

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Калужский филиал федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения  
высшего профессионального образования

“Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана”

**Лаврентьева Г.В., Николаева Т.С., Астахова Л.В.**

## **Задачи по курсу “Экология”**

Методические указания

Под редакцией Г.В. Лаврентьевой

Калуга 2015

УДК 502/504

ББК 20.18

Б

Данное учебное пособие издается в соответствии с учебным планом направлений подготовки, для которых предусмотрена дисциплина «Экология».

Пособие рассмотрено и одобрено:

Кафедрой ФН2-КФ «Промышленная экология и химия»

\_\_\_\_\_  
протокол № 2 от «28» сентября 2015г.,

Заведующий кафедрой В.В. - Шубин Н.Е.

Методической комиссией ФНК

\_\_\_\_\_  
протокол № 4 от «30» сентября 2015г.,

Председатель методической комиссии ФНК Анфилов К.Л.

Методической комиссией Калужского филиала МГТУ им. Н.Э.

Баумана \_\_\_\_\_ протокол № 2 от «03» 11 2015г.,

Председатель методической комиссии О.Л. Перерва

Рецензент И.А. -

Зав. кафедрой экологии Обнинского института атомной энергетики – филиала Национального Исследовательского ядерного университета «МИФИ», д.б.н.

Авторы

доцент кафедры ФН2-КФ, к.б.н.

ассистент кафедры ФН2-КФ

ст. преподаватель кафедры ФН2-КФ

И.А. - А.А.Удалова

В.В. - Лаврентьева Г.В.

И.А. - Николаева Т.С.

И.А. - Астахова Л.В.

В учебном пособии представлены теоретические материалы и алгоритмы расчёта выбросов загрязняющих веществ для динамично развивающихся направлений производства и техники.

Пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, для которых предусмотрена дисциплина «Экология».

© Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015

© Лаврентьева Г.В.,

© Николаева Т.С.,

© Астахова Л.В., 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	4
Часть 1. Расчет выделения загрязняющих веществ в атмосферный воздух в технических процессах.....	6
1.1. Механическая обработка материалов.....	6
1.2. Сварочные работы.....	7
1.3. Использование лакокрасочных материалов.....	9
1.4. Выделение загрязняющих веществ двигателями автотранспорта.....	12
1.5. Загрязнение воздуха автомобилем в зависимости от типа и технического состояния его двигателя.....	14
1.6. Примеры решения задач .....	16
1.7. Задачи для самостоятельных упражнений.....	18
Часть 2. Расчет необходимой степени очистки сточных вод.....	24
2.1. Взвешенные вещества.....	24
2.2. Растворенный кислород.....	25
2.3. БПК <sub>полн</sub> смеси водного объекта и сточных вод.....	25
2.4. Допустимая температура сточных вод перед сбросом.....	26
2.5. Расчет необходимой степени очистки сточных вод по вредным веществам.....	26
2.6. Примеры решения задач .....	28
2.7. Задачи для самостоятельных упражнений.....	32
Литература.....	36
Приложение.....	37

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Экология в настоящее время приобретает огромное значение как наука, позволяющая найти пути выхода из возникающего кризиса. Только изучив существующие в природе закономерности, можно понять, каким образом организовать собственные отношения со средой обитания, по каким принципам развивать и использовать технический потенциал человечества.

Специалисту в области современных технологий необходимо уметь предвидеть последствия внедрения новых технологий, знать особенности поведения различных химических соединений при их попадании в окружающую среду, уметь оценивать антропогенное воздействие на биосферные процессы. Перед будущими специалистами стоит задача, используя современные достижения науки и техники, варьировать материалами, технологиями, чтобы сделать современное производство и потребление максимально безопасными для окружающей среды и, в конечном счете, для нас самих.

Настоящее учебное пособие написано для проведения семинарских занятий со студентами естественнонаучных специальностей и призвано иллюстрировать содержание по курсу «Экология». На этих занятиях студенты могут применить ранее полученные знания по физике, математике, химии и по другим прикладным наукам.

За последние годы написана масса учебников и пособий по экологии и защите окружающей среды. Много внимания уделяется экологическим проблемам в научных журналах, в популярной литературе и в других изданиях. Между тем задачи по фундаментальной науке – экологии и по общим прикладным вопросам охраны окружающей среды приходится искать по разрозненным литературным источникам, отбирать и видоизменять по задачникам физики, математики, химии и биологии. Авторы стремились создать цельный задачник, который бы отражал основные современные проблемы экологии и прикладные аспекты охраны окружающей среды, так чтобы в представленных задачах все решения доводились бы до количественных оценок, а постановки самих задач служили бы темами для развития дискуссии.

Опыт преподавания дисциплины «Экология» в техническом университете показал, что большинство самостоятельных работ слабо проработаны. В значительной степени это связано с отсутствием учебника, в котором бы подробно излагалась методика решения задач по экологии. Имеющиеся в настоящее время учебники и учебные пособия имеют «биологический» уклон и с большим трудом осваиваются студентами технических специальностей.

Изданием данного учебного пособия авторы пытались устранить создавшийся пробел в учебной литературе для экологической подготовки инженеров и бакалавров в технических вузах.

В данном учебном пособии, опираясь на знания основных законов экологии и основ природопользования, мониторинга окружающей среды и экологического права, излагаемых в лекциях по дисциплине «Экология», для развития экологического мышления, приведены особенности решения задач, отобранных из различных опубликованных материалов, а также созданных вновь авторами данного сборника.

Эти задачи могут быть использованы при проведении семинарских, практических работ и выполнении домашних заданий по дисциплине «Экология» в технических вузах.

