

## **МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра охраны труда и окружающей среды



## **Круговорот кислорода Загрязнение атмосферы при сжигании топлива**

Методические указания к проведению практических занятий по дисциплинам «Общая экология», «Экология», «Биология с основами экологии», «Информационная экология», «Экология Курского края», «Урбоэкология», для студентов всех специальностей и направлений очной и заочной формы обучения

Курск 2019

УДК 504

Составители: О.И. Белякова, Т.Э. Гречаниченко

Рецензент

Кандидат химических наук, доцент *В.В. Протасов*

**Круговорот кислорода. Загрязнение атмосферы при сжигании топлива:** методические указания к проведению практических занятий по дисциплинам «Общая экология», «Экология», «Биология с основами экологии», «Информационная экология», «Экология Курского края», «Урбоэкология» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: О.И. Белякова, Т.Э. Гречаниченко. Курск, 2019. 20 с.: ил. 2. Библиогр.: с. 11.

Представлены материальные потоки веществ при сжигании газообразного топлива, а также материальные балансы веществ при сжигании твердого и жидкого топлива.

Предназначены для студентов всех специальностей и направлений очной и заочной формы обучения, изучающих дисциплины «Общая экология», «Экология», «Биология с основами экологии», «Информационная экология», «Экология Курского края», «Урбоэкология».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 20.02.19. Формат 60x84 1/16.  
Усл. печ. л. 0,81. Уч.-изд.л. 0,74. Тираж 50 экз. Заказ 112. Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## Занятие № 1. Твердое и жидкое топливо

**Цель занятия:** Изучить материальные балансы веществ при сжигании твердого и жидкого топлива.

### **Общие положения**

Органическим топливом называют горючие вещества, способные активно вступать в реакцию с кислородом и обладающие значительным удельным тепловыделением (на единицу массы или объема). Образование органического топлива является результатом теплового, механического и биологического воздействия в течение многих столетий на останки растительного и животного мира, откладывающиеся во всех геологических формациях. Всё это топливо имеет углеродную основу, и энергия высвобождается из него, главным образом, в процессе образования диоксида углерода.

К энергетическим видам топлив относятся такие, которые экономически целесообразно использовать для получения больших количеств теплоты. Запасы их должны быть огромны и относительно легко доступны для массового использования. Кроме того, они не должны являться ценным сырьем для других отраслей промышленности. В качестве энергетических топлив электростанций наибольшее значение имеют: твердое — каменные и бурые, угли и отходы их переработки, антрацит и полуантрацит; жидкое — мазут; газовое — природный газ. В меньшей мере используются торф и горючие сланцы, стабилизированная нефть и горючие газы промышленности (доменный, коксовый), хотя в отдельных районах страны они составляют заметную часть топливного баланса.

Из общего потребления органического топлива в нашей стране около 40% приходится на долю энергетики. В топливном балансе тепловых электростанций преимущество имеют угли, мазут и природный газ. Доля сжигаемого угля на ТЭС возрастает за счет использования угольных месторождений Сибири. Примерно на таком же уровне находится использование мазута и природного газа. На остальные виды твердого топлива — торф, сланцы приходится всего 6—7% общего расхода топлива электростанциями. Ускоренное развитие получит добыча углей в новых месторождениях более дешевым способом — открытым.

Все ископаемые — твердые топлива и нефть получились в процессе длительного преобразования исходной растительной массы и отмерших животных организмов под слоем земли или воды, причем этот процесс протекал с различной скоростью в направлении постепенного обуглероживания (углефикации) топлива, т. е. повышения в нем содержания углерода и уменьшения количества кислорода и водорода. В природе существуют различные виды твердого топлива, отличающиеся разнообразным составом и свойствами. Твердое топливо в основном образуется из высокоорганизованных растений — древесины, листьев, хвои и т. п. Отмершие части высокоорганизованных растений разрушаются грибами при свободном доступе воздуха и превращаются в торф — рыхлую, расплывчатую массу перегноя, так называемых гуминовых кислот. Скопление торфа переходит в бурую массу, а затем в бурый уголь. В дальнейшем под воздействием высокого давления и повышенной температуры бурые угли подвергаются последующим превращениям, переходя в каменные угли, а затем в антрацит.

