

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Невинномысский технологический институт (филиал) СКФУ

***МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ***

по выполнению практических занятий  
по дисциплине «Техника защиты окружающей среды»  
для студентов очной/заочной формы обучения  
направления подготовки

18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии  
и биотехнологии

## СОДЕРЖАНИЕ

1. РАСЧЕТЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ.....	4
1.1. Механическая обработка материалов.....	4
1.2. Сварка, наплавка, пайка, электрогазорезка металлов.....	5
1.3. Нанесение лакокрасочных материалов.....	7
1.4. Примеры решения задач.....	9
1.4.1. Механическая обработка материалов.....	9
1.4.2. Сварка, наплавка, пайка, электрогазорезка металлов.....	10
1.4.3. Нанесение лакокрасочных материалов.....	13
1.5. Контрольные задания.....	16
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА.....	21
2.1. Параметры, характеризующие топливо.....	21
2.2. Комбинированные топлива.....	26
2.3. Примеры решения задач.....	27
2.4. Контрольные задания.....	31
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	33

# 1. РАСЧЕТЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

## 1.1. Механическая обработка материалов

Характерной особенностью процессов механической обработки материалов является выделение твердых частиц (пыли), а при обработке материалов с применением смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) – дополнительно выделение аэрозоля СОЖ (нефтяные минеральные масла и различные эмульсии, уменьшающие выделение пыли на 85–90 %).

При обработке металлов и сплавов наилучшим вариантом, который используется для дальнейших расчетов и установления нормативов загрязнения атмосферы, считается тот, при котором химический состав пыли идентифицируется как оксиды соответствующих металлов.

При обработке заточных и шлифовальных станков наряду с пылью металлической, имеющей состав обрабатываемого материала (или оксидов, обрабатываемого материала), выделяется также пыль абразивная, по составу аналогичная материалу заточного (шлифовального) круга.

1. *Максимально разовое выделение (в г/с) загрязняющего вещества (ЗВ) (пыли)* от группы из  $m$  штук одновременно работающих станков определяется по формуле

$$G = \sum_{i=1}^m g_i \cdot k_i^{\text{СОЖ}} / 3600, \quad (1.1)$$

где  $g_i$  – удельное выделение ЗВ при работе на  $i$ -м станке, г/ч;  
 $k_i^{\text{СОЖ}}$  – коэффициент, учитывающий применение (равно 0,15) или отсутствие (равно 1) СОЖ на  $i$ -м станке.

2. *Валовое выделение (в т/год) ЗВ (пыли)* от группы из  $m$  штук станков:

$$M = \sum_{i=1}^m g_i \cdot k_i^{\text{СОЖ}} \cdot T_i \cdot 10^{-6} = \sum_{i=1}^m g_i \cdot k_i^{\text{СОЖ}} \cdot t_i \cdot N_i \cdot 10^{-6}, \quad (1.2)$$

где  $T_i$  – суммарное время работы на  $i$ -м станке за год, ч/год;  
 $N_i$  – количество дней работы на  $i$ -м станке за год;  $t_i$  – время работы на  $i$ -м станке за день, ч.

3. *Максимально разовое выделение (в г/с) аэрозоля СОЖ* от группы из  $m$  штук одновременно работающих станков:

$$G^{\text{СОЖ}} = \sum_{i=1}^m g_i^{\text{СОЖ}} \cdot W_i^* / 3600, \quad (1.3)$$

где  $g_i^{\text{СОЖ}}$  – удельное выделение аэрозоля СОЖ при работе на  $i$ -м станке, г/кВт·ч;  $W_i^*$  – мощность электродвигателя  $i$ -го станка, кВт.

4. Валовое выделение (в т/год) аэрозоля СОЖ от группы из  $m$  штук станков определяется по формуле

$$M^{\text{сож}} = \sum_{i=1}^m g_i^{\text{сож}} \cdot W_i^* \cdot T_i \cdot 10^{-6} = \sum_{i=1}^m g_i^{\text{сож}} \cdot W_i^* \cdot t_i \cdot N_i \cdot 10^{-6}, \quad (1.4)$$

где  $T_i$  – суммарное время работы на  $i$ -м станке за год, ч/год;  
 $N_i$  – количество дней работы на  $i$ -м станке за год;  $t_i$  – время работы на  $i$ -м станке за день, ч.

5. Если в справочных изданиях приводятся удельные нормативы выделения ЗВ, отнесенные к единице массы материала, расчет удельного выделения, отнесенного к единице времени (в г/с), проводится по формуле

$$g = g^* \cdot p / (T_{\text{пер}} \cdot 3600), \quad (1.5)$$

где  $g^*$  – удельное выделение ЗВ, г/кг;  $p$  – количество перерабатываемого материала за цикл, кг/цикл;  $T_{\text{пер}}$  – длительность цикла переработки материала, ч/цикл.

## 1.2. Сварка, наплавка, пайка, электрогазорезка металлов

Процессы сварки, наплавки и тепловой резки металлов сопровождаются выделением сварочного аэрозоля и газов, количество которых пропорционально расходу сварочных материалов (электродов, сварочной проволоки и т. п.), а при контактной электросварке – номинальной мощности применяемого оборудования.

Сварочные аэрозоль и аэрозоль, выделяющийся при газовой резке, преимущественно состоят из оксидов свариваемых (разрезаемых) металлов или компонентов сплавов (железа, марганца, хрома, титана и т. д.).

Применение для нагрева деталей тепла от сжигания горючих газов (ацетилен, пропан-бутановой смеси и т. п.) ведет к выделению оксидов азота и углерода в количестве, зависящем от вида процесса нагрева и расхода горючего газа.

1. Максимально разовое выделение (в г/с) ЗВ (компонентов сварочного аэрозоля и сопутствующих газов) от группы из  $m$  штук одновременно работающих сварочных постов (машин электроконтактной сварки) определяется по формуле

$$G = \sum_{i=1}^m g_i^* \cdot p / (T_{\text{пер}} \cdot 3600), \quad (1.6)$$

где  $g_i^*$  – удельное выделение ЗВ  $i$ -го поста, г/кг;  $p$  – количество использованного сварочного материала за время непрерывной работы (цикл)  $i$ -го поста, кг/цикл;  $T_{\text{пер}}$  – длительность цикла сварки  $i$ -го поста, ч/цикл; или

$$G = \sum_{i=1}^m g_i^* \cdot W_i / (50 \cdot 3600), \quad (1.7)$$

где  $g_i^*$  – удельное выделение ЗВ при работе  $i$ -й электроконтактной машины, г/ч на 50 кВт номинальной мощности машины;  $W_i$  – номинальная мощность  $i$ -й электроконтактной машины, кВт.

2. Максимально разовое выделение (в г/с) ЗВ (продуктов горения) от группы из  $m$  штук одновременно работающих горелок при сварке, наплавке, пайке или газорезке металлов определяется по формуле

$$G = \sum_{j=1}^m g_j^* \cdot p / (T_{\text{пер}} \cdot 3600), \quad (1.8)$$

где  $g_j^*$  – удельное выделение ЗВ  $j$ -й горелки, г/кг;  $p$  – количество использованного горючего газа за время непрерывной работы (цикл)  $j$ -й горелки, кг/цикл;  $T_{\text{пер}}$  – длительность цикла сварки  $j$ -й горелки, ч/цикл.

3. Максимально разовое выделение (в г/с) ЗВ (компонентов аэрозоля и сопутствующих газов) от группы из  $m$  штук одновременно работающих газовых резаков:

$$G = \sum_{i=1}^m g_i / 3600, \quad (1.9)$$

где  $g_i$  – удельное выделение ЗВ при работе  $i$ -го резака, г/ч.

4. Пересчет справочных значений удельных выделений ЗВ от газового резака можно провести по формуле

$$g = g^0 \cdot L, \quad (1.10)$$

где  $g$  – удельное выделение ЗВ при работе резака, г/ч;  $g^0$  – удельное выделение ЗВ при работе резака, г/пог.м;  $L$  – производительность газового резака, пог.м/ч.

5. Валовое загрязнение (в т/год) ЗВ от группы из  $m$  штук сварочных постов (машин электроконтактной сварки) определяется по формулам:

$$M = \sum_{i=1}^m g_i^* \cdot P_i \cdot 10^{-6}, \quad (1.11)$$

где  $g_i^*$  – удельное выделение ЗВ  $i$ -го поста, г/кг;  $P_i$  – общее количество сварочного материала или горючего газа, использованного  $i$ -м постом за год, кг/год; или

$$M = \sum_{i=1}^m g_i^* \cdot W_i \cdot T_i \cdot 10^{-6} / 50 = \sum_{i=1}^m g_i^* \cdot t_i \cdot W_i \cdot N_i \cdot 10^{-6} / 50, \quad (1.12)$$

где  $T_i$  – суммарное время сварки на  $i$ -й машине за год, ч/год;  $t_i$  – время сварки на  $i$ -й машине за день, ч;  $N_i$  – количество дней работы на  $i$ -й машины за год.

б. Валовое выделение (в т/год) ЗВ от группы из  $m$  штук газовых резаков:

$$M = \sum_{i=1}^m g_i \cdot T_i \cdot 10^{-6} = \sum_{i=1}^m g_i \cdot t_i \cdot N_i \cdot 10^{-6}, \quad (1.13)$$

где  $g_i$  – удельное выделение ЗВ  $i$ -го резака, г/ч;  $T_i$  – суммарное время работы на  $i$ -м станке за год, ч/год;  $t_i$  – время сварки на  $i$ -м станке день, ч;  $N_i$  – количество дней работы на  $i$ -м станке за год.

### 1.3. Нанесение лакокрасочных материалов

Для нанесения на изделие защитных и декоративных покрытий используют различные шпатлевки, грунтовки, эмали и лаки, содержащие пленкообразующую основу (минеральные и органические пигменты, пленкообразователи и наполнители) и растворители или разбавители (преимущественно смеси легколетучих углеводородов ароматического ряда, эфиров, спиртов и т. п.).

Формирование покрытия на поверхности изделий заключается, как правило, в нанесении лакокрасочного материала (ЛКМ) и его сушке. При этом в воздух выделяются аэрозоль краски и пары компонентов растворителя, количество которых зависит от технологии окраски, производительности применяемого оборудования, состава ЛКМ и растворителей.

При распылении ЛКМ образуется аэрозоль краски, первоначальный состав которого идентичен составу наносимой смеси ЛКМ с растворителем (разбавителем). Через определенное время растворитель из жидких капель аэрозоля переходит в газообразную фазу, и аэрозоль краски представляет смесь воздуха с твердыми частицами сухого остатка ЛКМ. От способа распыления зависит доля уноса краски в виде аэрозоля (нанесение покрытия при помощи кисти, методом окунания, обливом и подобным им процессом не сопровождаются образованием аэрозоля краски).

Исходный состав ЛКМ может разбавляться растворителями (разбавителями) до определенной вязкости в соответствии с требованиями технологии конкретных способов нанесения ЛКМ.

В связи с незначительным содержанием растворителей в шпатлевке учитывать их отдельно нецелесообразно, а рекомендуется включать в расход растворителей при окраске и сушке.

Расчет выделения ЗВ на участках (в цехах) окраски ведется отдельно для окрасочного аэрозоля (сухого остатка) и компонентов растворителей, для грунтовки, ручной покраски и послойного нанесения многослойных покрытий ЛКМ, а также для окраски и для сушки.

Общее валовое выделение летучих компонентов растворителей в соответствии с материальным балансом должен равняться расходу

растворителей, разбавителей и летучей части исходных ЛКМ, использованных на рассматриваемом участке за соответствующий период времени (месяц, год). Общий валовый выброс летучих компонентов в атмосферу всех вентиляционных систем равен разнице между их общим валовым выделением и суммарным уловом этих компонентов в действующих газоочистных установках на рассматриваемом участке (цехе).

1. Валовое выделение (в т/год) аэрозоля краски в процессе окраски определяется по формуле

$$M_{\text{аэр}} = Z_{\text{кр}} \cdot \Delta_{\text{сух}} \cdot \delta_{\text{аэр}} \cdot 10^{-4}, \quad (1.14)$$

где  $Z_{\text{кр}}$  – количество израсходованного исходного ЛКМ, т/год;  $\Delta_{\text{сух}}$  – доля сухого остатка в исходном ЛКМ, %;  $\delta_{\text{аэр}}$  – доля ЛКМ, потерянного в виде аэрозоля, %.