Как показала практика выработка навыков решения практических задач по прикладной экологии студентами технических специальностей при изучении дисциплины «Экология» в Калужском филиале МГТУ им. Н.Э. Баумана, качество экологических знаний студентов технических специальностей возросло, что и дало основание к изданию данного учебного пособия и, что поможет им в будущем эффективно решать вопросы создания безотходных и экологически безопасных изделий и технологий их производства.

# ЧАСТЬ 1. РАСЧЕТ ВЫДЕЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ В ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

## 1.1. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ

Механическая обработка материалов может проводиться без охлаждения и с применением смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ). В их числе нефтяные минеральные масла и различные эмульсии, которые уменьшают выделение пыли на 85-90%. В первом случае происходит выделение твердых частиц (пыли), а во втором – дополнительно выделение аэрозоля СОЖ. С металлической пылью, состоящей из обрабатываемого материала или его оксидов, выделяется абразивная пыль, по составу аналогичная материалу шлифовального (заточного) круга [1].

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

$$G = \sum_{i=1}^m g_i k_i^{COЖ} / 3600, (0.1)$$

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

Валовое выделение (в т/год) загрязняющего вещества (пыли) от группы из  $m$  штук станков:

$$M = \sum_{i=1}^m g_i k_i^{COЖ} T_i \cdot 10^{-6} = \sum_{i=1}^m g_i k_i^{COЖ} t_i N_i \cdot 10^{-6}, (0.2)$$

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.

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

$$G_{COЖ} = \sum_{i=1}^m g_i^{COЖ} W_i^* / 3600, (0.3)$$

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

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

$$M = \sum_{i=1}^m g_i^{COЖ} W_i^* T_i \cdot 10^{-6} = \sum_{i=1}^m g_i^{COЖ} W_i^* t_i N_i \cdot 10^{-6}, (0.4)$$

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

Удельное выделение, отнесенное к единице времени (в г/с), определяется по формуле

$$g = g^* p / (T_{nep} \cdot 3600), (0.5)$$

где  $g^*$  – удельное выделение загрязняющих веществ, г/кг;  $p$  – количество перерабатываемого материала за цикл, кг/цикл;  $T_{nep}$  – длительность цикла переработки материала, ч/цикл.

## 1.2. СВАРОЧНЫЕ РАБОТЫ

В процессах сварки, наплавки, тепловой резки происходит загрязнение атмосферного воздуха сварочным аэрозолем, состав которого зависит от вида используемых электродов и флюса. Как правило, это оксиды металлов (железа, марганца, хрома, ванадия, вольфрама, алюминия, титана, цинка, меди, никеля и др.). Помимо аэрозоля выделяются еще и газообразные соединения (фтористые, оксиды углерода и азота, озон и др.).

Количество загрязняющих веществ, выделяющихся при сварочных работах. Оно рассчитывается как валовое выделение вещества на 1 кг используемых сварочных материалов [2].

Максимально разовое выделение (в г/с) загрязняющего вещества (компонентов сварочного аэрозоля и сопутствующих газов) от группы из  $m$  штук одновременно работающих сварочных постов (машин электроконтактной сварки) определяется по формулам:

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

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

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

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

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

$$G = \sum_{i=1}^m g_i^* p / (T_{nep} \cdot 3600), (1.8)$$

где  $g_i^*$  – удельное выделение загрязняющего вещества  $i$ -й горелки, г/кг;  $p$  – количество использованного горючего газа за время непрерывной работы (цикл)  $i$ -й горелки, кг/цикл;  $T_{nep}$  – длительность работы  $i$ -й горелки, ч/цикл.

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

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

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

Пересчет справочных значений удельных выделений загрязняющего вещества от газового резака можно провести по формуле

$$g = g^0 L, (1.10)$$



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

Валовое выделение (в т/год) загрязняющего вещества от группы из  $t$  штук сварочных постов (машин электроконтактной сварки) определяется по формулам

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

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

$$M = \sum_{i=1}^m g_i W_i T_i \cdot 10^{-6} / 50 = \sum_{i=1}^m g_i W_i t_i N_i \cdot 2 \cdot 10^{-8}, (1.12)$$

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  $i$ -й машины за год.

Валовое выделение (в т/год) загрязняющего вещества от группы из  $t$  штук газовых резаков:

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

где  $g_i$  – удельное выделение загрязняющего вещества при работе  $i$ -го резака, г/ч;  $T_i$  – суммарное время работы на  $i$ -м резаке за год, ч/год;  $t_i$  – время работы на  $i$ -м резаке за день, ч;  $N_i$  – количество дней работы на  $i$ -м резаке за год.

### 1.3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В качестве лакокрасочных материалов (ЛКМ) используют шпатлевки, грунтовки, эмали и лаки, содержащие пленкообразующую основу (пленкообразователи и наполнители) и растворители или разбавители (углеводороды, эфиры и спирты).

Лакокрасочное покрытие образуется в ходе его нанесения и сушки. При этом в воздух выделяются аэрозоль краски и пары компонентов растворителя, количество и состав которых зависит от способа окраски, мощности используемого оборудования, состава ЛКМ и растворителей. После завершения окраски и сушки летучие компоненты практически полностью испаряются.

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 газовую фазу, и аэрозоль краски представляет смесь воздуха с твердыми частицами сухого остатка ЛКМ. От способа (технологии) распыления зависит доля общего количества краски, переходящая в момент нанесения покрытия в аэрозоль, уносимый в окружающее пространство мимо окрашиваемого изделия и попадающий в вытяжную вентиляционную систему. Нанесение ЛКМ кистью, окунанием, обливом, так же как и ручное выравнивание поверхностей шпатлеванием и подобные им процессы не сопровождаются образованием аэрозоля краски [3].

