	0,2	0,75	15650	2350	0,05	0,9	35,3	6300
30	1,4	0,80	14600	2550	0,11	0,93	8,3	6400
31	0,08	0,84	10000	2400	0,09	0,95	15,5	6500
32	5,2	0,88	14200	2000	0,07	0,97	35,7	5800
33	7,8	0,79	13450	1450	0,01	1,0	39,2	5400
34	0,1	0,78	12300	1950	0,04	0,99	11,9	5300
35	2,5	0,82	10700	2300	0,05	0,98	10,8	5100
36	2,9	0,90	12200	2500	0,07	1,0	20,0	5000
37	6,6	0,85	13350	2700	0,09	0,9	21,9	6600
38	0,7	0,76	14400	1650	0,02	0,94	15,4	6700
39	3,8	0,91	13650	2800	0,04	0,92	13,2	6900
40	0,09	0,81	12800	2250	0,10	0,97	12,7	6800
41	1,6	0,87	11500	2100	0,05	0,99	32,9	6000
42	5,7	0,77	12400	1600	0,07	0,91	29,1	6500
43	3,9	0,82	15400	1880	0,08	1,0	22,2	5200
44	7,4	0,92	13250	2150	0,03	0,98	18,8	7400
45	6,3	0,88	14300	1900	0,05	0,97	21,7	7500
46	3,8	0,81	12500	2550	0,04	0,95	12,5	7300
47	5,1	0,76	13300	2220	0,06	0,94	14,3	6100
48	6,4	0,79	13500	2300	0,07	0,93	15,7	6500
49	4,1	0,76	12200	2350	0,02	1,00	14,6	3200
50	2,2	0,81	13100	1740	0,03	0,99	39,2	4300
51	3,4	0,94	14600	1820	0,05	0,9	10,8	5600
52	2,1	0,75	15150	1980	0,07	0,91	35,7	7400
53	1,5	0,80	14200	2000	0,04	0,94	22,2	3500
54	1,9	0,89	14350	2100	0,06	0,96	10,4	2700
55	3,0	0,78	14600	2150	0,08	0,95	38,7	6800
56	3,2	0,90	15400	2300	0,09	0,92	42,5	8000
57	4,1	0,86	11750	1750	0,1	0,93	15,1	7100
58	5,0	0,88	12000	1810	0,04	0,94	16,0	5000
59	4,8	0,91	12350	1890	0,03	0,98	20,0	3100
60	3,6	0,92	12700	1900	0,02	0,97	21,9	4000
61	4,9	0,82	14250	1930	0,08	0,95	36,5	3800
62	5,1	0,84	14000	1970	0,11	0,92	31,7	5900
63	5,4	0,93	14650	2020	0,05	0,94	33,4	3400
64	1,4	0,85	15300	2050	0,07	0,99	9,1	2000
65	2,3	0,79	15450	2060	0,09	0,95	37,2	3700
66	2,1	0,77	11800	2070	0,1	0,91	12,3	7300
67	2,9	0,90	11950	2080	0,02	0,96	32,9	5900
68	3,5	0,93	12100	1800	0,03	0,92	18,8	2700
69	4,5	0,95	12250	1910	0,08	1,00	14,1	4700
70	5,2	0,75	12650	1900	0,07	0,98	8,8	6100