Причем:	<u>Способ распыления</u>	<u><math>\delta_{\text{аэр}}</math>, %</u>
	Пневматическое	30
	Безвоздушное	2,5
	Пневмоэлектростатическое	3,5
	Электростатическое	0,3

2. Валовое выделение (в т/год)  $i$ -го летучего компонента: в процессе окраски

$$M_i^{\text{ок}} = Z_{\text{кр}}(1 - \Delta_{\text{сух}} \cdot 10^{-2}) \cdot \psi_i^{\text{кр}} \cdot \beta^{\text{ок}} \cdot 10^{-4} + Z_{\text{раст}} \cdot \psi_i^{\text{раст}} \cdot \beta^{\text{ок}} \cdot 10^{-4}; \quad (1.15)$$

в процессе сушки

$$M_i^{\text{суш}} = Z_{\text{кр}}(1 - \Delta_{\text{сух}} \cdot 10^{-2}) \cdot \psi_i^{\text{кр}} \cdot \beta^{\text{суш}} \cdot 10^{-4} + Z_{\text{раст}} \cdot \psi_i^{\text{раст}} \cdot \beta^{\text{суш}} \cdot 10^{-4}; \quad (1.16)$$

где  $Z_{\text{раст}}$  – количество растворителя, израсходованного за год на разбавление исходного ЛКМ до требуемой вязкости, т/год;  $\psi_i^{\text{кр}}$  ( $\psi_i^{\text{раст}}$ ) – доля  $i$ -го компонента в летучей части исходного ЛКМ (в растворителе–разбавителе), %;  $\beta^{\text{ок}}$  ( $\beta^{\text{суш}}$ ) – доля растворителя, испаряющаяся за время окраски (сушки), %.

Причем:	<u>Способ распыления</u>	<u><math>\beta^{\text{ок}}</math>, %</u>	<u><math>\beta^{\text{суш}}</math>, %</u>
	Пневматическое	25	75
	Безвоздушное	23	77
	Пневмоэлектростатическое	20	80
	Электростатическое	50	50

3. Максимальное разовое выделение (в г/с) ЗВ определяется для наиболее напряженного времени работы участка (печи), когда расходуется наибольшее количество ЛКМ, по формуле

$$G_i^{\text{aэp}} = M_{\text{max}} \cdot 10^6 / (3600 \cdot n \cdot t), \quad (1.17)$$

где  $M_{\text{max}}$  – валовое выделение  $i$ -го компонента растворителя (аэрозоля краски) за месяц наиболее напряженной работы ( $M_i^{\text{ок}}$ ,  $M_i^{\text{суш}}$ , или  $M_i^{\text{aэp}}$ ), т/месяц;  $n$  – число дней работы участка (печи) в этом месяце, дн./месяц;  $t$  – среднее чистое время работы (окраски, сушки) участка (печи) за день в наиболее напряженный месяц, ч/день.

## 1.4. Примеры решения задач

### 1.4.1. Механическая обработка материалов

#### Задача 1.

На участке, имеющем единую вытяжную вентиляционную систему, одновременно работают максимально два токарных станка. Мощность двигателей станков 3,0 и 3,5 кВт. Обрабатываются чугунные детали. При обработке деталей смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) не применяются. Удельное выделение металлической пыли при работе на токарных станках с мощностью 0,65–5,50 составляет 21,6 г/ч. Определить:

- 1) максимальное разовое выделение оксидов железа;
- 2) изменение максимального разового выделения оксидов железа при применении СОЖ на одном из станков.

*Решение.*

По уравнению (1.1):

$$G_1 = \sum_{i=1}^m g_i \cdot k_i^{\text{COЖ}} / 3600 = (21,6 \cdot 1 + 21,6 \cdot 1) / 3600 = 0,012 \text{ г/с},$$

$$G_2 = \sum_{i=1}^m g_i \cdot k_i^{\text{COЖ}} / 3600 = (21,6 \cdot 1 + 21,6 \cdot 0,15) / 3600 = 0,0060 \text{ г/с},$$

$$\Delta G = G_1 - G_2 = 0,012 - 0,0069 = 0,0051 \text{ г/с}.$$

*Ответ:* 0,012; 0,0060; 0,0051 г/с.

#### Задача 2.

В цехе с общей вытяжной вентиляционной системой работают два горизонтально-фрезерных станка с мощностью двигателя 10 кВт каждый и один вертикально-сверлильный станок с мощностью двигателя 5 кВт. Обрабатываются детали из чугуна с применением СОЖ на последнем станке. Определить валовое выделение оксидов железа при работе: первого фрезерного станка 6 часов в день, 215 дней в год; второго фрезерного станка – 3 часа в день, 80 дней в год; сверлильного станка – 485 часов в год. Удельное выделение пыли металлической при работе на горизонтально-фрезерном станке с

мощностью двигателя 2,8–14,0 кВт составляет 0,017 г/с, а на сверлильном станке с мощностью двигателя 1,0–10,0 кВт – 0,002 г/с. Определить валовое выделение компонентов СОЖ в цехе, если удельное выделение аэрозоля компонентов СОЖ на 1 кВт мощности двигателя при работе металлорежущих станков составляет: эмульсола – 0,0063 г/ч; масляного тумана – 0,2 г/ч.

*Решение.*

По уравнению (1.2):

$$M = \sum_{i=1}^m g_i \cdot k_i^{\text{СОЖ}} \cdot t_i \cdot N_i \cdot 10^{-6} = (0,017 \cdot 3600 \cdot 1 \cdot 6 \cdot 215 + 0,017 \cdot 3600 \cdot 1 \times \\ \times 3 \cdot 80 + 0,002 \cdot 0,15 \cdot 3600 \cdot 485) \cdot 10^{-6} = 0,0942 \text{ т/год};$$

По уравнению (1.4):

$$M_{\text{эмульсола}} = \sum_{i=1}^m g_i^{\text{СОЖ}} \cdot W_i^* \cdot T_i \cdot 10^{-6} = 0,0063 \cdot 5 \cdot 485 \cdot 10^{-6} = 0,0000153$$

т/год;

$$M_{\text{масл.тумана}} = \sum_{i=1}^m g_i^{\text{СОЖ}} \cdot W_i^* \cdot T_i \cdot 10^{-6} = 0,2 \cdot 5 \cdot 485 \cdot 10^{-6} = 0,000485 \text{ т/год}.$$

*Ответ:* 0,0942; 0,0000153; 0,000485 т/год.

### **Задача 3.**

Определить максимальное разовое выделение аэрозоля СОЖ от шлифовального станка с мощностью двигателя 20 кВт, если удельное выделение аэрозоля компонентов СОЖ на 1 кВт мощности двигателя: эмульсола – 0,1650 г/ч, масляного тумана – 30 г/ч.

*Решение.*

По уравнению (1.3):

$$G_{\text{эмульсола}} = \sum_{i=1}^m g_i^{\text{СОЖ}} \cdot W_i^* / 3600 = 0,165 \cdot 20 / 3600 = 9 \cdot 10^{-4} \text{ г/с};$$

$$G_{\text{масл.тум.}} = \sum_{i=1}^m g_i^{\text{СОЖ}} \cdot W_i^* / 3600 = 30 \cdot 20 / 3600 = 0,166 \text{ г/с}.$$

*Ответ:*  $9 \cdot 10^{-4}$ ; 0,166 г/с.

## **1.4.2. Сварка, наплавка, пайка, электрогазорезка металлов**

### **Задача 4.**

Цех для изготовления стальных металлоконструкций на электросварочном посту расходует 5 кг в день (1270 кг в год) электродов марки ОЗС-6. Сварка ведется непрерывно в течение 4 часов. Определить

максимальное разовое выделение и валовое выделение ЗВ, если при сварке выделяется сварочный аэрозоль, состоящий из оксида железа, соединений марганца и фтористого водорода. Удельное выделение ЗВ относительно расхода сварочных материалов составляет: оксид железа – 11,41 г/кг; соединения марганца – 0,86 г/кг; фтористый водород – 1,53 г/кг.

*Решение.*

По уравнению (1.6) максимальное разовое выделение ЗВ:

$$G_{\text{FeO}} = \sum_{i=1}^m g_{\text{FeO}}^* \cdot p / (T_{\text{пер}} \cdot 3600) = 11,41 \cdot 5 / (4 \cdot 3600) = 0,00396 \text{ г/с};$$

$$G_{\text{Mn}} = \sum_{i=1}^m g_{\text{Mn}}^* \cdot p / (T_{\text{пер}} \cdot 3600) = 0,86 \cdot 5 / (4 \cdot 3600) = 0,0003 \text{ г/с};$$

$$G_{\text{HF}} = \sum_{i=1}^m g_{\text{HF}}^* \cdot p / (T_{\text{пер}} \cdot 3600) = 1,53 \cdot 5 / (4 \cdot 3600) = 0,00017 \text{ г/с}.$$

По уравнению (1.11) валовое выделение ЗВ:

$$M_{\text{FeO}} = \sum_{i=1}^m g_{\text{FeO}}^* \cdot P_i \cdot 10^{-6} = 11,41 \cdot 1270 \cdot 10^{-6} = 0,0145 \text{ т/год};$$

$$M_{\text{Mn}} = \sum_{i=1}^m g_{\text{Mn}}^* \cdot P_i \cdot 10^{-6} = 0,86 \cdot 1270 \cdot 10^{-6} = 0,0011 \text{ т/год};$$

$$M_{\text{HF}} = \sum_{i=1}^m g_{\text{HF}}^* \cdot P_i \cdot 10^{-6} = 1,53 \cdot 1270 \cdot 10^{-6} = 0,0019 \text{ т/год}.$$

*Ответ:* 0,00396; 0,0003; 0,00017 г/с и 0,0145; 0,0011; 0,0019 т/год.

### **Задача 5.**

Участок электроконтактной сварки имеет три машины точечной сварки мощностью 100 кВт каждая. Одновременно работает не более двух машин. Свариваются детали из листовой углеродистой стали. Время работы одной машины – 500 часов в год; две другие работают по 6 часов 240 дней в году каждая. Определить максимальное разовое выделение и валовое выделение ЗВ, если выделяется сварочный аэрозоль, состоящий из на 97 % из оксида железа и 3 % оксидов марганца. Удельное выделение ЗВ на 50 кВт номинальной мощности машины составляет 2,5 г/ч, что соответствует выделению оксида железа – 2,425 г/ч и оксидов марганца – 0,075 г/ч.

*Решение.*

По уравнению (1.7) максимальное разовое выделение ЗВ:

$$G_{\text{FeO}} = \sum_{i=1}^m g_{\text{FeO}}^* \cdot W_i / (50 \cdot 3600) =$$

$$= (2,425 \cdot 100 / (50 \cdot 3600)) + (2,425 \cdot 100 / (50 \cdot 3600)) = 0,0026 \text{ г/с};$$

$$G_{\text{MnO}} = \sum_{i=1}^m g_{\text{MnO}}^* \cdot W_i / (50 \cdot 3600) =$$

$$= (0,075 \cdot 100 / (50 \cdot 3600)) + (0,075 \cdot 100 / (50 \cdot 3600)) = 0,000083 \text{ г/с}.$$

По уравнению (1.12) валовое выделение ЗВ:

$$M_{\text{FeO}} = \sum_{i=1}^m g_{\text{FeO}}^* \cdot W_i \cdot T_i \cdot 10^{-6} / 50 = \sum_{i=1}^m g_{\text{FeO}}^* \cdot t_i \cdot N_i \cdot 2 \cdot 10^{-8} =$$

$$= (2,425 \cdot 100 \cdot 500 \cdot 10^{-6} / 50) +$$

$$+ (2,425 \cdot 100 \cdot 6 \cdot 240 \cdot 10^{-6} / 50) +$$

$$+ (2,425 \cdot 100 \cdot 6 \cdot 240 \cdot 10^{-6} / 50) = 0,0164 \text{ т/год};$$

$$M_{\text{MnO}} = \sum_{i=1}^m g_{\text{MnO}}^* \cdot W_i \cdot T_i \cdot 10^{-6} / 50 = \sum_{i=1}^m g_{\text{MnO}}^* \cdot t_i \cdot N_i \cdot 2 \cdot 10^{-8} =$$

$$= (0,075 \cdot 100 \cdot 500 \cdot 10^{-6} / 50) +$$

$$+ (0,075 \cdot 100 \cdot 6 \cdot 240 \cdot 10^{-6} / 50) \cdot 2 = 0,00051 \text{ т/год}.$$

*Ответ:* 0,0026; 0,000083 г/с и 0,0164; 0,00051 т/год.