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

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

где  $Z_{кр}$  – количество израсходованного исходного ЛКМ, т/год;  
 $\Delta_{сух}$  – доля сухого остатка в исходном ЛКМ, %;  $\delta_{aэp}$  – доля ЛКМ, потерянного в виде аэрозоля, %, которая выбирается согласно таблице 1.

Таблица 1

Зависимость доли ЛКМ, потерянной в виде аэрозоля

Способ распыления:	$\delta_{aэp}$ , %
пневматическое	30
безвоздушное	2,5
пневмоэлектростатическое	3,5
электростатическое	0,3

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

$$M_i^{ок} = Z_{кр} \left(1 - \Delta_{сух} \cdot 10^{-2}\right) \varphi_i^{кр} \beta^{ок} \cdot 10^{-4} + Z_{раст} \varphi_i^{раст} \beta^{ок} \cdot 10^{-4}, (1.15)$$

в процессе сушки

$$M_i^{суш} = Z_{кр} \left(1 - \Delta_{сух} \cdot 10^{-2}\right) \varphi_i^{кр} \beta^{суш} \cdot 10^{-4} + Z_{раст} \varphi_i^{раст} \beta^{суш} \cdot 10^{-4}, (1.16)$$

где  $Z_{раст}$  – количество растворителя, израсходованного за год на разбавление исходного ЛКМ до требуемой вязкости, т/год;  $\varphi_i^{кр}$  ( $\varphi_i^{раст}$ ) – доля  $i$ -го компонента в летучей части исходного ЛКМ (в растворителе-разбавителе), %;  $\beta^{ок}$  ( $\beta^{суш}$ ) – доля растворителя, испаряющаяся за время окраски (сушки), %, которая выбирается согласно таблице 2.

Таблица 2

Зависимость доли растворителя, испаряющегося во время окраски (сушки) от способа распыления

Способ распыления:	$\beta^{ок}$ , %	$\beta^{суш}$ , %
пневматическое	25	75
безвоздушное	23	77
пневмоэлектростатическое	20	80
электростатическое	50	50

Максимально разовое выделение (в г/с) загрязняющего вещества определяется для наиболее напряженного времени работы участка (специализированной камеры, печи), когда расходуется наибольшее количество ЛКМ, по формуле

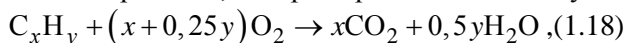
$$G_i^{аэп} = M_{imax} \cdot 10^{-6} / (3600 \cdot n \cdot t), (1.17)$$

где  $M_{imax}$  – валовое выделение  $i$ -го компонента растворителя (аэрозоля краски) за месяц наиболее напряженной работы ( $M_i^{ок}$ ,  $M_i^{суш}$  или  $M_i^{аэп}$ ), т/мес.;  $n$  – число дней работы участка (камеры, печи) в этом месяце, дней/мес.;  $t$  – среднее чистое время

работы (окраски, сушки) участка (камеры, печи) за день в наиболее напряженный месяц, ч/день.

#### 1.4. ВЫДЕЛЕНИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ДВИГАТЕЛЯМИ АВТОТРАНСПОРТА

Неполное или неравномерное сгорание топлива в двигателях автомобилей приводит к загрязнению воздушной среды. Выхлопные газы попадают в атмосферу из камеры сгорания, в которой протекает химическая реакция, которая представлена следующим уравнением.



где  $C_xH_y$  – условное обозначение гаммы углеводородов, входящих в состав топлива.

Основными загрязняющими веществами, входящими в состав выхлопных газов, являются  $CO$ ,  $C_nH_m$ ,  $NO_x$ . В некоторых случаях содержатся также  $SO_2$ , сажа, бенз(а)пирен, соединения свинца. На разных этапах работы двигателя выделяется разное количество загрязняющих веществ.

При расчете выбросов в атмосферу необходимо учитывать холодный, теплый и переходный периоды года. Продолжительность условных периодов принимается в соответствии со СНиП 2.01.01-82. Влияние периода года учитывается для автомобилей, выезжающих и въезжающих на стоянки. Пробег автомобиля по территории предприятия в день соответствует пути, проходимому от центра площадки-стоянки до ворот при въезде и выезде в сумме.

Массовый выброс продуктов неполного сгорания при прогреве двигателя – величина непостоянная, по мере прогрева выбросы  $CO$ ,  $C_nH_m$  и сажи ( $C$ ) уменьшаются, а выбросы  $NO_x$  незначительны. Удельные нормативные выбросы отражают интегральную оценку выбросов за это время.

Валовое выделение (в г/день) загрязняющего вещества одним автомобилем К-й группы в день при выезде с территории предприятия ( $M'_K$ ) и возврате ( $M''_K$ ) определяется по формулам

$$M'_K = g_{np}t_{np} + g_L L' + g_{xx}t_{xx}, (1.19)$$

$$M''_K = g_L L'' + g_{xx}t_{xx}, (1.20)$$

где  $g_{np}$  – удельное выделение загрязняющего вещества при прогреве двигателя автомобиля, г/мин;  $g_L$  – удельное выделение загрязняющего вещества при движении по территории, г/км;  $g_{xx}$  – удельное выделение загрязняющего вещества двигателем на холостом ходу, г/мин;  $L'(L'')$  – пробег по территории предприятия в день при выезде (возврате), км;  $t_{np}$  – время прогрева двигателя, мин;  $t_{xx}$  – время работы двигателя на холостом ходу, мин [4].