Горючие сланцы - это горные породы, на 15-40% состоящие из продуктов

разложения водорослей и живых организмов. Если этого вещества более 40%, то горючий сланец уже называется сапропелитом, или сапропелевым углем. Образовались сланцы в озёрах и приморских лагунах (мелководных заливах, отделённых от моря полосами песка). Нередко в них встречаются превращённые в уголь остатки высших растений.

Сырая нефть является смесью органических соединений и включает в себя небольшое количество жидких сернистых и азотных соединений, парафинов и смол. После извлечения легких фракций и масел (бензина, лигроина, керосина, газойля, солярового масла) остаются сильновязкие тяжелые фракции — мазут, который и используется как энергетическое жидкое топливо. При этом минеральные примеси, входящие в нефть, концентрируются в мазуте.

Топливо в том виде, в котором оно добыто, включает в себя органическую массу и балласт. Органической массой топлива считают ту часть, которая произошла из органических веществ: углерода, водорода, кислорода и азота; в балласт включают серу, минеральные примеси — золу и влагу топлива:

Твердое и жидкое топливо состоит из углерода С, водорода Н, органической серы  $S_0$  и горючей колчеданной серы  $S_K$ , кислорода О и азота N, находящихся в виде сложных соединений. Кроме указанных элементов твердого и жидкого топлива, составляющих *горючую массу топлива*, в состав топлива входит еще балласт — вода и зола.

Состав рабочей массы топлива значительно зависит от величины балласта, поэтому чаще всего приводятся данные по составу горючей массы топлива, которая более стабильна для топлива каждого вида и месторождения (табл. 1).

Углерод и водород — самые ценные части топлива.

**Углерод** содержится в значительном количестве в топливе всех видов: древесине и торфе 50 — 58%, в бурых и каменных углях 65-80%, в тощих углях и антрацитах 90-95%, в сланцах 61 — 73%, в мазуте 84—87%. Чем больше углерода в топливе, тем больше топливо выделяет тепла при сгорании.

**Водород** является второй важнейшей частью каждого топлива. В топливе водород частично находится в связанном с кислородом виде, составляя внутреннюю влагу топлива, вследствие чего понижается тепловая ценность топлива. Водород играет большую роль в образовании летучих веществ, выделяющихся при нагревании топлива без доступа воздуха. В состав летучих водород входит в чистом виде и в виде углеводородных и других органических соединений. Содержание водорода в горючей массе твердых и жидких топлив колеблется от 2 до 10%. Много водорода содержится в природном газе, мазуте и горючих сланцах, меньше всего в антраците.

**Кислород** содержащийся в твердом топливе, является балластом. Не будучи теплообразующим элементом и связывая водород топлива, кислород снижает теплоту его сгорания. Содержание кислорода в органической массе топлива с его возрастом снижается с 41% для древесины до 2,2% для антрацита.

**Азот** также является балластной инертной составляющей твердого топлива, снижающей процентное содержание в нем горючих элементов. При сгорании топлива азот в продуктах сгорания содержится как в свободном виде, так и в виде окислов азота  $NO_x$ . Окислы азота относятся к вредным составляющим продуктов сгорания, количество которых должно быть лимитировано.

**Сера** содержится в твердом топливе в виде органических соединений и

колчедана, объединяемых в летучую серу. Кроме того, сера входит в состав топлива в виде сернистых солей - сульфатов (например, гипса  $\text{CaSO}_2$ ), не способных гореть. Сульфатную серу принято относить к золе топлива. Высокое содержание серы приводит к сильному загрязнению продуктов сгорания топлива сернистым ангидридом  $\text{SO}_2$ . При наличии избыточного воздуха происходит частичное окисление  $\text{SO}_2$  до  $\text{SO}_3$  (соединяясь с  $\text{H}_2\text{O}$ , образуют  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).  $\text{H}_2\text{SO}_4$  вызывает коррозию поверхности нагрева, разрушает металл котельного оборудования, попадая в атмосферу, вредно действуют на живые организмы и растительность. Сернистые газы, проникая в рабочие помещения, могут вызвать отравление обслуживающего персонала. Поэтому сера — крайне нежелательный элемент для топлива.

Зола топлива представляет собой балластную смесь различных минеральных веществ, остающихся после полного сгорания всей горючей части топлива. Зола топлива влияет на качество сгорания топлива отрицательно. Зола образуется из минеральных веществ, содержащихся в растениях, заносится с землей и песком в период пластообразования и попадает в топливо во время его добычи, хранения или транспортировки.