### **Задача 6.**

В кузовном цехе для сварки тонколистовой стали используются 5 газовых горелок, из которых одновременно работают не более 4. Максимальный расход ацетилена на одну горелку за смену 0,9 кг при времени непрерывной работы 5 часов. Годовой расход ацетилена для одной из горелок составляет 425 кг, а для 4 других – в среднем по 550 кг. Определить максимальное разовое выделение и валовое выделение ЗВ, если удельное выделение оксидов азота при газовой сварке стали ацетиленоокислородным пламенем составляет 22 г/кг ацетилена.

*Решение.*

По уравнению (1.8) максимальное разовое выделение оксидов азота:

$$G_{\text{NOx}} = \sum_{j=1}^m g_{\text{NOx}}^* \cdot p / (T_{\text{пер}} \cdot 3600) = 4 \cdot 22 \cdot 0,9 / (5 \cdot 3600) = 0,0044 \text{ г/с}.$$

По уравнению (1.11) валовое выделение оксидов азота:

$$M_{\text{NOx}} = \sum_{i=1}^m g_{\text{NOx}}^* \cdot P_i \cdot 10^{-6} = 1 \cdot 22 \cdot 425 \cdot 10^{-6} + 4 \cdot 22 \cdot 550 \cdot 10^{-6} = 0,0577$$

т/год.

*Ответ:* 0,0044 г/с; 0,0577 т/год.

### Задача 7.

В заготовительном цехе для раскря металлопроката толщиной 10 мм используются 15 газовых резаков, из которых одновременно работают не более 12. Среднее время работы одного резака цеха составляет 2150 часов за год. Определить максимальное разовое выделение и валовое выделение ЗВ, если выделение ЗВ при газовой резке качественной легированной стали толщиной 10 мм составляет: оксидов железа – 145,5 г/ч; оксида углерода – 55,2 г/ч; оксидов хрома – 6,68 г/ч; оксидов азота – 43,4 г/ч.

*Решение.*

По уравнению (1.9) максимальное разовое выделение ЗВ:

$$G_{\text{FeO}} = \sum_{i=1}^m g_{\text{FeO}}/3600 = 12 \cdot 145,5 / 3600 = 0,485 \text{ г/с};$$

$$G_{\text{CrO}} = \sum_{i=1}^m g_{\text{CrO}}/3600 = 12 \cdot 6,68 / 3600 = 0,022 \text{ г/с};$$

$$G_{\text{CO}} = \sum_{i=1}^m g_{\text{CO}}/3600 = 12 \cdot 55,2 / 3600 = 0,184 \text{ г/с};$$

$$G_{\text{NOx}} = \sum_{i=1}^m g_{\text{NOx}} / 3600 = 12 \cdot 43,4 / 3600 = 0,145 \text{ г/с}.$$

По уравнению (1.13) валовое выделение ЗВ:

$$M_{\text{FeO}} = \sum_{i=1}^m g_{\text{FeO}} \cdot T_i \cdot 10^{-6} = 12 \cdot 145,5 \cdot 2150 \cdot 10^{-6} = 4,7 \text{ т/год};$$

$$M_{\text{CrO}} = \sum_{i=1}^m g_{\text{CrO}} \cdot T_i \cdot 10^{-6} = 12 \cdot 6,68 \cdot 2150 \cdot 10^{-6} = 0,215 \text{ т/год};$$

$$M_{\text{CO}} = \sum_{i=1}^m g_{\text{CO}} \cdot T_i \cdot 10^{-6} = 12 \cdot 55,2 \cdot 2150 \cdot 10^{-6} = 1,780 \text{ т/год};$$

$$M_{\text{NOx}} = \sum_{i=1}^m g_{\text{NOx}} \cdot T_i \cdot 10^{-6} = 12 \cdot 43,4 \cdot 2150 \cdot 10^{-6} = 1,40 \text{ т/год}.$$

*Ответ:* 0,485; 0,022; 0,184; 0,145 г/с и 4,7; 0,215; 1,780; 1,40 т/год

### 1.4.3. Нанесение лакокрасочных материалов

#### Задача 8.

Для окраски крупногабаритных деталей методом пневматического распыления на специализированной площадке ремонтного цеха за год

расходуется 11,7 т эмали НЦ-25. Определить годовые валовые выделения и выброс окрасочного аэрозоля. Доля сухого остатка в эмали составляет 34 %. Определить максимальное разовое выделение аэрозоля, если работа велась равномерно в году, при среднем количестве рабочих дней в месяц – 21 и среднем времени окраски – 1,5 ч/день.

*Решение.*

По уравнению (1.14) валовое выделение окрасочного аэрозоля:

$$M_{\text{аэр}} = Z_{\text{кр}} \cdot \Delta_{\text{сух}} \cdot \delta_{\text{аэр}} \cdot 10^{-4} = 11,7 \cdot 34 \cdot 30 \cdot 10^{-4} = 1,1934 \text{ т/год.}$$

В связи с поступлением окрасочного аэрозоля из зоны выделения непосредственно с атмосферу валовый выброс аэрозоля равен валовому выделению, а именно – 1,1934 т/год.

$$M_{\text{max}} = 1,1934 / 12 = 0,0995 \text{ т/месяц.}$$

По уравнению (1.17):

$$G^{\text{аэр}} = M_{\text{max}} \cdot 10^6 / (3600 \cdot n \cdot t) = 0,0995 \cdot 10^6 / (3600 \cdot 21 \cdot 1,5) = 0,88 \text{ г/с.}$$

*Ответ:* 1,1934 т/год; 0,0995 т/месяц; 0,88 г/с.

### **Задача 9.**

Для окраски методом безвоздушного распыления металлоконструкций использовано за год 49 т эмали МЛ-12 (исходная эмаль состоит на 35 % из сухого остатка и летучей части, состоящей на 10 % из бутилового спирта и 90 % уайт-спирита) и 17 т растворителя № 649 (растворитель состоит из 50 % ксилола, 30 % этилцеллозольва, 20 % изобутилового спирта). Окраска и сушка производилась в разных камерах. Определить валовый выброс летучих ЗВ раздельными вентиляционными системами камер, не имеющими устройств очистки.

*Решение.*

Валовый выброс ЗВ при отсутствии очистки равен их валовому выделению.

По уравнению (1.15) при окраске:

1 бутиловый спирт:

$$\begin{aligned} M_{\text{б.сп.}}^{\text{ок}} &= Z_{\text{кр}}(1 - \Delta_{\text{сух}} \cdot 10^{-2}) \cdot \psi_i^{\text{кр}} \cdot \beta^{\text{ок}} \cdot 10^{-4} + 0 = \\ &= 49 \cdot (1 - 35 \cdot 10^{-2}) \cdot 10 \cdot 23 \cdot 10^{-4} + 0 = 0,733 \text{ т/год;} \end{aligned}$$

2 уайт-спирит:

$$M_{\text{у.сп.}}^{\text{ок}} = Z_{\text{кр}}(1 - \Delta_{\text{сух}} \cdot 10^{-2}) \cdot \psi_i^{\text{кр}} \cdot \beta^{\text{ок}} \cdot 10^{-4} + 0 =$$

$$= 49 \cdot (1 - 35 \cdot 10^{-2}) \cdot 90 \cdot 23 \cdot 10^{-4} + 0 = 6,593 \text{ т/год};$$

3 ксилол:

$$M_{\text{кс.}}^{\text{ок}} = 0 + Z_{\text{раст}} \cdot \psi_i^{\text{раст}} \cdot \beta^{\text{ок}} \cdot 10^{-4} = 0 + 17 \cdot 50 \cdot 23 \cdot 10^{-4} = 1,955 \text{ т/год};$$

4 этилцеллозольв:

$$M_{\text{эт.}}^{\text{ок}} = 0 + Z_{\text{раст}} \cdot \psi_i^{\text{раст}} \cdot \beta^{\text{ок}} \cdot 10^{-4} = 0 + 17 \cdot 30 \cdot 23 \cdot 10^{-4} = 1,173 \text{ т/год};$$

5 изобутиловый спирт:

$$M_{\text{из.сп.}}^{\text{ок}} = 0 + Z_{\text{раст}} \cdot \psi_i^{\text{раст}} \cdot \beta^{\text{ок}} \cdot 10^{-4} = 0 + 17 \cdot 20 \cdot 23 \cdot 10^{-4} = 0,782 \text{ т/год}.$$

При сушке:

1 бутиловый спирт:

$$M_{\text{б.сп.}}^{\text{суш}} = Z_{\text{кр}}(1 - \Delta_{\text{сух}} \cdot 10^{-2}) \cdot \psi_i^{\text{кр}} \cdot \beta^{\text{суш}} \cdot 10^{-4} + 0 = \\ = 49 \cdot (1 - 35 \cdot 10^{-2}) \cdot 10 \cdot 77 \cdot 10^{-4} + 0 = 2,452 \text{ т/год};$$

2 уайт-спирит:

$$M_{\text{у.сп.}}^{\text{суш}} = Z_{\text{кр}}(1 - \Delta_{\text{сух}} \cdot 10^{-2}) \cdot \psi_i^{\text{кр}} \cdot \beta^{\text{суш}} \cdot 10^{-4} + 0 = \\ = 49 \cdot (1 - 35 \cdot 10^{-2}) \cdot 90 \cdot 77 \cdot 10^{-4} + 0 = 22,072 \text{ т/год};$$

3 ксилол:

$$M_{\text{кс.}}^{\text{суш}} = 0 + Z_{\text{раст}} \cdot \psi_i^{\text{раст}} \cdot \beta^{\text{суш}} \cdot 10^{-4} = 0 + 17 \cdot 50 \cdot 77 \cdot 10^{-4} = 6,545 \text{ т/год};$$

4 этилцеллозольв:

$$M_{\text{эт.}}^{\text{суш}} = 0 + Z_{\text{раст}} \cdot \psi_i^{\text{раст}} \cdot \beta^{\text{суш}} \cdot 10^{-4} = 0 + 17 \cdot 30 \cdot 77 \cdot 10^{-4} = 3,927 \text{ т/год};$$

5 изобутиловый спирт:

$$M_{\text{из.сп.}}^{\text{суш}} = 0 + Z_{\text{раст}} \cdot \psi_i^{\text{раст}} \cdot \beta^{\text{суш}} \cdot 10^{-4} = 0 + 17 \cdot 20 \cdot 77 \cdot 10^{-4} = 2,618 \text{ т/год}.$$

Проверка по материальному балансу:

$$Z_{\text{раст}} = M_{\text{кс.}}^{\text{ок}} + M_{\text{кс.}}^{\text{суш}} + M_{\text{эт.}}^{\text{ок}} + M_{\text{эт.}}^{\text{суш}} + M_{\text{из.сп.}}^{\text{ок}} + M_{\text{из.сп.}}^{\text{суш}},$$

$$17 = 1,955 + 6,545 + 1,173 + 3,927 + 0,782 + 2,618,$$

17 = 17 => баланс по летучей части сошелся, решение верно.

$$Z_{\text{кр}}(1 - \Delta_{\text{сух}} \cdot 10^{-2}) = M_{\text{б.сп.}}^{\text{ок}} + M_{\text{б.сп.}}^{\text{суш}} + M_{\text{у.сп.}}^{\text{ок}} + M_{\text{у.сп.}}^{\text{суш}},$$

$$49(1 - 35 \cdot 10^{-2}) = 0,733 + 2,452 + 6,593 + 22,072,$$

$31,85 = 31,85 \Rightarrow$  баланс по летучей части исходного ЛКМ сошелся, решение верно.

*Ответ:* при окраске: 0,733; 22,072; 1,955; 1,173; 0,782 т/год; при сушке: 2,452; 22,072; 6,545; 3,927; 2,618 т/год.