Величина  $t_{np}$  принимается одинаковой для различных типов автомобилей, но существенно зависит от температуры воздуха (см. табл. 3). При хранении в помещении  $t_{np}$  равно 0,5 мин. При наличии средств прогрева при температуре ниже минус 5°C  $t_{np}$  равно 6 мин.

Таблица 3

Зависимость  $t_{np}$  от температуры воздуха

Температура воздуха, °C	$t_{np}$ , мин
выше +5	4
+5.....–5	6
–5.....–10	12
–10.....–15	20
–15.....–20	28
–20.....–25	36
ниже –25	45

Продолжительность работы двигателя на холостом ходу при выезде на линию (возврате) в среднем составляет 1 мин.

Валовое выделение (в т/год) загрязняющего вещества от группы из  $N$  штук автомобилей рассчитывается отдельно для теплого (Т), переходного (П) и холодного (Х) периодов года по следующей формуле

$$M^{T(П,Х)} = \alpha (M'_k + M''_k) N D^{T(П,Х)} \cdot 10^{-6}, (1.21)$$

где  $\alpha$  – коэффициент выпуска – отношение количества выезжающих с территории предприятия к количеству имеющихся автомобилей данной группы;  $D^{T(П,Х)}$  – количество рабочих дней в рассчитываемом периоде года (холодном, теплом, переходном).

Общее (годовое) валовое выделение загрязняющего вещества определяется суммированием по формуле:

$$M^{\Sigma} = M^T + M^{\Pi} + M^X, (1.22)$$

Максимально разовое выделение (в г/с) загрязняющего вещества автомобилей К-й группы рассчитывается для месяца с наиболее низкой среднемесячной температурой по формуле

$$G = M'_k \alpha N / (60 t_p), (1.23)$$

где  $t_p$  – время разезда автомобилей, мин.

### 1.5. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУХА АВТОМОБИЛЕМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА И ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЕГО ДВИГАТЕЛЯ

При расчете загрязнения двигателя необходимо учитывать модель транспортного средства и объем двигателя (см. табл. 4). Также учитывается вид топлива выбранного автотранспортного средства (АТС): бензин, дизельное топливо, сжиженный нефтяной газ или сжатый природный газ. В таблице 4 приведены некоторые варианты АТС с двигателями, работающими на бензине или дизельном топливе.

Таблица 4

Усредненные выбросы вредных веществ при движении с постоянной скоростью, г/км

Компонент выброса	Легковой, бензиновый, 1л	Легковой, бензиновый, 2,5л	Грузовой, дизельный, 6л	Автобус, бензиновый, 7л	Грузовой, дизельный, 10,8л	Грузовой, дизельный, 14л
Сажа	-	-	-	-	0,345	0,96
CO	15,1	12,0	48,77	40,36	5,44	17,12
NO <sub>x</sub>	2,26	0,94	11,06	14,03	9,7	24,6
SO <sub>2</sub>	0,125	0,2	0,513	0,732	2,088	5,533
SO <sub>2</sub> '	0,025	0,04	0,103	0,146	0,835	2,213
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	1,2	1,1	4,42	4,46	2,14	11,21
Pb'	0,021	0,033	0,085	0,121	-	-

При расчете необходимо учитывать удельные выбросы вредных веществ для автомобилей, движущихся с постоянной скоростью. Зависимости для них приведены в таблице 5.

Таблица 5

Зависимости для расчета удельных ( $q_i$ , г/км) выбросов вредных веществ при движении автомобиля с постоянной скоростью

Компонент выброса	Расчетные зависимости	Формула
Легковой, бензиновый, 1л		
CO	$q = 0,003609V^2 - 0,325V + 10,007$	(1.24)
SO <sub>2</sub>	$q = 0,002629V^2 - 0,522V + 189,46$	(1.25)
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	$q = 0,00007091V^2 - 0,013V + 1,511$	(1.26)
NO <sub>x</sub>	$q = 0,00037951V^2 - 0,034V + 1,734$	(1.27)
Pb	$q = 0,000000303V^2 - 0,00005758V + 0,023$	(1.28)
SO <sub>2</sub>	$q = 0,00000181838V^2 - 0,0003273V + 0,033$	(1.29)
Легковой, бензиновый, 2,5л		
CO	$q = 0,001474V^2 - 0,239V + 14,751$	(1.30)
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	$q = 0,0001631V^2 - 0,018V + 0,743$	(1.31)
NO <sub>x</sub>	$q = 0,00006925V^2 - 0,00277V + 0,411$	(1.32)
SO <sub>2</sub>	$q = 0,0001281V^2 - 1,281V + 0,162$	(1.33)
Грузовой, дизельный, 6л		
CO	$q = 0,028V^2 - 1,97V + 45,95$	(1.34)
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	$q = 0,00127V^2 - 0,127V + 6,004$	(1.35)
NO <sub>x</sub>	$q = 0,00521V^2 - 0,177V + 2,082$	(1.36)
Автобус, бензиновый, 7л		
CO	$q = 0,037V^2 - 3,364V + 86,563$	(1.37)
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	$q = 0,00257V^2 - 0,256V + 8,686$	(1.38)
NO <sub>x</sub>	$q = 0,012V^2 - 0,742V + 13,352$	(1.39)

Изменение выбросов автомобиля с начала эксплуатации по мере выработки ресурса двигателя (износ деталей, нарушение заводских регулировок) можно определить следующим образом:

$$K_w = A_0 + A_1 \cdot L_a + A_2 \cdot L_a^2 + A_3 \cdot L_a^3, (1.41)$$

где  $K_w$  – изменение пробегового выброса вещества автомобилем в процессе эксплуатации по сравнению с базовым, %;  $L_a$  – пробег автомобиля с начала эксплуатации, тыс. км;  $A_{0,1,2,3}$  – параметры в уравнении регрессии (табл. 6).