Таблица 8 - Варианты заданий и исходные данные для контрольной работы №4

№ вар.	Теплота сгорания используемого топлива $Q_{н\ p}$, кДж/кг	Собств. нужды котла, %	Паро-производительность G_0 , т/ч	Потери теплоты, %					Энтальпия пара $h_{п\ e}$, кДж/кг	Энтальпия питательной воды $h_{п\ в}$, кДж/кг
				q_2	q_3	q_4	q_5	q_6		
1	38090	1,5	220	6,1	0,1	1,3	0,5	0,1	3476,4	943,7
2	37797	4,0	260	5,2	0,4	2,0	0,5	0,2	3483,2	1086,1
3	37504	3,2	420	6,3	0,0	4,0	0,3	0,0	3469,1	1183,5
4	37211	3,8	480	4,8	0,2	2,1	0,3	0,1	3483,2	897,6
5	36918	2,2	500	8,2	0,3	1,6	0,3	0,2	3497,8	1001,4
6	36625	1,7	300	5,9	0,5	2,2	0,6	0,0	3491,3	1086,1
7	36332	5,0	110	8,3	0,2	1,5	0,6	0,1	3397,4	1037,5
8	36039	0,9	50	3,3	0,4	1,7	0,5	0,0	3250,3	852,4
9	35746	3,1	270	5,5	0,5	2,9	0,5	0,0	3484,1	1098,6
10	35453	2,6	200	6,7	0,2	3,3	0,3	0,2	3469,8	943,7
11	35160	1,4	640	4,4	0,1	1,6	0,3	0,0	3498,8	990,2
12	34867	1,9	800	7,2	0,1	1,7	0,1	0,1	3469,4	1097,1
13	34574	2,8	950	8,1	0,0	1,1	0,2	0,2	3484,1	1185,3
14	34281	3,3	1100	7,5	0,5	2,6	0,1	0,1	3483,3	1155,2
15	33988	4,7	1600	7,9	0,1	2,0	0,2	0,2	3297,4	1236,4
16	33695	2,1	100	5,9	0,5	1,5	0,8	0,0	3298,1	943,7
17	33402	1,3	75	4,8	0,5	1,0	0,6	0,0	3276,4	897,6
18	33109	4,1	400	6,4	0,1	2,2	0,4	0,1	3459,4	1135,0
19	32816	1,6	630	6,8	0,5	1,7	0,3	0,2	3476,4	943,7
20	32523	1,1	270	6,1	0,2	4,6	0,5	0,0	3476,4	943,7
21	32230	5,2	290	4,7	0,4	4,1	0,3	0,1	3395,6	1184,6
22	31937	3,8	570	5,3	0,6	1,8	0,2	0,2	3364,6	950,7
23	31644	3,9	320	4,5	0,2	3,4	0,3	0,1	3351,2	950,8
24	31351	4,0	340	4,7	0,3	2,7	0,4	0,2	3370,5	947,3
25	31058	3,6	360	4,3	0,2	2,1	0,2	0,2	3550,6	982,4
26	30765	2,4	450	2,4	0,0	1,2	0,4	0,0	3480,5	1113,5
27	30472	1,9	480	4,9	0,1	3,3	0,2	0,1	3377,5	1076,4
28	30179	0,8	370	4,1	0,3	1,7	0,1	0,2	3522,4	903,5
29	29886	1,3	540	3,5	0,2	1,9	0,2	0,1	3547,6	1124,5
30	29593	2,8	380	4,7	0,4	2,4	0,7	0,1	3597,7	1173,2
31	29300	3,6	220	6,2	0,1	1,1	0,4	0,0	3485,5	1147,8
32	29007	2,5	120	3,6	0,3	1,4	0,5	0,1	3435,2	863,6
33	28714	1,8	190	5,8	0,5	2,3	0,6	0,2	3463,3	1111,2
34	28421	0,9	270	6,1	0,3	2,8	0,5	0,1	3473,5	932,2
35	28128	3,8	550	4,8	0,4	1,5	0,2	0,1	3598,2	979,8
36	27835	2,4	770	6,2	0,2	1,2	0,3	0,2	3444,4	1117,3
37	27542	1,5	890	5,4	0,1	1,8	0,1	0,1	3523,6	1176,8
38	27249	0,7	980	4,3	0,4	2,3	0,2	0,2	3531,5	1167,1
39	26956	2,9	1400	6,8	0,3	2,0	0,6	0,1	3300,5	1221,2
40	26663	4,4	180	4,7	0,6	1,5	0,5	0,1	3235,8	952,2
41	26370	3,9	150	4,1	0,1	1,7	0,3	0,2	3331,2	900,7
42	26077	2,7	460	5,3	0,2	2,4	0,2	0,0	3555,5	1133,3
43	25784	3,1	570	3,9	0,4	1,9	0,5	0,0	3443,3	948,8
44	25491	4,2	480	5,2	0,3	2,2	0,4	0,1	3477,7	950,5
45	25198	2,2	370	2,9	0,6	3,1	0,2	0,0	3495,4	1136,7
46	24905	4,9	490	5,2	0,4	1,7	0,3	0,1	3565,9	965,6