### **Задача 10.**

Определить максимальное разовый выброс ксилола из вытяжной системы сушильной камеры для условия предыдущего примера, учитывая, что работа велась равномерно в течение 9 месяцев при среднем количестве рабочих дней в месяц – 22; среднее чистое время сушки при двухсменной работе – 7,5 ч/день. Три месяца проводилась модернизация оборудования и работа по окраске и сушке не велась.

*Решение.*

Валовый выброс ксилола за месяц работы с учетом результатов решения предыдущей задачи:

$$M_{\max} = 6,545 / 9 = 0,7272 \text{ т/месяц.}$$

По уравнению (1.17) максимальное разовое выделение ксилола:

$$G^{\text{азр}}_{\text{кс.}} = M_{\max} \cdot 10^6 / (3600 \cdot n \cdot t) = 0,7272 \cdot 10^6 / (3600 \cdot 22 \cdot 7,5) = 1,22 \text{ г/с.}$$

*Ответ:* 0,7272 т/месяц; 1,22 г/с.

## **1.5. Контрольные задания**

### **Задание 1.**

Рассчитать валовое и максимальное разовое выделение загрязняющих веществ, попадающих в воздушную среду при механической обработке металлов на технологических участках по вариантам, приведенным в таблице 1.1. Как и на сколько изменятся выделение пылей, а также, какое количество ЗВ будет выделяться дополнительно при применении СОЖ на всех станках соответствующего производственного участка.

### **Задание 2-3.**

Рассчитать валовое и максимальное разовое выделение загрязняющих веществ, попадающих в воздушную среду при сварке, пайке, электрогазорезке материалов на технологических участках по вариантам, приведенным в таблицах 1.2–1.3.

### **Задание 4.**

Рассчитать валовое и максимальное разовое выделение загрязняющих веществ, попадающих в воздушную среду при нанесении ЛКМ на технологических участках по вариантам, приведенным в таблице 1.4.

Таблица 1.1

## Исходные данные по расчету выделения загрязняющих веществ при механической обработке металлов

Наименование исходных данных	Номер варианта контрольного задания																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
-тип станков;	Токарные						Фрезерные				Сверлильные				Шлифовальные		
- мощность двигателя, кВт;	2,0	2,5	2,7	3,2	5,0	5,5	2,8	4,4	6,8	10,0	3,0	7,0	10,0	9,0	3,5	4,0	5,0
- максимальное число станков, работающих одновременно, шт.	11	23	20	7	14	22	18	16	14	13	15	24	18	20	14	13	12
- в т.ч. работающих с СОЖ;	3	17	15	6	10	12	12	9	14	5	4	21	4	16	12	6	10
-удельное выделение пыли металлической;	21,6 г/ч	21,6 г/ч	21,6 г/ч	21,6 г/ч	21,6 г/ч	21,6 г/ч	0,017 г/с	0,017 г/с	0,017 г/с	0,017 г/с	0,002 г/с	0,002 г/с	0,002 г/с	0,002 г/с	29,8 г/ч	29,8 г/ч	29,8 г/ч
- удельное выделение эмульсола СОЖ на 1 кВт мощности двигателя, г/ч	0,0063	0,0063	0,0063	0,0063	0,0063	0,0063	0,0063	0,0063	0,0063	0,0063	0,0063	0,0063	0,0063	0,0063	0,165	0,165	0,165
- удельное выделение масляного тумана СОЖ на 1 кВт мощности двигателя, г/ч	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	30,0	30,0	30,0
- время обработки материала на 1-м станке:																	
часов за год	-	-	-	990	570	-	-	-	789	888	788	-	-	-	1020	-	900
дней за год	189	245	300	-	-	134	127	203	-	-	-	90	107	133	-	190	-
часов за день	3	4	2,5	-	-	7	6	4	-	-	-	12	14	7	-	4,5	-
- обрабатываемый материал	Конструкционная сталь			Алюминиевый сплав				Инструментальная сталь				Латунь				Чугун	

Таблица 1.2

Исходные данные заданий по расчету выделения  
загрязняющих веществ при сварке, пайке,  
электрогазорезке материалов

Исходные данные	Номер варианта контрольного задания									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>-тип техпроцесса</i>	Ручная дуговая электросварка									
<i>-общее количество постов, шт.</i>	12	9	11	14	15	4	6	8	12	10
<i>-максимальное число постов, работающих одновременно, шт.</i>	9	3	7	11	11	3	5	5	4	10
<i>-выделяется ЗВ:</i>	г/кг		г/кг				г/кг			
<i>FeOx</i>	11,41		21,00				10,49			
<i>MnO</i>	0,86		0,92				0,11			
<i>HF</i>	1,53		1,83				1,03			
Электроды (сварочная проволока)										
<i>-марка</i>	ОЗС-4		ОЗС-6		ЦЛ-17		ИАТ-1		ОЗЛ-7	
<i>-средний расход за год на 1 пост, кг</i>	710		1300		2350		750		380	
<i>-расход за цикл сварки, кг</i>	3	4	3	5	4	5	7	8	3	5
<i>-длительность цикла сварки, ч</i>	2	2	3	4	3	4	7	8	4	5

Окончание табл. 1.2

Исходные данные	Номер варианта контрольного задания								
	11	12	13	14	15	16	17	18	19
<i>-тип техпроцесса</i>	Электроконтактная точечная сварка								
<i>-общее количество постов, шт.</i>	9	16	6	7	11	12	15	7	9
<i>-максимальное число постов, работающих одновременно, шт.</i>	7	11	3	3	10	9	13	7	8
<i>-номинальная мощность машины, кВт</i>	150	50	100	100	100	100	50	150	150
<i>-выделяется ЗВ:</i>	г/ч			г/ч			г/ч		
<i>FeOx</i>	2,344			2,940			2,344		
<i>MnO</i>	0,011			0,019			0,101		
<i>HF</i>	0,012			0,066			-		
Среднее время работы поста									
<i>-часов за год</i>	-	-	230	-	-	220	289	-	-
<i>-дней за год</i>	120	290	-	167	189	-	-	220	240
<i>-часов за день</i>	3	4	-	4	6	-	-	7	3

Таблица 1.3

Исходные данные заданий по расчету выделения  
загрязняющих веществ при сварке,  
электрогазорезке материалов

Исходные данные	Номер варианта контрольного задания									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>-тип техпроцесса</i>	Газосварка									
<i>-общее количество постов, шт.</i>	5	9	7	11	8	9	6	12	14	10
<i>-максимальное число постов, работающих одновременно, шт.</i>	2	4	4	7	4	6	3	6	5	6
<i>-материал</i>	Тонколистовая сталь углеродистая низколегированная									
Сварочная проволока										
<i>-марка</i>	Св-08Г2С		Св-10Х22СН7СТ			ЭП-215		Св-08ХГН2МТ		
<i>-расход за цикл, кг</i>	1,1	1,1	1,4	1,4	1,4	0,5	0,5	2	2	2
<i>-длительность сварки, ч</i>	2	2	3	3	3	1,5	1,5	3,5	3,5	3,5
Горючая газовая смесь: ацетилен-кислород										
<i>-расход за цикл, кг</i>	2,5	2,5	3,5	3,5	3,5	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0
<i>-длительность цикла, ч</i>	4	4	4	4	4	2	2	1,5	1,5	1,5
<i>-удельное выделение NOx, г/кг</i>	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Среднее время работы 1 поста										
<i>-часов за год;</i>	930	995	-	-	-	590	800	-	-	860
<i>-дней за год;</i>	-	-	185	129	233	-	-	136	215	-
<i>-часов за день</i>	-	-	2	3	3,5	-	-	3	2	-

Окончание табл. 1.3

Исходные данные	Номер варианта контрольного задания									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<i>-тип техпроцесса</i>	Газорезка									
<i>-общее количество постов, шт.</i>	4	4	6	5	4	4	3	2	4	6
<i>-максимальное число постов, работающих одновременно, шт.</i>	2	4	2	2	4	3	3	2	3	6
<i>-материал</i>	Качественная легированная сталь толщиной 10 мм									
Выделяющиеся ЗВ при газовой резке, г/ч										
<i>-FeO</i>	145,5		145,5		145,5		145,5		145,5	
<i>-CrO</i>	6,68		6,68		6,68		6,68		6,68	
<i>-CO</i>	55,2		55,2		55,2		55,2		55,2	
<i>-NOx</i>	43,4		43,4		43,4		43,4		43,4	
Среднее время работы 1 поста										
<i>-часов за год;</i>	630	170	-	-	-	590	700	-	-	660
<i>-дней за год;</i>	-	-	189	213	203	-	-	135	225	-
<i>-часов за день</i>	-	-	2	3	2,5	-	-	2	2	-

Таблица 1.4

## Исходные данные заданий по расчету выделения загрязняющих веществ при нанесении ЛКМ

Исходные данные	Номер варианта контрольного задания																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
-ЛКМ -тип -состав: сухой остаток, % летучая часть: а) бутиловый спирт, % б) уайт-спирит, % -израсходовано за год, т - израсходовано за месяц напряженной работы, т	Эмаль										Грунт							Эмаль		
	НЦ-25				МЛ-029			МЛ-197			ГФ-017				ГФ-021			МЛ-12		
	34				33			38			22				25			35		
	15				12			20			10				15			10		
	85				88			80			90				85			90		
	1,5	1,2	0,6	0,8	0,5	4	5	14	16	22	5	6	12	7	66	45	40	53	23	26
	0,04	0,06	0,2	0,1	0,06	1,0	0,5	2,4	2,4	4,1	1	1	1,2	0,7	12	10	10,1	6	3	3
Разбавитель																				
-тип -состав, %: ксилол изобутиловый спирт этилцеллозольв -израсходовано за год, т - израсходовано за месяц напр. работы, т	№ 649			№ 646			№ 649			№ 647			№ 646			уайт-спирит				
	50			45			50			50			45			-				
	20			15			10			20			15			-				
	30			40			40			30			40			-				
	0,15	0,2	0,05	0,01	0,01	1	0,3	2,8	4,2	5,7	1	1,5	3,0	2,1	14,6	10	10	11	4,7	4,7
0,05	0,02	0,01	0,001	0,001	0,2	0,05	0,3	0,4	0,7	0,09	0,4	0,5	0,4	3	1,3	1,2	1,5	0,5	0,6	
Время работы участка в наиболее напряженный месяц																				
-дней за месяц	21	22	24	23	20	21	17	23	23	24	21	9	21	18	19	21	19	20	21	23
-средн. за день (окр.), ч	1	5	4	4	3	3	2	3	7	4	1	1	5	12	7,5	1	5	4	5	10
-средн. за день (суш.), ч	2	8	4	6	6	4	2	6	5	6	2	2	6	6	4	2	5	8	5	6
-способ нанесения	пневмоэлектростатическое						безвоздушное				электростатическое						пневматическое			

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА

Топливом принято называть любое вещество, способное вступать в быстропротекающий окислительный процесс (горение) с окислителем (кислород воздуха). Процесс горения топлива поддерживается либо самопроизвольно (самовозгорание), либо принудительно (зажигание) вплоть до полного исчерпания горючих веществ в очаге горения.

Практическое значение могут иметь виды топлива, отвечающие следующим требованиям:

- доступности и распространенности для массового использования;
- достаточной химической активности топлива, которая обеспечивает возникновение его горения в кислороде воздуха;
- наличие достаточных тепловыделений на единицу массы сжигаемого вещества.

Твердые бытовые отходы (ТБО) отвечают этим требованиям: ТБО являются неисчерпаемыми из-за массового воспроизводства населением; иногда на полигонах ТБО наблюдается самовозгорание (это происходит, если масса и толщина слоя ТБО достаточны для создания условий, при которых рассеивание теплоты в ОС становится меньше, чем количество теплоты, выделяющейся при их биотермическом разложении); ТБО по энергетической ценности сравнимы с некоторыми видами низкокалорийных природных топлив.

### 2.1. Параметры, характеризующие топливо

1. *Удельная теплота сгорания* –  $Q$ , МДж/кг (ккал/кг). Этот показатель, отнесенный к рабочей массе вещества, является важной характеристикой энергетической ценности топлива и соответствует низшей теплоте сгорания при его заданной влажности и зольности –  $Q^p$ .