Влага топлива складывается из внешней, или механической, вызванной поверхностным увлажнением кусков топлива и заполнением влагой пор и капилляров, и равновесной, называемой гигроскопической, которая устанавливается в материале при длительном соприкосновении с окружающим воздухом.

Кокс производится из каменного и бурого угля и угольных смесей в особых печах при температуре приблизительно  $1200^\circ\text{C}$ , при которой происходит их дегазация. Дегазацией называется процесс удаления газообразных компонентов из твердых материалов в герметичных нагревательных камерах.

Каменный уголь, брикеты бурого угля, кокс и древесный уголь представляют собой очищенное твердое топливо. Брикеты изготавливаются из раздробленного и высушенного каменного или бурого угля в специальных прессах. Брикеты могут иметь различные формы.

Основными компонентами, выбрасываемыми в атмосферу при сжигании различных видов топлива в энергоустановках, являются диоксид углерода  $\text{CO}_2$  и водяной пар  $\text{H}_2\text{O}$ . Однако в атмосферу выбрасываются и другие вредные вещества: продукты неполного сгорания топлива - оксид углерода, сажа, углеводороды, в том числе канцерогенный бенз(а)пирен  $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$ , несгоревшие частицы твердого топлива, зола и прочие механические примеси; оксиды серы  $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$ , азота и свинца  $\text{PbO}$ .

При сжигании твердого топлива образуется большое количество золы и диоксида серы. Так, например, подмосковные угли имеют в своем составе 2,5-6,0% серы и до 30-50% золы. Дымовые газы, образующиеся при сжигании мазута, содержат оксиды азота, соединения ванадия и натрия, газообразные и твердые продукты неполного сгорания. Перевод установок на жидкое топливо существенно уменьшает золообразование, но практически не уменьшает выбросы  $\text{SO}_2$ , так как мазуты, применяемые в качестве топлива, содержат серу в количестве до 3-4,5% и более. При сжигании природного газа (неочищенного) в дымовых газах образуются диоксид серы и оксиды азота. Следует отметить, что наибольшее количество оксидов азота образуется при сжигании жидкого топлива.

Современная теплоэлектростанция мощностью 2,4 млн. кВт расходует до 20

тыс. т угля в сутки и выбрасывает в атмосферу в сутки 680 т  $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$  при содержании серы в топливе 1,7%; 200 т оксидов азота; 120-240 т твердых частиц (зола, пыль, сажа) при эффективности системы пылеулавливания 94-98%. Исследования показывают, что вблизи мощной теплоэлектростанции, выбрасывающей в сутки 280-360 т  $\text{SO}_2$ , максимальные концентрации ее с подветренной стороны составляют 0,3-4,9 мг/м<sup>3</sup> на расстоянии 200-500 м; 0,7-5,5 мг/м<sup>3</sup> на расстоянии 500-1000 м; 0,22-2,8 мг/м<sup>3</sup> на расстоянии 1000-2000 м.

### Расчет газовых выбросов при сжигании твердого и жидкого топлива

В таблице 1 приведен элементный состав основных видов твердого и жидкого органического топлива.

Таблица 1 Состав основных видов органического топлива

| Вид топлива | Состав горючей массы, % |    |      |     |     |
|-------------|-------------------------|----|------|-----|-----|
|             | С                       | Н  | О    | N   | S   |
| Древесина   | 51                      | 6  | 42.5 | 0.5 | -   |
| Торф        | 58                      | 6  | 33.0 | 2.5 | 0.5 |
| Бурый уголь | 71                      | 7  | 20.4 | 1.0 | 0.6 |
| Антрацит    | 90                      | 4  | 3.2  | 1.5 | 1.3 |
| Сланцы      | 70                      | 8  | 16.0 | 1.0 | 5.0 |
| Мазут       | 88                      | 10 | 0.5  | 0.5 | 1.0 |

Материальный баланс процесса горения выражает количественные соотношения между исходными веществами (топливо, воздух) и конечными продуктами (дымовые газы, зола, шлак).

Для расчетов материальных потоков веществ при сжигании топлива используются реакции горения его основных компонентов.