Таблица 6

Значение коэффициентов в уравнении регрессии

Компонент выброса	$A_0$	$A_1$	$A_2 \cdot 10^{-6}$	$A_3 \cdot 10^{-6}$
CO	100,73	0,16	357,69	-0,87
$C_xH_y$	101,04	0,079	646,25	0,43
$NO_x$	97,92	0,015	-1174,42	1,12
Сажа	99,28	0,284	911,29	0,94
CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , Pb	99,999	0,2	-0,03	0

Выбросы  $i$ -го вредного вещества в зависимости от срока службы за период выработки ресурса определяются по формуле:

$$Q_i = q_i \cdot L_a \cdot K_w \cdot 100, (1.42)$$

где  $q_i$  – удельные (на км пробега) выбросы одиночных новых автомобилей, г/км;  $L_a$  – пробег автомобиля с начала эксплуатации, км [5].

## 1.6. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 1. На токарном участке механической обработки деталей установлено: три токарных одношпиндельных автоматических станков и шесть карусельных фрезерных станков мощностью 5500 и 8000 Вт соответственно. Обработка деталей осуществляется без применения СОЖ. Участок работает 320 дней в году, при этом станки работают одновременно по 7,5 часов каждый день. Рассчитать максимально разовое выделение (г/с) аэрозоля СОЖ и пыли от работающих станков; валовое выделение (т/год) пыли и аэрозоля в атмосферу из цеха.

Решение.

Согласно методике расчета выделений загрязняющих веществ атмосферу при механической обработке металлов удельное выделение пыли для токарного одношпиндельного автоматического станка составляет 6,52 г/ч, а для карусельного фрезерного – 15,12 г/ч.



Максимально разовое выделение (г/с) аэрозоля СОЖ и пыли от работающих станков

$$G = \sum_{i=1}^m g_i k_i^{COЖ} / 3600 = (6,52 \cdot 3 + 15,12 \cdot 6) \cdot 1 / 3600 = \\ = (19,56 + 90,72) / 3600 = 0,0312 \text{ г/с}$$

Валовое выделение (т/год) пыли определяем по уравнению 3.2:

$$M = \sum_{i=1}^m g_i k_i^{COЖ} t_i N_i \cdot 10^{-6} = 110,28 \cdot 1 \cdot 7,5 \cdot 320 \cdot 10^{-6} = 0,2659 \text{ т/год}$$

Задача 2. При изготовлении металлоконструкции электросваркой расходуется 4 кг в день (1016 кг в год) электродов марки ОЗС-4. Непрерывная сварка продолжается в течение 3 часов. Определить максимально разовое выделение и валовое выделение загрязняющих веществ.

Решение. При электросварке выделяется сварочный аэрозоль, состоящий из оксида железа, соединений марганца и фтористого водорода. Удельное выделение загрязняющих веществ относительно расхода сварочных материалов составляет: оксид железа – 11,41 г/кг; соединение марганца – 0,86 г/кг; фтористый водород – 1,53 г/кг.

1) По уравнению (2.1) максимально разовое выделение загрязняющих веществ:

$$G_{FeO} = g_{FeO}^* P / (T_{nep} \cdot 3600) = 11,41 \cdot 4 / (3 \cdot 3600) = 0,00423 \text{ г/с};$$

$$G_{Mn} = g_{Mn}^* P / (T_{nep} \cdot 3600) = 0,86 \cdot 4 / (3 \cdot 3600) = 0,0003 \text{ г/с};$$

$$G_{HF} = g_{HF}^* P / (T_{nep} \cdot 3600) = 1,53 \cdot 4 / (3 \cdot 3600) = 0,00057 \text{ г/с}.$$

2) По уравнению (2.6) валовое выделение загрязняющих веществ:

$$M_{FeO} = g_{FeO}^* P \cdot 10^{-6} = 11,41 \cdot 1016 \cdot 10^{-6} = 0,0116 \text{ т/г};$$

$$M_{Mn} = g_{Mn}^* P \cdot 10^{-6} = 0,86 \cdot 1016 \cdot 10^{-6} = 0,00087 \text{ т/г};$$

$$M_{HF} = g_{HF}^* P \cdot 10^{-6} = 1,53 \cdot 1016 \cdot 10^{-6} = 0,0016 \text{ т/г}.$$

Задача 3. Окраска деталей осуществляется методом пневматического распыления эмалью МЧ-240. При этом за год израсходовано 9,8 т. Рассчитать годовые валовые выделения и выброс окрасочного аэрозоля.

Решение. Доля сухого остатка в эмали составляет 45%.

1) Валовое выделение окрасочного аэрозоля:

$$M_{aep} = Z_{кр} \Delta_{сух} \delta_{aep} \cdot 10^{-4} = 9,8 \cdot 45 \cdot 30 \cdot 10^{-4} = 1,3230 \text{ т/г.}$$

Задача 4. Рассчитайте количество выбросов углеводородов для грузовой автомашины (дизельный двигатель, объемом 14л) с учетом износа деталей и нарушения заводских регулировок при пробеге 87 тыс. км.

Решение. По табл. 1 определяем, что усредненные выбросы углеводородов у новых грузовых машин (дизельный, 14л) составляют 11,21 г/км.