В энергетике пересчет с  $Q_n^p$  в  $Q_n^r$  (и наоборот) осуществляют по следующим формулам:

$$Q_n^p = Q_n^r (100 - A_n^p - W_n^p) / (100 - 0,023 W_n^p);$$

$$Q_n^r = (Q_n^p + 0,023 W_n^p) / (100 - A_n^p - W_n^p) 100, \quad (2.1)$$

где  $Q_n^p$ ,  $Q_n^r$  – удельная теплота сгорания каждого компонента ТБО соответственно на рабочую и горючую массу, %;  $A_n^p$ ,  $W_n^p$  – массовые количества золы и влаги в рабочем топливе, %; 0,023 – удельная теплота парообразования воды при атмосферном давлении, МДж/кг;  $p$  – указатель рабочей массы ТБО;  $r$  – указатель горючей массы ТБО;  $n$  – порядковый номер компонента ( $n = 1 \dots 13$ ).

Зная удельную теплоту сгорания отдельных компонентов смеси веществ, можно вычислить  $Q_{\text{общ}}^p$  в целом по формуле

$$Q^p_{\text{общ}} = Q^p_1 \cdot I_1 + Q^p_2 \cdot I_2 + Q^p_3 \cdot I_3 + \dots + Q^p_n \cdot I_n, \quad (2.2)$$

где  $Q^p_1, Q^p_2, Q^p_3, \dots, Q^p_n$  – удельная теплота сгорания отдельных компонентов ТБО (табл. 2.2);  $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$  – доли соответствующих компонентов в общей массе ТБО, в %;  $p$  – указатель рабочей массы ТБО;  $n$  – порядковый номер компонента ( $n = 1 \dots 13$ ).

Теплота сгорания  $Q^p_{\text{общ}}$ , полученная по формуле (2.2), может быть проверена на базе элементарного (теплотехнического) состава отходов по формуле Менделеева, кДж/кг:

$$Q^p_{\text{общ}} = (81 \cdot C^p_{\text{общ}} + 300 \cdot H^p_{\text{общ}} - 25(O^p_{\text{общ}} - S^p_{\text{общ}}) - 6(9 \cdot H^p_{\text{общ}} + W^p_{\text{общ}})) \cdot 4,18, \quad (2.3)$$

где  $C^p_{\text{общ}}, H^p_{\text{общ}}, S^p_{\text{общ}}$  – теплота сгорания углерода, водорода, серы;  $O^p_{\text{общ}}$  – теплота, поглощаемая окислителем;  $W^p_{\text{общ}}$  – теплота, затрачиваемая на испарение воды; 4,18 – коэффициент пересчета Дж в кал (1 Дж = 4,18 кал).

Удельная теплота сгорания ТБО, вычисленная по формулам (2.2) и (2.3), может отличаться на величину не более  $\pm 10\%$ , что для предварительных оценочных подсчетов не является существенным.

2. *Элементарный состав рабочей массы топлива* состоит из: углерода ( $C^p$ ), водорода ( $H^p$ ), кислорода ( $O^p$ ), азота ( $N^p$ ), серы ( $S^p$ ), золы ( $A^p$ ) и воды ( $W^p$ ). При этом по массе:  $C^p + H^p + O^p + N^p + S^p + A^p + W^p = 100\%$ .

Массу топлива, не содержащую влагу и золу, называют *горючей массой топлива*:  $C^g + H^g + O^g + N^g + S^g = 100\%$ .

Массу топлива, не содержащую только влагу, называют *сухой массой*  $C^c + H^c + O^c + N^c + S^c + A^c = 100\%$ .

Морфологический состав ТБО представляет гетерогенную смесь (табл.2.1).

Таблица 2.1

Морфологический состав твердых бытовых отходов для различных климатических зон, % массы

Компонент	Климатическая зона		
	средняя	южная	северная
Бумага, картон	25–30	20–28	21–24
Пищевые отходы	30–38	35–45	28–36
Древесина	1,5–3,0	1–2	2–4
Металл черный	2,0–3,5	1,5–2,0	3,0–4,5
Металл цветной	0,2–0,3	0,2–0,3	0,2–0,3
Текстиль	4–7	4–7	5–7
Кости	0,5–2,0	1–2	2–4
Стекло	5–8	3–6	6–10
Кожа, резина	2–4	1–3	3–7
Камни	1–3	1–2	1–2
Пластмасса	2–5	1,5–2,5	2–4
Прочие	1–2	1–2	1–3
Отсев (менее 16 мм)	7–13	10–18	7–13

Анализ морфологического состава ТБО проводится путем экспериментальных исследований его на полигонах, отбором проб из мусоросборных контейнеров домовладений. Обычно удельный вес ТБО колеблется от 198 до 220 кг/м<sup>3</sup>.

В таблице 2.2 приведены данные по элементному составу горючей массы и элементарному составу рабочей массы ТБО.

Таблица 2.2

Состав летучих фракций при горении твердых бытовых отходов и их удельная теплота сгорания

Компонент	Состав твердых бытовых отходов в % по массе							$\frac{Q^p}{Q^r}$ , МДж/кг
	$\frac{C^p}{C^r}$	$\frac{H^p}{H^r}$	$\frac{O^p}{O^r}$	$\frac{N^p}{N^r}$	$\frac{S^p}{S^r}$	$\frac{A^p}{-}$	$\frac{W^p}{-}$	
Пищевые отходы	$\frac{12,6}{53,6}$	$\frac{1,8}{7,7}$	$\frac{8,0}{34,1}$	$\frac{0,95}{4,0}$	$\frac{0,15}{0,60}$	$\frac{4,5}{-}$	$\frac{72}{-}$	$\frac{3,34}{22,28}$
Бумага, картон	$\frac{27,7}{46,2}$	$\frac{3,7}{6,2}$	$\frac{28,3}{47,1}$	$\frac{0,16}{0,27}$	$\frac{0,14}{0,23}$	$\frac{15}{-}$	$\frac{25}{-}$	$\frac{9,94}{16,85}$
Древесина	$\frac{40,5}{51,0}$	$\frac{4,8}{6,1}$	$\frac{33,8}{42,6}$	$\frac{0,1}{0,2}$	$\frac{-}{0,1}$	$\frac{0,8}{-}$	$\frac{20}{-}$	$\frac{14,46}{20,27}$
Кожа, резина	$\frac{65,0}{77,9}$	$\frac{5,0}{6,0}$	$\frac{12,6}{15,1}$	$\frac{0,2}{0,3}$	$\frac{0,6}{0,7}$	$\frac{11,6}{-}$	$\frac{5}{-}$	$\frac{25,79}{31,06}$
Пластмасса	$\frac{55,1}{67,7}$	$\frac{7,6}{9,3}$	$\frac{17,5}{21,5}$	$\frac{0,9}{1,1}$	$\frac{0,3}{0,4}$	$\frac{10,6}{-}$	$\frac{8}{-}$	$\frac{24,37}{30,18}$
Текстиль	$\frac{40,4}{56,1}$	$\frac{4,9}{6,8}$	$\frac{23,2}{32,2}$	$\frac{3,4}{4,8}$	$\frac{-}{0,1}$	$\frac{8}{-}$	$\frac{20}{-}$	$\frac{15,72}{22,53}$
Стекло, камни	-	-	-	-	-	100	-	-
Металл	-	-	-	-	-	100	-	-
Отсев менее 16 мм	$\frac{13,9}{46,4}$	$\frac{1,9}{6,3}$	$\frac{14,1}{47,0}$	-	$\frac{0,1}{0,3}$	$\frac{50}{-}$	$\frac{20}{-}$	$\frac{4,60}{17,01}$

Зная морфологический состав ТБО и элементный или элементарный составы отдельных его компонентов, можно найти состав всей массы рассматриваемых отходов:

$$\left. \begin{aligned} C^p_{\text{общ}} &= C^p_1 \cdot I_1 + C^p_2 \cdot I_2 + C^p_3 \cdot I_3 + \dots + C^p_n \cdot I_n; \\ H^p_{\text{общ}} &= H^p_1 \cdot I_1 + H^p_2 \cdot I_2 + H^p_3 \cdot I_3 + \dots + H^p_n \cdot I_n \\ O^p_{\text{общ}} &= O^p_1 \cdot I_1 + O^p_2 \cdot I_2 + O^p_3 \cdot I_3 + \dots + O^p_n \cdot I_n \\ N^p_{\text{общ}} &= N^p_1 \cdot I_1 + N^p_2 \cdot I_2 + N^p_3 \cdot I_3 + \dots + N^p_n \cdot I_n \\ S^p_{\text{общ}} &= S^p_1 \cdot I_1 + S^p_2 \cdot I_2 + S^p_3 \cdot I_3 + \dots + S^p_n \cdot I_n \\ A^p_{\text{общ}} &= A^p_1 \cdot I_1 + A^p_2 \cdot I_2 + A^p_3 \cdot I_3 + \dots + A^p_n \cdot I_n \\ W^p_{\text{общ}} &= W^p_1 \cdot I_1 + W^p_2 \cdot I_2 + W^p_3 \cdot I_3 + \dots + W^p_n \cdot I_n \end{aligned} \right\}, \quad (2.4)$$

где  $C^p_1, C^p_2, C^p_3 \dots C^p_n$  – содержание углерода в каждом компоненте ТБО, % (аналогично и по другим элементам);  $I_1, I_2, I_3 \dots I_n$  – доли соответствующих компонентов в общей массе ТБО, сумма которых равна единице;  $p$  – указатель рабочей массы ТБО;  $n$  – порядковый номер компонента ( $n = 1 \dots 13$ ).

Массу каждого компонента пересчитывают с горючей на рабочую (и наоборот) по формулам, %:

$$\left. \begin{aligned} C_n^p &= C_n^g (100 - A_n^p - W_n^p) / 100; \\ O_n^p &= O_n^g (100 - A_n^p - W_n^p) / 100; \\ H_n^p &= H_n^g (100 - A_n^p - W_n^p) / 100; \\ S_n^p &= S_n^g (100 - A_n^p - W_n^p) / 100; \\ N_n^p &= N_n^g (100 - A_n^p - W_n^p) / 100 \end{aligned} \right\}, \quad (2.5)$$

где  $C_n^p, O_n^p, H_n^p, S_n^p, N_n^p$  – содержание углерода, кислорода, водорода, серы, азота в каждом компоненте ТБО, %;  $C_n^g, O_n^g, H_n^g, S_n^g, N_n^g$  – содержание углерода, кислорода, водорода, серы, азота в каждом компоненте горючей массы ТБО, %;  $A_n^p, W_n^p$  – массовые количества золы и влаги в рабочем топливе, %;  $p$  – указатель рабочей массы ТБО;  $g$  – указатель горючей массы ТБО;  $n$  – порядковый номер компонента ( $n = 1 \dots 13$ ).

3. Важнейшими характеристиками ТБО как топливо являются предельные значения *влажности, зольности и горючих составляющих*. В различные времена года влажность может колебаться от 20–25 до 50–60 % по массе, зольность – от 10–15 до 25–30 %. Так, например в г. Москве влажность ТБО может колебаться от 30 до 58 % по массе в зависимости от времени года.

Колебания этих важнейших характеристик отходов вызывают колебания  $Q_{\text{общ}}^p$ . Например, в среднем по России эти колебания находятся в пределах от 4,18 до 8,5 МДж/кг.

Убедиться в том, что ТБО отвечают обязательному условию при котором любое вещество может считаться топливом, можно, сравнивая характеристики низкокалорийных топлив с теплотехническими характеристиками ТБО.

В таблице 2.3 приведены данные по элементному составу и удельной теплоте сгорания несортированных ТБО, используемых в различных странах мира в качестве топлива. Для сравнения те же данные по ископаемым топливам, применяемым в энергетике (углям, торфу и древесине) приведены в таблице 2.4.

Данные табл. 2.3 и табл. 2.4 позволяют говорить о том, что теплота сгорания ТБО, рассчитанная по элементным составам твердых бытовых отходов ряда стран, зависит главным образом от  $W^p$  и  $A^p$ . Анализ приведенных данных показывает также, что значения теплот сгорания ТБО и низкокалорийных топлив близки друг к другу.

Следует также отметить, что теплота сгорания несортированных ТБО существенно колеблется в зависимости от времени года. Это является одним из основных отличий несортированных ТБО, используемых в качестве топлива, от ископаемых природных топлив, используемых в энергетике.

Применение сортировки позволяет улучшить теплотехнические характеристики ТБО (табл. 2.5).