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| Реакция горения               | $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$            |
| Стехиометрические соотношения | 12 + 32 = 44<br>1 + 2,67 = 3,67                            |
| Реакция горения               | $\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}$           |
| Стехиометрические соотношения | 28+32 = 60<br>1 + 1.14 = 2.14                              |
| Реакция горения               | $\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2$            |
| Стехиометрические соотношения | 32 +32 = 64<br>1 + 1 = 2                                   |
| Реакция горения               | $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ |
| Стехиометрические соотношения | 4 + 32 = 36<br>1 + 8 = 9                                   |

Стехиометрические соотношения справедливы при любых единицах измерения. Они показывают, что при сжигании 1 грамма, килограмма или тонны углерода расходуется 2,67 грамма, килограмма или тонны кислорода и выделяется 3,67 грамма, килограмма или тонны углекислого газа. Аналогичный смысл имеют стехиометрические соотношения для других элементов органического топлива,

приведенных ниже.

Расчет массы кислорода  $M_{O_2}$ , необходимой для сжигания топлива, и количества образующихся при этом продуктов горения может быть произведен по следующим упрощенным формулам:

$$M_{O_2} = (2,67 \cdot C/100 + 8 \cdot H/100 + 1,14 \cdot N/100 + S/100 - O/100) M_{\text{топл}};$$

$$M_{CO_2} = (3,67 \cdot C/100) \cdot M_{\text{топл}};$$

$$M_{NO_x} = (2,14 \cdot N/100) \cdot M_{\text{топл}};$$

$$M_{SO_2} = (2 \cdot S/100) \cdot M_{\text{топл}};$$

$$M_{H_2O} = (9 \cdot H/100) M_{\text{топл}},$$

где C, H, N, S, O – процентное содержание углерода, водорода, азота, серы и кислорода в составе горючей массы сжигаемого вида топлива;  $M_{\text{топл}}$  – масса сжигаемого топлива.

При правильном расчете количеств веществ, участвующих в процессе горения органического топлива, в соответствии с законом сохранения масс, должно выполняться равенство:

$$M_{\text{топл}} + M_{O_2} = M_{CO_2} + M_{NO_x} + M_{SO_2} + M_{H_2O}.$$

### **Пример**

Построить материальный баланс веществ при сжигании 2 тыс.т древесины .

$$M_{O_2} = (2,67 \cdot 51/100 + 8 \cdot 6/100 + 1,14 \cdot 0,5/100 - 42,5/100) 2000 = (1,3617 + 0,48 + 0,0057 - 0,425) 2000 = 2844,8 \text{ т};$$

$$M_{CO_2} = (3,67 \cdot 51/100) \cdot 2000 = 3743,4 \text{ т};$$

$$M_{NO_x} = (2,14 \cdot 0,5/100) \cdot 2000 = 21,4 \text{ т};$$

$$M_{H_2O} = (9 \cdot 6/100) 2000 = 1080 \text{ т}.$$

Баланс веществ равен:

$$M_{\text{топл}} + M_{O_2} = 2000 + 2844,8 = 4844,8 \text{ т};$$

$$M_{CO_2} + M_{NO_x} + M_{H_2O} = 3743,4 + 21,4 + 1080 = 4844,8 \text{ т}.$$

### **Контрольные задания**

1. Построить балансы веществ при сжигании 1000 т различных видов топлива, приведенных в табл.1, и определить:

а) при сжигании какого топлива выделяется наибольшее количество оксида серы и углекислого газа;

б) при сжигании какого вида топлива требуется наибольшее количество кислорода.

2. Определите количество  $CO_2$  и паров воды, образующихся при сжигании 3400 т антрацита. Какая масса древесины (см. предыдущую работу) должна быть создана, чтобы поглотить это количество углекислого газа?

3. Какое количество воздуха расходуется при сжигании 1 т мазута, если содержание кислорода в атмосфере составляет 20.93%? На какое время хватит этого воздуха для дыхания одного человека (Потребление кислорода в состоянии покоя 12 л/час, масса 1 л кислорода при нормальных условиях 1,43 г, средняя продолжительность жизни 70 лет).

## Занятие № 2. Газообразное топливо

**Цель занятия:** Изучить материальные потоки веществ при сжигании газообразного топлива.

### *Общие положения*

Выбросы диоксида углерода по всему миру являются одной из основных причин потепления на земном шаре. Сжигаемое ископаемое топливо освобождает  $\text{CO}_2$ , аккумулированного растениями много миллионов лет назад, и повышает ее концентрацию в атмосфере выше естественного уровня. Сжигание ископаемого топлива обуславливает 75–90% всех антропогенных выбросов диоксида углерода.