Пробег автомашины составляет 87 тыс. км по условию. В соответствии с этим рассчитаем изменение выброса углеводородов

$$K_w = 101,04 + 0,079 \cdot 87 + 646,25 \cdot 10^{-6} \cdot 87^2 + 0,43 \cdot 10^{-6} \cdot 87^3 = \\ = 101,04 + 6,873 + 4,89 + 0,283 = 113,1\%$$

Выброс углеводородов (г) автомашины КРАЗ-260 с пробегом составит

$$Q_{уг} = 11,21 \cdot 87000 \cdot 113,1 \cdot 100 = 1103030,37 \text{ г}$$

## 1.7. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ УПРАЖНЕНИЙ

Задача 1. Определить максимально разовое выделение пыли и аэрозоля на участках цеха и валовое выделение пыли и аэрозоля, поступающего в атмосферу по вариантам для условий, представленных в таблице 7.

Таблица 7

Варианты для задачи 1

№ вар	Технол. операция	Кол-во станков	Мощн. станка кВт	Уд. выд. пыли, г/ч	Уд. выд. аэрозоля, *10 <sup>-5</sup> г/с на 1кВт мощн. ст.
1	Обработка резанием чугуновых деталей	5 токарных одношпиндельных	5,50	6520	
		3 зубофрезерных	10,0	3960	
2	Обработка резанием чугуновых деталей	2 сверлильных	4,50	7920	5,600
		3 токарных многошпиндельн	17,00	34900	

		ых полуавтомата			
3	Обработка резанием чугуновых деталей	4 зубофрезерных	15,00	3960	
		5 барабанно-фрезерных	10,00	1,08 (*10 <sup>5</sup> )	5,600
4	Обработка бронзы резанием и других цветных металлов	3 расточных	5,00	2520	5,600
		6 крацевальных	7,00	28800	
5	Обработка бронзы резанием и других цветных металлов	5 токарных	2,00	9000	5,600
		4 сверлильных	4,00	1440	5,600
6	Обработка бронзы резанием и других цветных металлов	7 отрезных	3,50	50400	5,600
		1 специальный фрезерный	4,70	20500	
7	Обработка резанием бериллиево й бронзы	4 токарных	5,00	360	
		3 фрезерных	3,50	50,4	5,600
8	Обработка резанием бериллиево й бронзы	5 сверлильных	2,00	3600	
		2 расточных	4,50	108	
		6 фрезерных	3,50	50,4	
9	Обработка резанием свинцовых бронз	1 токарный	2,50	2880	
		3 расточных	3,60	720	5,600
10	Обработка	5 фрезерных	3,50	79,2	

	резанием алюминиев ых бронз	4 сверлильных	2,80	169,2	5,600
--	-----------------------------------	---------------	------	-------	-------

Задача 2. Определить максимально разовое выделение и валовое выделение загрязняющих веществ по вариантам для условий, представленных в таблице 8.

Таблица 8

Варианты для задачи 1

№ ва р	Технологический процесс	Марка электрода	Составляющи е сварочного аэрозоля	Концентраци и компонентов сварочного аэрозоля, мг/м <sup>3</sup>
1	Ручная дуговая сварка	МР-3	Железа оксид	14,78
			Кремний	5,38
			Диоксид титана	4,43
			Озон	0,3
2	Ручная дуговая сварка	ОЗЛ-17У	Медь	3
			Молибден	1,17
			Железа оксид	7,38
			Кремний	2,35
			Диоксид титана	6,48
3	Ручная дуговая сварка	Н-37	Оксид алюминия	3,46
			Железа оксид	15,47
			Диоксид титана	7,25
			Диоксид азота	2,25
			Озон	0,05
4	Ручная дуговая наплавка	ОЗИ-3	Молибден	1,32
			Вольфрам	8,54
			Оксид железа	12,35
			Кремний	3,78
			Диоксид азота	1,74

			Озон	0,05
5	Ручная дуговая наплавка	ФБХ 6-2	Вольфрам	5,48
			Оксид железа	8,46
			Кремний	5,13
6	Ручная дуговая наплавка	ПС-14-30	Вольфрам	7,20
			Оксид железа	5,69
			Кремний	0,08
7	Механизированная дуговая сварка и наплавка	Св-08ГС	Оксид железа	14,35
			Кремний	5,68
			Диоксид азота	2,25
			Озон	0,87
8	Механизированная дуговая сварка и наплавка	Св-08ХЗГ2СМ	Хрома (III) оксид	1,3
			Оксид железа	13,25
			Кремний	7,258
			Диоксид азота	2,38
			Озон	0,003
9	Механизированная дуговая сварка и наплавка	Св-08Х20Н9	Хрома (III) оксид	0,8
			Оксид железа	7,54
			Кремний	4,35
			Диоксид азота	5,48
			Озон	1,25
10	Электрошлаковая сварка меди	Флюс АН-М10	Диоксид титана	6,53
			Оксид цинка	0,35
			Углерода монооксид	35,0

Задача 3. Рассчитать максимально разовый выброс в атмосферу окрасочного аэрозоля и валовый выброс всех загрязняющих веществ при пневматическом распылении по вариантам для условий, представленных в таблице 9.