Таблица 2.3

Элементный и элементарный составы твердых бытовых отходов  
и их низшие теплоты сгорания в среднем за год по ряду стран и городов

Страна (город)	Массовый состав, %							$\frac{Q^p}{Q^r}$ , МДж/кг
	$\frac{C^p}{C^r}$	$\frac{H^p}{H^r}$	$\frac{O^p}{O^r}$	$\frac{N^p}{N^r}$	$\frac{S^p}{S^r}$	$\frac{A^p}{-}$	$\frac{W^p}{-}$	
Австрия (Вена)	<u>21,59</u>	<u>1,80</u>	<u>10,12</u>	<u>0,42</u>	<u>0,26</u>	<u>29,30</u>	<u>36,42</u>	<u>7,24</u>
	62,98	5,51	29,52	1,23	0,76	-	-	23,82
Великобритания (Лондон)	<u>20,96</u>	<u>1,99</u>	<u>12,32</u>	<u>0,31</u>	<u>0,20</u>	<u>38,73</u>	<u>25,49</u>	<u>7,20</u>
	58,58	5,56	34,43	0,87	0,56	-	-	21,90
Бельгия (Брюссель)	<u>22,10</u>	<u>1,53</u>	<u>8,82</u>	<u>0,25</u>	<u>0,28</u>	<u>40,30</u>	<u>26,72</u>	<u>7,45</u>
	67,01	4,64	26,74	0,76	0,85	-	-	24,53
Испания (Мадрид)	<u>19,34</u>	<u>1,95</u>	<u>11,13</u>	<u>0,47</u>	<u>0,21</u>	<u>26,65</u>	<u>40,25</u>	<u>6,36</u>
	58,55	6,89	32,51	1,42	0,63	-	-	22,27
Канада (Оттава)	<u>25,57</u>	<u>3,19</u>	<u>18,40</u>	<u>0,42</u>	<u>0,13</u>	<u>25,26</u>	<u>27,03</u>	<u>9,30</u>
	53,60	6,67	38,58	0,88	0,27	-	-	20,90
Нидерланды (Амстердам)	<u>22,17</u>	<u>1,51</u>	<u>8,34</u>	<u>0,23</u>	<u>0,28</u>	<u>43,27</u>	<u>24,2</u>	<u>7,58</u>
	68,45	4,64	25,64	0,71	0,86	-	-	25,1
Финляндия (Хельсинки)	<u>26,31</u>	<u>3,38</u>	<u>23,35</u>	<u>0,22</u>	<u>0,13</u>	<u>21,95</u>	<u>24,66</u>	<u>9,24</u>
	49,28	6,33	43,74	0,41	0,24	-	-	18,43
Франция (Париж)	<u>24,19</u>	<u>3,00</u>	<u>18,99</u>	<u>0,34</u>	<u>0,12</u>	<u>28,24</u>	<u>25,12</u>	<u>8,59</u>
	51,86	6,43	40,72	0,73	0,26	-	-	19,76
Швейцария (Берн)	<u>21,41</u>	<u>2,30</u>	<u>15,89</u>	<u>0,27</u>	<u>0,19</u>	<u>31,04</u>	<u>28,90</u>	<u>7,15</u>
	53,44	5,74	39,68	0,67	0,47	-	-	19,70
США (Вашингтон)	<u>24,66</u>	<u>3,11</u>	<u>18,97</u>	<u>0,35</u>	<u>0,13</u>	<u>27,64</u>	<u>25,14</u>	<u>8,90</u>
	53,24	6,65	39,10	0,74	0,27	-	-	20,00
Япония (Токио)	<u>21,54</u>	<u>2,30</u>	<u>12,48</u>	<u>0,57</u>	<u>0,20</u>	<u>25,20</u>	<u>37,71</u>	<u>7,40</u>
	58,15	6,20	88,69	1,40	0,56	-	-	21,70
По отдельным городам России								
Москва	<u>21,30</u>	<u>2,90</u>	<u>16,90</u>	<u>0,90</u>	<u>0,20</u>	<u>22,00</u>	<u>36,50</u>	<u>7,51</u>
	51,32	6,99	40,80	2,17	0,48	-	-	20,12
Санкт-Петербург	<u>17,52</u>	<u>2,31</u>	<u>14,33</u>	<u>0,47</u>	<u>0,09</u>	<u>31,15</u>	<u>34,14</u>	<u>5,90</u>
	50,48	6,63	41,28	1,35	0,26	-	-	19,11
Нижний Новгород	<u>19,62</u>	<u>2,62</u>	<u>16,67</u>	<u>0,56</u>	<u>0,11</u>	<u>20,51</u>	<u>39,91</u>	<u>6,52</u>
	49,56	6,62	42,13	1,41	0,28	-	-	19,00
Владивосток	<u>16,34</u>	<u>2,18</u>	<u>13,27</u>	<u>0,59</u>	<u>0,13</u>	<u>24,35</u>	<u>43,14</u>	<u>5,27</u>
	50,26	6,71	40,82	1,81	0,40	-	-	19,52

Таблица 2.4

Элементарный состав и низшая теплота сгорания некоторых  
низкокалорийных твердых топлив России и СНГ

Месторождение и наименование	Массовый состав, %							$\frac{Q^p}{Q^r}$ , МДж/кг
	$\frac{C^p}{C^r}$	$\frac{H^p}{H^r}$	$\frac{O^p}{O^r}$	$\frac{N^p}{N^r}$	$\frac{S^p}{S^r}$	$\frac{A^p}{-}$	$\frac{W^p}{-}$	
Подмосковный бассейн бурый уголь	$\frac{27,4}{66,0}$	$\frac{2,16}{5,20}$	$\frac{8,63}{23,13}$	$\frac{0,46}{1,10}$	$\frac{2,85}{4,40}$	$\frac{26,5}{-}$	$\frac{32}{-}$	$\frac{9,88}{25,74}$
Трест «Черепеть-уголь» бурый уголь	$\frac{26,0}{65,0}$	$\frac{2,2}{5,2}$	$\frac{9,2}{23,3}$	$\frac{0,4}{1,0}$	$\frac{2,2}{5,5}$	$\frac{29,0}{-}$	$\frac{31}{-}$	$\frac{9,20}{24,95}$
Райчихинский бурый уголь	$\frac{30,4}{67,4}$	$\frac{1,7}{3,8}$	$\frac{12,2}{27,0}$	$\frac{0,5}{1,1}$	$\frac{0,3}{0,7}$	$\frac{7,9}{-}$	$\frac{47}{-}$	$\frac{9,49}{23,66}$
Сланец Капширского месторождения	$\frac{13,5}{57,9}$	$\frac{1,8}{7,7}$	$\frac{4,3}{18,5}$	$\frac{0,3}{1,3}$	$\frac{3,4}{14,6}$	$\frac{59,2}{-}$	$\frac{17,5}{-}$	$\frac{5,81}{26,84}$
Торф	$\frac{24,7}{56,5}$	$\frac{2,6}{6,0}$	$\frac{15,2}{34,8}$	$\frac{1,1}{2,5}$	$\frac{0,1}{0,2}$	$\frac{6,3}{-}$	$\frac{50}{-}$	$\frac{8,11}{21,44}$
Дрова	$\frac{30,0}{51,0}$	$\frac{3,6}{6,1}$	$\frac{25,1}{42,2}$	$\frac{0,4}{0,7}$	$\frac{-}{-}$	$\frac{0,6}{-}$	$\frac{40}{-}$	$\frac{10,2}{18,85}$

Таблица 2.5

Теплотехнические характеристики твердых бытовых отходов  
до и после сортировки

Отходы	Элементарный состав, %							$Q^p$ , ккал/кг		
	$C^p$	$H^p$	$O^p$	$N^p$	$S^p$	$A^p$	$W^p$	min	сред.	max
До сортировки	21,3	2,7	16,8	0,44	0,16	25,5	33,1	1000	1400	1700
После сортировки	25,0	3,2	19,8	0,51	0,19	12,3	39,0	1176	1588	2000

## 2.2. Комбинированные топлива

Устранение колебания  $Q^p$  ТБО достигается путем предварительной сортировки отходов и смешивания их с низкокалорийным твердым ископаемым топливом, при этом образуется комбинированное топливо.

В общем случае состав комбинированного топлива можно определить по формуле

$$M_{i}^{\text{комб}} = M_{i}^{\text{ТБО}} \cdot X + M_{i}^{\text{н.топл}} \cdot (1 - X), \quad (2.6)$$

где  $M_{i}^{\text{ТБО}}$ ,  $M_{i}^{\text{н.топл}}$  –  $i$ -й компонент соответственно ТБО и низкокалорийного природного топлива;  $X$  – доля ТБО в комбинированном топливе.

Удельную теплоту сгорания комбинированного топлива можно определить по формуле

$$(Q^p)^{\text{комб}} = (Q^p)^{\text{ТБО}} \cdot X + (Q^p)^{\text{н.топл}} \cdot (1 - X). \quad (2.7)$$

## 2.3. Примеры решения задач

### Задача 1.

Рассчитать элементный состав горючей массы топлива из ТБО, если морфологический состав отсортированного и обезвоженного ТБО равен (в %): бумага – 9,2; пищевые отходы – 42,0; древесина – 4,4; кожа, резина – 11,9; пластмасса – 9,7; текстиль – 2,3; отсев менее 16 мм – 20,5.

*Решение.*

Пересчитаем массу каждого компонента ТБО с рабочей на горючую массу по уравнениям (2.5) с использованием данных табл. 2.2:

1. Бумага:

$$\begin{aligned}C_1^r &= C_1^p \cdot 100 / (100 - A_1^p - W_1^p) = 27,7 \cdot 100 / (100 - 15 - 25) = 46,16 \% ; \\O_1^r &= O_1^p \cdot 100 / (100 - A_1^p - W_1^p) = 28,3 \cdot 100 / (100 - 15 - 25) = 47,17 \% ; \\H_1^r &= H_1^p \cdot 100 / (100 - A_1^p - W_1^p) = 3,7 \cdot 100 / (100 - 15 - 25) = 6,17 \% ; \\S_1^r &= S_1^p \cdot 100 / (100 - A_1^p - W_1^p) = 0,14 \cdot 100 / (100 - 15 - 25) = 0,23 \% ; \\N_1^r &= N_1^p \cdot 100 / (100 - A_1^p - W_1^p) = 0,16 \cdot 100 / (100 - 15 - 25) = 0,27 \% . \\C_1^r + O_1^r + H_1^r + S_1^r + N_1^r &= 100 \% \rightarrow 46,16 + 47,17 + 6,17 + 0,23 + 0,27 = 100 \% \\100 &= 100 \rightarrow \text{расчет выполнен верно.}\end{aligned}$$

2. Пищевые отходы:

$$\begin{aligned}C_2^r &= C_2^p \cdot 100 / (100 - A_2^p - W_2^p) = 12,6 \cdot 100 / (100 - 4,5 - 72) = 53,62 \% ; \\O_2^r &= O_2^p \cdot 100 / (100 - A_2^p - W_2^p) = 8,0 \cdot 100 / (100 - 4,5 - 72) = 34,04 \% ; \\H_2^r &= H_2^p \cdot 100 / (100 - A_2^p - W_2^p) = 1,8 \cdot 100 / (100 - 4,5 - 72) = 7,66 \% ; \\S_2^r &= S_2^p \cdot 100 / (100 - A_2^p - W_2^p) = 0,15 \cdot 100 / (100 - 4,5 - 72) = 0,64 \% ; \\N_2^r &= N_2^p \cdot 100 / (100 - A_2^p - W_2^p) = 0,95 \cdot 100 / (100 - 4,5 - 72) = 4,04 \% . \\C_2^r + O_2^r + H_2^r + S_2^r + N_2^r &= 100 \% \rightarrow 53,62 + 34,04 + 7,66 + 0,64 + 4,04 = 100 \% \\100 &= 100 \rightarrow \text{расчет выполнен верно.}\end{aligned}$$