Переход на промышленные виды топлива с низким выходом углерода (как, например, природный газ) понижает выбросы газов, создающих парниковый эффект, при достаточно высокой экономической эффективности, и такие переходы осуществляются во многих регионах.

Природный газ генерирует меньше  $\text{CO}_2$  при том же количестве вырабатываемой для снабжения энергии, чем уголь или нефть, поскольку он содержит больше водорода по отношению к углероду, чем другие виды топлива. Переход с ископаемых углей на природный газ при сохранении того же соотношения эффективности преобразования энергии топлива в электроэнергию сократил бы выбросы на 40%.

Выбросы в атмосферу при сжигании ископаемого топлива зависят не только от вида топлива, но от того, насколько эффективно оно используется. Газообразное топливо обычно сжигается легче и эффективнее, чем уголь или нефть. Утилизация сбросной теплоты от отходящих газов в случае природного газа осуществляется проще, так как топочный газ не загрязнен твердыми частицами или агрессивными соединениями серы. Благодаря химическому составу, простоте и эффективности использования природный газ может внести существенный вклад в снижение выбросов диоксида углерода путем замены им ископаемых видов топлив.

**Природный газ.** Большое значение в топливном балансе России имеют природные газы, представляющие собой смесь углеводородов, сероводорода и инертных газов: азота и углекислоты. Основной горючей составляющей природных газов является метан (от 80 до 98%), что обуславливает их высокую теплоту сгорания.

**Доменный газ** образуется при выплавке чугуна в доменных печах. Его выход и состав зависят от свойств топлива, режима работы печи, способов интенсификации процесса и других факторов. Выход газа колеблется в пределах 1500–2500 м<sup>3</sup> на тонну чугуна. Доля негорючих компонентов ( $\text{N}_2$  и  $\text{CO}_2$ ) в доменном газе составляет около 70%, что и обуславливает его низкие теплотехнические показатели.

**Ферросплавный газ** образуется при выплавке ферросплавов в рудовосстановительных печах. Газ, отходящий из закрытых печей, можно использовать в качестве топливных ВЭР (вторичные энергетические ресурсы). Состав газа: 50–90%  $\text{CO}$ , 2–8%  $\text{H}_2$ , 0,3–1%  $\text{CH}_4$ ,  $\text{O}_2 < 1\%$ , 2–5%  $\text{CO}_2$ , остальное  $\text{N}_2$ .

**Конвертерный газ** образуется при выплавке стали в кислородных конвертерах. Газ состоит в основном из оксида углерода, выход и состав его в течение плавки значительно изменяются. После очистки состав газа примерно таков: 70–80%  $\text{CO}$ ; 15–20%  $\text{CO}_2$ ; 0,5–0,8%  $\text{O}_2$ ; 3–12%  $\text{N}_2$ .



**Коксовый газ** образуется при коксовании угольной шихты. В чёрной металлургии он используется после извлечения химических продуктов. Объёмные доли компонентов в газе находятся в следующих пределах, %: 52-62 H<sub>2</sub>; 0,3-0,6 O<sub>2</sub>; 23,5-26,5 CH<sub>4</sub>; 5,5-7,7 CO; 1,8-2,6 CO<sub>2</sub>.

### Расчет газовых выбросов при сжигании газообразного топлива

Основными компонентами газообразного топлива являются горючие газы: метан (CH<sub>4</sub>), этан (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), пропан (C<sub>3</sub>H<sub>10</sub>), этилен (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), пропилен (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>), сероводород (H<sub>2</sub>S), возможно также наличие углекислого (CO<sub>2</sub>) и сернистого (SO<sub>2</sub>) газов.

Расчет необходимого количества кислорода и веществ, выделяющихся при сжигании газообразного топлива, осуществляется на основе реакций горения по методике, рассмотренной ранее, с учетом процентного содержания горючих газов в смеси.

Ниже приведены реакции горения и стехиометрические соотношения для метана, пропана и бутана. Аналогичные уравнения при необходимости могут быть составлены и для других горючих газов.