Таблица 9

Варианты для задачи 1

№ вар.	ЛКМ	Доля сухой части, %	Наименование компонента	Содерже компонента, %
--------	-----	---------------------	-------------------------	-----------------------

1	АК-194	28	Бутилацетат	50
			Спирт н-бутиловый	20
			Спирт этиловый	10
			Толуол	20
2	АК-1102	19,5	Ацетон	29,13
			Бутилацетат	29,13
			Спирт н-бутиловый	2,91
			Ксилол	38,83
3	МЛ-12	35	Спирт н-бутиловый	20,78
			Уайт-спирит	20,14
			Этилцеллозольв	1,4
			Сольвент	57,68
4	НЦ-11	25,5	Бутилацетат	25
			Этилацетат	25
			Спирт н-бутиловый	10
			Спирт этиловый	15
			Толуол	25
5	ПФ-115	55	Ксилол	50
			Уайт-спирит	50
6	ЭП-51	21	Ацетон	4
			Спирт н-бутиловый	4
			Бутилацетат	33
			Этилацетат	16
			Толуол	43
7	ХВ-16	21,5	Ацетон	13,33
			Бутилацетат	30
			Толуол	22,22
			Ксилол	34,45
8	ВЛ-515	28	Спирт этиловый	18,4
			Толуол	51,6
			Этилцеллозольв	30
9	КО-811	35,5	Бутилацетат	50
			Спирт н-бутиловый	20
			Спирт этиловый	10
			Толуол	20
10	ЭП-525	71	Ацетон	23,57
			Бутилацетат	45,99

			Ксилол	30,44
--	--	--	--------	-------

Задача 4. Рассчитайте количество выбросов с учетом износа деталей и нарушения заводских регулировок при пробеге по вариантам для условий, представленных в таблице 10.

Таблица 10

Варианты для задачи 1

№ вар.	Тип автомобиля и двигателя	Пробег, тыс. км	Компоненты выбросов
1	Легковой, бензиновый, 1л	20	$C_xH_y$ , CO
2	Легковой, бензиновый, 1л	80	$NO_x$ , $SO_2$
3	Легковой, бензиновый, 2,5л	45	CO, $NO_x$
4	Легковой, бензиновый, 2,5л	60	CO, $NO_x$ , $SO_2$
5	Грузовой, дизельный, 6л	127	$NO_x$ , $SO_2$
6	Грузовой, дизельный, 6л	87	CO, $NO_x$ , $SO_2$
7	Грузовой, дизельный, 10,8л	35	$NO_x$ , $SO_2$
8	Грузовой, дизельный, 10,8л	200	CO, $NO_x$
9	Грузовой, дизельный, 14л	350	Сажа, $SO_2$
10	Автобус, бензиновый, 7л	100	CO, $NO_x$

## ЧАСТЬ 2. РАСЧЕТ НЕОБХОДИМОЙ СТЕПЕНИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Сточные воды можно сбрасывать в водные объекты только в том случае, если соблюдены гигиенические требования относительно воды водного объекта в зависимости от вида водопользования. Необходимо, чтобы выполнялось следующее условие санитарного состояния водного объекта:

$$\sum_1^Z \frac{C_{p.c.}^z}{ПДК_z} \leq 1, (2.1)$$

где  $C_{д.л.}^z$  – концентрация i-го вещества в расчетном створе при условии одновременного присутствия Z веществ, относящихся к одному и тому же лимитирующему показателю вредности (ЛПВ);  $i = 1, 2, \dots, Z$ ; Z – количество веществ с одинаковым ЛПВ;  $C_{ПДК}^z$  – предельно допустимая концентрация z вещества.

Для расчета этого неравенства следует рассчитать предельно допустимые концентрации каждого вещества в сточной воде. Рассмотрим их.

### 2.1. ВЗВЕШЕННЫЕ ВЕЩЕСТВА

Взвешенные вещества представлены в сточных водах органическими и неорганическими частицами, находящимися во взвешенном состоянии. Они являются наиболее частым загрязнителем различных видов сточных вод.

Концентрацию взвешенных веществ в очищенной сточной воде, разрешенной к сбросу в водный объект, определяют из выражения:

$$C_{оч} = K_{разр} \left( \frac{\gamma Q}{q} + 1 \right) + C_{ф}, (2.2)$$

где  $C_{ф}$  – концентрация взвешенных веществ в воде водного объекта до сброса сточных вод, мг/л;  $K_{разр}$  – разрешенное санитарными нормами увеличение содержания взвешенных веществ в воде водного объекта в расчетном створе.

Рассчитав необходимую концентрацию взвешенных веществ в очищенной сточной воде ( $C_{оч}$ ) и зная концентрацию взвешенных



веществ в сточной воде, поступающей на очистку ( $C_{ст}$ ), определяют необходимую эффективность очистки сточных вод по взвешенным веществам по формуле:

$$\mathcal{E}_{взв} = \frac{C_{см} - C_{оч}}{C_{см}} \cdot 100\% , (2.3)$$

## 2.2. РАСТВОРЕННЫЙ КИСЛОРОД

Растворенный кислород постоянно присутствует в поверхностных водах. Он необходим для процессов самоочищения водоемов, а также для обеспечения дыхания организмов, обитающих в водной среде [6]. Содержание растворенного кислорода может меняться в течение суток и в зависимости от сезона.

В соответствии с правилами охраны поверхностных вод содержание растворенного кислорода в водном объекте в результате сброса в него сточных вод не должно быть менее 4 мг/дм<sup>3</sup> или 6 мг/дм<sup>3</sup> в зависимости от вида водопользования и времени года.