3. Древесина:

$$\begin{aligned}C_3^r &= C_3^p \cdot 100 / (100 - A_3^p - W_3^p) = 40,5 \cdot 100 / (100 - 0,8 - 20) = 51,14 \% ; \\O_3^r &= O_3^p \cdot 100 / (100 - A_3^p - W_3^p) = 33,8 \cdot 100 / (100 - 0,8 - 20) = 42,68 \% ; \\H_3^r &= H_3^p \cdot 100 / (100 - A_3^p - W_3^p) = 4,8 \cdot 100 / (100 - 0,8 - 20) = 6,06 \% ; \\S_3^r &= S_3^p \cdot 100 / (100 - A_3^p - W_3^p) = 0 \cdot 100 / (100 - 0,8 - 20) = 0 \% ; \\N_3^r &= N_3^p \cdot 100 / (100 - A_3^p - W_3^p) = 0,1 \cdot 100 / (100 - 0,8 - 20) = 0,12 \% . \\C_3^r + O_3^r + H_3^r + S_3^r + N_3^r &= 100 \% \rightarrow 51,14 + 42,68 + 6,06 + 0 + 0,12 = 100 \% \\100 &= 100 \rightarrow \text{расчет выполнен верно.}\end{aligned}$$

4. Кожа, резина:

$$\begin{aligned}C_4^r &= C_4^p \cdot 100 / (100 - A_4^p - W_4^p) = 65,0 \cdot 100 / (100 - 11,6 - 5) = 77,94 \% ; \\O_4^r &= O_4^p \cdot 100 / (100 - A_4^p - W_4^p) = 12,6 \cdot 100 / (100 - 11,6 - 5) = 15,11 \% ; \\H_4^r &= H_4^p \cdot 100 / (100 - A_4^p - W_4^p) = 5,0 \cdot 100 / (100 - 11,6 - 5) = 5,99 \% ; \\S_4^r &= S_4^p \cdot 100 / (100 - A_4^p - W_4^p) = 0,6 \cdot 100 / (100 - 11,6 - 5) = 0,72 \% ; \\N_4^r &= N_4^p \cdot 100 / (100 - A_4^p - W_4^p) = 0,2 \cdot 100 / (100 - 11,6 - 5) = 0,24 \% . \\C_4^r + O_4^r + H_4^r + S_4^r + N_4^r &= 100 \% \rightarrow 77,94 + 15,11 + 5,99 + 0,72 + 0,24 = 100 \% \\100 &= 100 \rightarrow \text{расчет выполнен верно.}\end{aligned}$$

5. Пластмасса:

$$\begin{aligned}C_5^r &= C_5^p \cdot 100 / (100 - A_5^p - W_5^p) = 55,1 \cdot 100 / (100 - 10,6 - 8) = 67,69 \% ; \\O_5^r &= O_5^p \cdot 100 / (100 - A_5^p - W_5^p) = 17,5 \cdot 100 / (100 - 10,6 - 8) = 21,50 \% ;\end{aligned}$$

$$H_5^r = H_5^p \cdot 100 / (100 - A_5^p - W_5^p) = 7,6 \cdot 100 / (100 - 10,6 - 8) = 9,34 \%;$$

$$S_5^r = S_5^p \cdot 100 / (100 - A_5^p - W_5^p) = 0,3 \cdot 100 / (100 - 10,6 - 8) = 0,37 \%;$$

$$N_5^r = N_5^p \cdot 100 / (100 - A_5^p - W_5^p) = 0,9 \cdot 100 / (100 - 10,6 - 8) = 1,10 \%;$$

$$C_5^r + O_5^r + H_5^r + S_5^r + N_5^r = 100 \% \rightarrow 67,69 + 21,50 + 9,34 + 0,37 + 1,10 = 100 \%$$

$$100 = 100 \rightarrow \text{расчет выполнен верно.}$$

#### 6. Текстиль:

$$C_6^r = C_6^p \cdot 100 / (100 - A_6^p - W_6^p) = 40,4 \cdot 100 / (100 - 7,0 - 20) = 55,34 \%;$$

$$O_6^r = O_6^p \cdot 100 / (100 - A_6^p - W_6^p) = 23,2 \cdot 100 / (100 - 7,0 - 20) = 31,78 \%;$$

$$H_6^r = H_6^p \cdot 100 / (100 - A_6^p - W_6^p) = 4,9 \cdot 100 / (100 - 7,0 - 20) = 6,71 \%;$$

$$S_6^r = S_6^p \cdot 100 / (100 - A_6^p - W_6^p) = 1,1 \cdot 100 / (100 - 7,0 - 20) = 1,51 \%;$$

$$N_6^r = N_6^p \cdot 100 / (100 - A_6^p - W_6^p) = 3,4 \cdot 100 / (100 - 7,0 - 20) = 4,66 \%;$$

$$C_6^r + O_6^r + H_6^r + S_6^r + N_6^r = 100 \% \rightarrow 55,34 + 31,78 + 6,71 + 1,51 + 4,66 = 100 \%$$

$$100 = 100 \rightarrow \text{расчет выполнен верно.}$$

#### 7. Отсев менее 16 мм:

$$C_7^r = C_7^p \cdot 100 / (100 - A_7^p - W_7^p) = 13,9 \cdot 100 / (100 - 50 - 20) = 46,34 \%;$$

$$O_7^r = O_7^p \cdot 100 / (100 - A_7^p - W_7^p) = 14,1 \cdot 100 / (100 - 50 - 20) = 47,0 \%;$$

$$H_7^r = H_7^p \cdot 100 / (100 - A_7^p - W_7^p) = 1,9 \cdot 100 / (100 - 50 - 20) = 6,33 \%;$$

$$S_7^r = S_7^p \cdot 100 / (100 - A_7^p - W_7^p) = 0,1 \cdot 100 / (100 - 50 - 20) = 0,33 \%;$$

$$N_7^r = N_7^p \cdot 100 / (100 - A_7^p - W_7^p) = 0 \cdot 100 / (100 - 50 - 20) = 0 \%;$$

$$C_7^r + O_7^r + H_7^r + S_7^r + N_7^r = 100 \% \rightarrow 46,34 + 47,0 + 6,33 + 0,33 + 0 = 100 \%$$

$$100 = 100 \rightarrow \text{расчет выполнен верно.}$$

Рассчитаем доли каждого компонента в горючей массе ТБО:

#### 1. Бумага:

$100 - 25 = 75 \%$  (обезвоженная масса ТБО);  $100 - 25 - 15 = 60 \%$  (горючая масса ТБО).

$$75 - 9,2 \quad x_1 = 60 \cdot 9,2 / 75 = 7,36 \%$$

$60 - x_1$ .

#### 2. Пищевые отходы:

$100 - 72 = 28 \%$  (обезвоженная масса ТБО);  $100 - 72 - 4,5 = 23,5 \%$  (горючая масса ТБО).

$$28 - 4,2 \quad x_2 = 23,5 \cdot 4,2 / 28 = 35,25 \%$$

$23,5 - x_2$ .

#### 3. Древесина:

$100 - 20 = 80 \%$  (обезвоженная масса ТБО);  $100 - 20 - 0,8 = 79,2 \%$  (горючая масса ТБО).

$$80 - 4,4 \quad x_3 = 79,2 \cdot 4,4 / 80 = 4,36 \%$$

$79,2 - x_3$ .

#### 4. Кожа, резина:

$100 - 5 = 95 \%$  (обезвоженная масса ТБО);  $100 - 5 - 11,6 = 83,4 \%$  (горючая масса ТБО).

$$95 - 11,9 \quad x_4 = 83,4 \cdot 11,9 / 95 = 10,45 \%$$

$83,4 - x_4$ .

5. Пластмасса:

$100 - 8 = 92$  % (обезвоженная масса ТБО);  $100 - 8 - 10,6 = 81,4$  % (горючая масса ТБО).

$$92 - 9,7 \quad x_5 = 81,4 \cdot 9,7 / 92 = 8,58 \%$$

$81,4 - x_5$ .

6. Текстиль:

$100 - 20 = 80$  % (обезвоженная масса ТБО);  $100 - 20 - 7 = 73$  % (горючая масса ТБО).

$$80 - 2,3 \quad x_6 = 73 \cdot 2,3 / 80 = 2,10 \%$$

$73 - x_6$ .

7. Отсев менее 16 мм:

$100 - 20 = 80$  % (обезвоженная масса ТБО);  $100 - 20 - 50 = 30$  % (горючая масса ТБО).

$$80 - 20,5 \quad x_7 = 30 \cdot 20,5 / 80 = 7,69 \%$$

$30 - x_7$ .

$$\sum x_i = 7,36 + 35,25 + 4,36 + 10,45 + 8,58 + 2,10 + 7,69 = 75,79 \%$$

1. Бумага:

$$75,79 - 100 \quad I_1 = 7,36 \cdot 100 / 75,79 = 9,71 \%$$

$7,36 - I_1$ .

2. Пищевые отходы:

$$75,79 - 100 \quad I_2 = 35,25 \cdot 100 / 75,79 = 46,51 \%$$

$35,25 - I_2$ .

3. Древесина:

$$75,79 - 100 \quad I_3 = 4,36 \cdot 100 / 75,79 = 5,75 \%$$

$4,36 - I_3$ .

4. Кожа, резина:

$$75,79 - 100 \quad I_4 = 10,45 \cdot 100 / 75,79 = 13,79 \%$$

$10,45 - I_4$ .

5. Пластмасса:

$$75,79 - 100 \quad I_5 = 8,58 \cdot 100 / 75,79 = 11,32 \%$$

$8,58 - I_5$ .

6. Текстиль:

$$75,79 - 100 \quad I_6 = 2,10 \cdot 100 / 75,79 = 2,77 \%$$

$2,10 - I_6$ .

7. Отсев менее 16 мм:

$$75,79 - 100 \quad I_7 = 7,69 \cdot 100 / 75,79 = 10,15 \%$$

$7,69 - I_7$ .

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 + I_7 = 100 \%$$

$9,71 + 46,51 + 5,75 + 13,79 + 11,32 + 2,77 + 10,15 = 100$  % → доли компонентов горючей массы ТБО найдены верно.

Найдем элементный состав горючей массы ТБО по формуле (2.4):

$$C_{\text{общ}}^{\Gamma} = C_1^{\Gamma} \cdot I_1 + C_2^{\Gamma} \cdot I_2 + C_3^{\Gamma} \cdot I_3 + C_4^{\Gamma} \cdot I_4 + C_5^{\Gamma} \cdot I_5 + C_6^{\Gamma} \cdot I_6 + C_7^{\Gamma} \cdot I_7 = 46,16 \cdot 0,0971 + 53,62 \cdot 0,4651 + 51,14 \cdot 0,0575 + 77,94 \cdot 0,1379 + 67,69 \cdot 0,1132 + 55,34 \cdot 0,0277 + 46,34 \cdot 0,1015 = 57,0 \%$$

$$H_{\text{общ}}^{\Gamma} = H_1^{\Gamma} \cdot I_1 + H_2^{\Gamma} \cdot I_2 + H_3^{\Gamma} \cdot I_3 + H_4^{\Gamma} \cdot I_4 + H_5^{\Gamma} \cdot I_5 + H_6^{\Gamma} \cdot I_6 + H_7^{\Gamma} \cdot I_7 = 6,17 \cdot 0,0971 + 7,66 \cdot 0,4651 + 6,06 \cdot 0,0575 + 5,99 \cdot 0,1379 + 9,34 \cdot 0,1132 + 6,71 \cdot 0,0277 + 6,33 \cdot 0,1015 = 7,22 \%;$$

$$O_{\text{общ}}^{\Gamma} = O_1^{\Gamma} \cdot I_1 + O_2^{\Gamma} \cdot I_2 + O_3^{\Gamma} \cdot I_3 + O_4^{\Gamma} \cdot I_4 + O_5^{\Gamma} \cdot I_5 + O_6^{\Gamma} \cdot I_6 + O_7^{\Gamma} \cdot I_7 = 47,17 \cdot 0,0971 + 34,04 \cdot 0,4651 + 42,68 \cdot 0,0575 + 15,11 \cdot 0,1379 + 21,50 \cdot 0,1132 + 31,78 \cdot 0,0277 + 47,0 \cdot 0,1015 = 33,04 \%;$$

$$N_{\text{общ}}^{\Gamma} = N_1^{\Gamma} \cdot I_1 + N_2^{\Gamma} \cdot I_2 + N_3^{\Gamma} \cdot I_3 + N_4^{\Gamma} \cdot I_4 + N_5^{\Gamma} \cdot I_5 + N_6^{\Gamma} \cdot I_6 + N_7^{\Gamma} \cdot I_7 = 0,27 \cdot 0,0971 + 4,04 \cdot 0,4651 + 0,12 \cdot 0,0575 + 0,24 \cdot 0,1379 + 1,10 \cdot 0,1132 + 4,66 \cdot 0,0277 + 0 \cdot 0,1015 = 2,20 \%;$$

$$S_{\text{общ}}^{\Gamma} = S_1^{\Gamma} \cdot I_1 + S_2^{\Gamma} \cdot I_2 + S_3^{\Gamma} \cdot I_3 + S_4^{\Gamma} \cdot I_4 + S_5^{\Gamma} \cdot I_5 + S_6^{\Gamma} \cdot I_6 + S_7^{\Gamma} \cdot I_7 = 0,23 \cdot 0,0971 + 0,64 \cdot 0,4651 + 0 \cdot 0,0575 + 0,72 \cdot 0,1379 + 0,37 \cdot 0,1132 + 1,51 \cdot 0,0277 + 0,33 \cdot 0,1015 = 0,54 \%.$$

$$C_{\text{общ}}^{\Gamma} + H_{\text{общ}}^{\Gamma} + O_{\text{общ}}^{\Gamma} + N_{\text{общ}}^{\Gamma} + S_{\text{общ}}^{\Gamma} = 100 \% \\ 57,0 + 7,22 + 33,04 + 2,20 + 0,54 = 100 \% \rightarrow \text{элементный состав горючей массы ТБО найден верно.}$$