Стехиометрические уравнения реакций горения:

|        |  |
|--------|--|
| Метан  | $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ $16 + 64 = 44 + 36$ $1 + 4 = 2,75 + 2,25$                        |
| Пропан | $\text{C}_3\text{H}_8 + 5\text{O}_2 \rightarrow 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$ $44 + 160 = 132 + 72$ $1 + 3,64 = 3 + 1,64$            |
| Бутан  | $2\text{C}_4\text{H}_{10} + 13\text{O}_2 \rightarrow 8\text{CO}_2 + 10\text{H}_2\text{O}$ $116 + 416 = 352 + 180$ $1 + 3,58 = 3,03 + 1,55$ |

Полученные массовые соотношения веществ, участвующих в реакциях, позволяют рассчитать расход кислорода и воздуха, выделение углекислого газа и паров воды и построить материальный баланс веществ при сжигании газообразного топлива.

Расчетные формулы имеют следующий вид:

$$M_{\text{топл}} = (4 \cdot \text{CH}_4/100 + 3,64 \cdot \text{C}_3\text{H}_8/100 + 3,58 \cdot \text{C}_4\text{H}_{10}/100) \cdot M_{\text{топл}};$$

$$M_{\text{возд}} = M_{\text{O}_2} / 0,2093;$$

$$M_{\text{CO}_2} = (2,75 \cdot \text{CH}_4/100 + 3 \cdot \text{C}_3\text{H}_8/100 + 3,03 \cdot \text{C}_4\text{H}_{10}/100 + \text{CO}_2/100) \cdot M_{\text{топл}};$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = (2,25 \cdot \text{CH}_4/100 + 1,64 \cdot \text{C}_3\text{H}_8/100 + 1,55 \cdot \text{C}_4\text{H}_{10}/100) \cdot M_{\text{топл}}.$$

В приведенных формулах значения CH<sub>4</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> и C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> соответствуют процентному содержанию горючих газов в сжигаемом газообразном топливе. Присутствие в составе горючей массы углекислого газа необходимо учитывать в формуле слагаемым (CO<sub>2</sub>/100).

Уравнение материального баланса в данном случае имеет вид

$$M_{\text{топл}} + M_{\text{топл}} = M_{\text{CO}_2} + M_{\text{H}_2\text{O}}$$

**Пример**

Построить материальный баланс веществ при сжигании 3 тыс.т газа состава: метан – 80%, бутан – 10%, углекислый газ – 10%.

$$M_{O_2} = (4 \cdot 80/100 + 3,58 \cdot 10/100) 3000 = (3,2 + 0,358) 3000 = 10674 \text{ т};$$

$$M_{CO_2} = (2,75 \cdot 80/100 + 3,03 \cdot 10/100 + 10/100) 3000 = (2,2 + 0,303 + 0,1) 3000 = 7809 \text{ т};$$

$$M_{H_2O} = (2,25 \cdot 80/100 + 1,55 \cdot 10/100) 3000 = (1,8 + 0,155) 3000 = 5865 \text{ т};$$

Баланс веществ равен:

$$M_{\text{топл}} + M_{O_2} = 3000 + 10674 = 13674 \text{ т};$$

$$M_{CO_2} + M_{H_2O} = 7809 + 5865 = 13674 \text{ т}.$$

**Контрольные задания**

1. Построить баланс веществ при сжигании 1000 т природного газа следующего состава: метан – 10%, пропан – 30%, бутан – 40%, углекислый газ – 20%.
2. Какое количество воздуха необходимо для сжигания 5000 т биогаза состава: метан – 95%, углекислый газ – 5%.
3. Определить количество газообразных примесей, образующихся при сжигании 1000 т газа состава: метан – 70%, пропан – 20%, бутан – 10%.
4. Определить количество углекислого газа и паров воды, образующихся при сжигании 3000 т газа с составом: пропан – 45%, бутан – 55%.
5. Определить количество загрязняющих веществ, образующихся при сжигании 1000 т антрацита и природного газа следующего состава: метан – 10%, пропан – 30%, бутан – 40%, углекислый газ – 20%. Какое топливо меньше загрязняет окружающую среду и почему?

**Контрольные вопросы**

1. К каким экологическим последствиям приводит сжигание топлива?
2. Предложите основные пути решения проблем, связанных со сжиганием топлива.

**Библиографический список**

1. Коробкин В.И., Передельский Л.В. Экология. Ростов н/Д: Изд-во «Феникс», 2001
2. Степановских А.С. Прикладная экология. М.:ЮНИТИ-ДАНА, 2005.
3. Протасов В.Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России. М.: Финансы и статистика, 1999.
4. Равич М.Б. Топливо и эффективность его использования. М.: Наука, 1991. 358 С.