Продолжение таблицы 8

47	24612	4,8	420	5,1	0,1	2,3	0,1	0,0	3451,6	980,5
48	24319	4,7	415	3,4	0,0	2,5	0,1	0,1	3389,8	1110,4
49	24026	0,8	270	4,7	0,4	1,7	0,3	0,1	3300,5	948,8
50	23733	4,2	230	3,5	0,5	2,5	0,6	0,1	3444,4	1133,3
51	23440	3,7	340	6,8	0,3	2,4	0,4	0,0	3235,8	1221,2
52	23147	2,1	560	4,1	0,1	1,4	0,2	0,2	3342,1	1112,8
53	22854	2,7	720	5,3	0,2	1,9	0,5	0,2	3350,2	1155,2
54	22561	2,8	810	6,1	0,0	1,8	0,7	0,0	3348,9	1137,8
55	22268	4,5	600	3,6	0,3	1,3	0,6	0,0	3368,2	1125,3
56	21975	3,2	920	3,9	0,4	1,6	0,5	0,2	3340,5	1118,4
57	21682	3,6	840	5,9	0,6	1,2	0,4	0,1	3344,8	1100,1
58	21389	2,5	590	6,5	0,5	1,7	0,1	0,2	3425,1	1120,5
59	21096	2,8	550	6,4	0,2	1,5	0,2	0,2	3446,2	1125,4
60	20803	3,9	350	6,3	0,3	1,3	0,4	0,0	3451,8	1128,3
61	20510	4,7	380	6,2	0,1	1,9	0,7	0,1	3430,5	1045,4
62	20217	4,9	440	6,1	0,4	2,2	0,3	0,2	3462,4	1049,3
63	19924	0,8	400	7,2	0,6	2,4	0,5	0,1	3565,9	1050,5
64	19631	4,6	410	7,4	0,5	2,3	0,4	0,1	3521,2	1064,9
65	19338	4,1	460	7,5	0,2	2,1	0,6	0,2	3525,3	1068,8
66	19045	2,2	500	7,6	0,6	2,6	0,2	0,2	3529,5	1071,1
67	18752	2,3	510	7,7	0,1	2,4	0,1	0,0	3530,6	1082,5
68	18459	2,6	570	7,8	0,3	2,8	0,2	0,0	3541,3	1094,4
69	18166	2,5	1100	7,9	0,4	2,5	0,3	0,1	3325,9	1083,5
70	17873	2,7	150	8,2	0,5	2,9	0,5	0,2	3282,1	1185,6

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вагин, Г.Я. Энергетические ресурсы и установки: учеб. пособие / Г.Я. Вагин, А.Б. Лоскутов; НГТУ, Н.Новгород, 1996.
2. Арсеньев, Г.В. Энергетические установки: учебник для вузов по спец. "Электроснабжение" / Г.В. Арсеньев. - М.: Высшая школа, 1991.
3. Поршаков, Б.П. Основы термодинамики и теплотехники / Б.П. Поршаков, Б.А. Романов. - М.: Недра, 1988.
4. Быстрицкий, Г.Ф. Общая энергетика: Учеб. пособие для сред. проф. образования: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Г.Ф. Быстрицкий. - М.: ИЦ "Академия", 2005.
5. Соснина, Е.Н. Общая энергетика. Комплекс учебно-методических материалов / Е.Н. Соснина. - Н.Новгород: НГТУ, 2008.
6. Шалаев, С.А. Энергетические ресурсы и установки: Методические указания к лабораторным работам для студентов специальности 10.04 - Н.Новгород: НГТУ, 1998.