### Задача 2.

Определите удельные теплоты сгорания комбинированных топлив, если ТБО смешали с низкокалорийными природными топливами (бурый уголь (Подмосковный бассейн); сланец Капширского месторождения; торф) в соотношении ТБО : природное сырье = 85 : 15 %. Морфологический состав рабочей массы ТБО (в %): бумага – 27,2; пищевые отходы – 53,8; кожа, резина – 10,0; текстиль – 9,0. Значения удельных теплот сгорания отдельных компонентов ТБО приведены в табл. 2.2. Значения минимальных теплот сгорания низкокалорийных природных топлив приведены в табл. 2.4.

*Решение.*

Теплота сгорания твердых бытовых отходов определяется по формуле (2.2):

$$Q_{\text{общ}}^{\text{P}}(\text{ТБО}) = Q_1^{\text{P}} \cdot I_1 + Q_2^{\text{P}} \cdot I_2 + Q_3^{\text{P}} \cdot I_3 + Q_4^{\text{P}} \cdot I_4 = 9,94 \cdot 0,272 + 3,34 \cdot 0,538 + 25,79 \cdot 0,1 + 15,72 \cdot 0,09 = 8,4944 \text{ МДж/кг.}$$

Определим теплоты сгорания комбинированных топлив, используя формулу (2.7):

1. ТБО : бурый уголь = 85 : 15

$$(Q^{\text{P}})^{\text{комб}} = (Q^{\text{P}})^{\text{ТБО}} \cdot X + (Q^{\text{P}})^{\text{н.топл}} \cdot (1 - X) = 8,4944 \cdot 0,85 + 9,88 \cdot 0,15 = 8,7 \text{ МДж/кг.}$$

2. ТБО : сланец = 85 : 15

$$(Q^{\text{P}})^{\text{комб}} = (Q^{\text{P}})^{\text{ТБО}} \cdot X + (Q^{\text{P}})^{\text{н.топл}} \cdot (1 - X) = 8,4944 \cdot 0,85 + 5,81 \cdot 0,15 = 8,09 \text{ МДж/кг.}$$

3. ТБО : торф = 85 : 15

$$(Q^p)^{\text{комб}} = (Q^p)^{\text{ТБО}} \cdot X + (Q^p)^{\text{н.топл}} \cdot (1 - X) = 8,4944 \cdot 0,85 + 8,11 \cdot 0,15 = 8,04 \text{ МДж/кг.}$$

Ответ: 8,7; 8,09; 8,04 МДж/кг.

## 2.4. Контрольные задания

### Задание 1.

Рассчитайте элементарный состав рабочей массы ТБО и его удельную теплоту сгорания ( $Q^p$ ) в среднем за год по ряду стран и городов по вариантам, приведенным в табл. 2.6. Исходные данные по элементному составу горючей массы ТБО и его удельной теплоте сгорания ( $Q^f$ ), а также значения влажности и зольности ТБО приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.6

Исходные данные для задания 1 по вариантам

Номер варианта и соответствующая страна или город						
1	2	3	4	5	6	7
Австрия (Вена)	Великобритания (Лондон)	Бельгия (Брюссель)	Испания (Мадрид)	Канада (Оттава)	Нидерланды (Амстердам)	Финляндия (Хельсинки)
8	9	10	11	12	13	14
Франция (Париж)	Швейцария (Берн)	США (Вашингтон)	Япония (Токио)	Россия (Москва)	Россия (С.Петербург)	Россия (Н.Новгород)
15	16	17	18	19	20	21
Россия (Владивосток)	Великобритания (Лондон)	США (Вашингтон)	Испания (Мадрид)	Япония (Токио)	Россия (Москва)	Нижний Новгород

### Задание 2.

Рассчитать элементный состав горючей массы ТБО и его максимальную ( $Q^f_{\text{общ}}$ ) теплоту сгорания. Определите, на сколько изменяются значения теплот сгорания исходного ТБО ( $Q^p_{\text{общ}}$ ) и его горючей массы ( $Q^f_{\text{общ}}$ ).  $Q^p_{\text{общ}}$ , проверьте расчетом по формуле Д. И. Менделеева. Данные по морфологическому составу рабочей массы ТБО по вариантам приведены в таблице 2.7.

### Задание 3.

Рассчитать элементарный состав рабочей массы комбинированного топлива, состоящего на 75 % из ТБО и 25 % из Райчихинского бурого угля. Морфологический состав рабочей массы ТБО по вариантам приведен в табл. 2.7 (см. расчеты по заданию 2). Элементарный состав низкокалорийного природного топлива приведен в табл. 2.4. Вычислите  $Q^p$  для комбинированного топлива и сравните его с теплотой сгорания топлива, состоящего на 100 % из ТБО.

### Задание 4.

Рассчитать удельные теплоты сгорания 100%-ого ТБО и комбинированных топлив в пересчете на рабочую и горючую массы. Морфологический состав рабочей массы ТБО и соотношение «ТБО : природное

топливо» по вариантам приведены в табл. 2.8. Значения удельных теплот сгорания для низкокалорийных природных топлив приведены в табл. 2.4. Сравните полученные результаты. Какое из топлив рационально использовать в промышленности?

Таблица 2.7

Исходные данные морфологического состава рабочей массы ТБО

Наименование исходных данных	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>- Состав ТБО:</i>										
пищевые отходы	46,4	59,0	61,2	44,5	38,9	55,0	39,7	72,1	38,8	56,4
бумага, картон	12,5	10,7	7,8	19,3	21,5	12,0	19,3	2,6	20,5	16,6
древесина	3,5	2,1	8,0	7,7	17,4	2,6	7,0	0,6	7,9	7,3
кожа, резина	2,6	0,7	0,5	2,4	2,2	2,6	-	-	0,8	2,0
пластмасса	5,7	2,4	6,3	4,4	17,0	16,0	2,0	0,9	-	-
текстиль	24,5	12,2	6,6	19,0	-	7,4	2,1	9,2	15,4	-
отсев (<16 мм)	4,8	12,9	9,6	2,7	3,0	4,4	29,9	14,6	16,6	17,7
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<i>- Состав ТБО:</i>										
пищевые отходы	66,2	23,7	56,6	47,9	63,5	46,7	49,2	33,9	14,5	25,8
бумага, картон	12,4	34,7	12,0	21,0	18,7	25,6	27,2	24,8	20,0	15,7
древесина	2,7	3,9	-	4,0	-	4,0	3,2	-	4,8	4,0
кожа, резина	3,8	4,6	-	7,0	7,0	-	12,0	12,8	-	-
пластмасса	4,4	12,4	5,2	4,0	3,2	2,8	2,0	4,0	7,0	7,7
текстиль	2,8	0,9	5,5	5,3	1,1	16,2	0,2	1,9	32,3	26,5
отсев (<16 мм)	6,9	14,9	16,7	7,3	2,8	4,7	6,2	18,3	16,2	13,3
металл	0,2	2,3	-	0,5	0,7	-	-	1,1	2,0	3,0
стекло, камни	0,6	2,6	4,0	3,0	3,0	-	-	3,2	3,2	4,0

Таблица 2.8

Исходные данные морфологического состава рабочей массы ТБО и соотношение «ТБО : природное топливо» в комбинированном топливе

Наименование исходных данных	Номер варианта								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>- Состав ТБО:</i>									
пищевые отходы;	46,4	59,0	61,2	44,5	38,9	55,0	39,7	72,1	38,8
бумага, картон;	12,5	20,0	20,1	20,8	21,2	30,0	23,5	2,6	24,0
древесина;	3,5	1,5	2,0	3,0	1,5	4,0	-	0,6	2,0
кожа, резина;	2,6	-	-	4,0	3,0	-	-	-	2,5
пластмасса;	5,7	1,5	2,0	2,0	1,5	1,6	1,8	0,9	5,0
текстиль;	24,5	4,7	4,8	4,9	5,0	0,6	8,0	9,2	11,0
камни, стекло;	-	0,7	1,2	12,0	10,4	7,2	6,0	5,0	14,0
отсев (<16 мм).	4,8	12,6	11,0	8,8	18,5	1,6	21,0	9,6	2,7
<i>- соотношение ТБО:топливо:</i>									
ТБО:бур.уголь	12:88	80:20	10:90	70:30	-	65:35	-	60:40	-
ТБО:торф	-	-	60:40	-	20:80	-	80:20	-	70:30
ТБО:опилки	10:90	50:50	-	60:40	60:40	70:30	90:10	75:25	60:40

	10	11	12	13	14	15	16	17	18
- Состав ТБО:									
пищевые отходы;	66,2	23,7	56,6	47,9	63,5	46,7	49,2	33,9	14,5
бумага, картон;	12,4	34,7	20,0	22,8	28,0	27,0	24,0	24,4	27,2
древесина;	2,7	3,9	-	2,5	4,0	4,0	3,5	0,5	2,5
кожа, резина;	3,8	4,6	1,0	1,5	-	1,6	1,7	2,5	4,0
пластмасса;	4,4	12,4	1,2	4,2	3,0	3,3	2,7	1,8	5,6
текстиль;	2,8	0,9	7,2	8,4	0,2	2,4	6,6	8,9	12,6
камни, стекло;	-	3,2	4,0	4,0	-	7,0	6,0	15,6	18,9
отсев (<16мм)	7,7	16,6	10,0	8,7	1,3	8,0	6,3	12,4	14,7
- соотношение ТБО:топливо:									
ТБО:бур.уголь	50:50	-	65:35	70:30	70:30	90:10	85:15	-	95:5
ТБО:торф	20:80	60:40	50:50	-	-	55:45	50:50	55:45	75:25
ТБО:опилки	-	70:30	-	95:5	55:45	-	-	85:15	-

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инженерная защита окружающей среды: учебное пособие /под ред.О. Г. Воробьева. – СПб.: Издательство «Лань», 2002.
2. Лакокрасочные покрытия в машиностроении: справочник / под ред.М. М. Гольдберга. – М.: Машиностроение, 1974.
3. Нормативные показатели удельных выбросов вредных веществ в атмосферу от основных видов технологического оборудования предприятий отрасли. - 3-е изд. – Харьков, 1991.
4. Отраслевая методика расчета количества загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух от технологического оборудования полиграфических предприятий. – М., 1990.
5. Каралюнец А. В. Основы инженерной экологии. Термические методы обращения с отходами: Учебное пособие./ А. В. Каралюнец, Т. Н. Маслова, В. Т. Медведев. – М.: Издательство МЭИ, 2000.

Учебное издание

**Чемаева** Ольга Владимировна

**Бузаева** Мария Владимировна

**ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ  
НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Методические указания для практических работ

Редактор Н. А. Евдокимова

Подписано в печать 20.12.2005

Формат 60×84/16

Тираж 50 экз. Заказ

Ульяновский государственный технический университет  
432027. Ульяновск, Сев.Венец, 32.

Типография УлГТУ, 432027, Ульяновск, Сев.Венец, 32