Расчет ведут по полному биохимическому потреблению кислорода (БПК<sub>полн</sub>) в очищенных сточных водах ( $L_{полн}^{ст}$ ) из условия сохранения растворенного кислорода:

$$L_{полн}^{ст} = \frac{\gamma Q}{0,4 q_{сут}} (O^B - 0,4 L_{полн}^B - O) - \frac{O}{0,4} , (2.4)$$

где  $Q_{сут}$  – расход воды водотока, м<sup>3</sup>/сут.;  $\gamma$  – коэффициент смешения;  $O^B$  – содержание растворенного кислорода в водотоке до места выпуска сточных вод, г/м<sup>3</sup>;  $q_{сут}$  – расход сбрасываемых сточных вод, м<sup>3</sup>/сут.;  $L_{полн}^B$  – полное биохимическое потребление кислорода водой водотока, г/м<sup>3</sup>;  $L_{полн}^{ст}$  – полное биохимическое потребление кислорода сточной водой, допускаемой к сбросу, г/м<sup>3</sup>;  $O$  – минимальное содержание растворенного кислорода водного объекта, принимаемое равным 4 или 6 г/м<sup>3</sup>; 0,4 – коэффициент для пересчета БПК<sub>полн</sub> в БПК<sub>2</sub>.

## 2.3. БПК<sub>полн</sub> СМЕСИ ВОДНОГО ОБЪЕКТА И СТОЧНЫХ ВОД

Биологическим потреблением кислорода (БПК) называется количество кислорода, потраченное аэробное окисление при

помощи микроорганизмов и разложение нестойких органических соединений, содержащихся в исследуемой воде.

При сбросе сточных вод в водные объекты снижение концентрации органических веществ происходит как за счет разбавления, так и благодаря процессам самоочищения. При протекании процесса самоочищения скорость изменения БПК пропорциональна количеству кислорода, потребного для биологического окисления органических веществ.

Расчет ведут по величине БПК<sub>полн</sub> сточных вод, допустимых к отводу в водные объекты:

$$L_{cm} = \frac{\gamma Q}{q \cdot 10^{-k_{cm}t}} \left( L_{ПДК} - L_B \cdot 10^{-k_B t} \right) + \frac{L_{ПДК}}{10^{-k_{cm}t}}, (2.5)$$

где  $\gamma$  – коэффициент смешения;  $Q$  – расход воды в водотоке м<sup>3</sup>/с;  $q$  – расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с;  $k_{ст}$ ,  $k_B$  – константы скорости потребления кислорода соответственно сточной водой и водой водного объекта;  $L_{ПДК}$  – значение допустимой концентрации БПК<sub>полн</sub> смеси сточных вод и воды водного объекта в расчетном створе, мг/дм<sup>3</sup>;  $L_B$  – БПК<sub>полн</sub> воды водного объекта до места выпуска сточных вод, дм<sup>3</sup>/л;  $t$  – длительность перемещения воды от места сброса до расчетного створа, сут.

## 2.4. ДОПУСТИМАЯ ТЕМПЕРАТУРА СТОЧНЫХ ВОД ПЕРЕД СБРОСОМ

Расчет ведут исходя из условий, что температура воды водного объекта не должна повышаться более величины, оговоренной правилами охраны поверхностных вод в зависимости от вида водопользования. При этом температура сбрасываемой воды не должна вызывать перегрев в водоеме.

Температура сточных вод, разрешенных к сбросу, должна удовлетворять условию:

$$T_{cm} \leq n \cdot T_{доп} + T_B, (2.6)$$

где  $T_{доп}$  – допустимое повышение температуры;  $T_B$  – температура водного объекта до места сброса сточных вод.

## 2.5. РАСЧЕТ НЕОБХОДИМОЙ СТЕПЕНИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПО ВРЕДНЫМ ВЕЩЕСТВАМ

Все вредные вещества, для которых определены значения ПДК, группируются по лимитирующим показателям вредности (ЛПВ) в зависимости от вида пользования.

Санитарное состояние водного объекта в результате сброса сточных вод считается удовлетворительным, если вещества, входящие в определенный ЛПВ, будут содержаться в концентрациях, удовлетворяющих условию (2.1). Из (2.1) следует, что каждое вредное вещество, входящее в ЛПВ, при условии одновременного присутствия  $i$ -веществ, может присутствовать в расчетном створе в концентрациях, не более чем:

$$C'_{p.c.} \leq C_{ПДК}^z \left( 1 - \sum_{i=1}^z \frac{C_{p.c.}^z}{C_{ПДК}^i} \right), (2.7)$$

где  $C'_{p.c.}$  – значение концентрации вредного вещества в расчетном створе при условии одновременного присутствия  $z$  веществ с одинаковым ЛПВ;  $C_{p.c.}^z$  – фактическая или расчетная концентрация  $z$ -го вещества в расчетном створе;  $C_{ПДК}^z$  – предельно допустимая концентрация  $z$ -го вещества.

Концентрацию каждого из  $z$ -го веществ в очищенных сточных водах, при условии соблюдения неравенства (2.1), можно определить из выражения:

$$C_{оч}^z \leq n \left( C_{p.c.}^z - C_{в}^z \right) - C_{в}^z, (2.8)$$

где  $C_{оч}^z$  – концентрация  $z$ -го вещества в очищенной воде, перед сбросом в водный объект, при условии одновременного присутствия веществ с одинаковым ЛПВ;  $C_{p.c.}^z$  – концентрация  $z$ -го вещества в расчетном створе;  $C_{в}^z$  – концентрация  $z$ -го вещества в водном объекте до места сброса сточных вод;  $n$  – кратность разбавления сточных вод.

Используя уравнение эффективности очистки (2.3), найдем значение  $C_{оч}^z$  для каждого из веществ, относящихся к этой группе ЛПВ:

$$C_{оч}^z = \left( 1 - \frac{\mathcal{E}_z}{100} \right) C_{ст}^z, (2.9)$$

где  $C_{ст}^z$  – концентрация  $z$ -го вещества в сточной воде, поступающей на очистку;  $\mathcal{E}_z$  – эффективность очистки  $z$ -го вещества.

Приравнивая правые части уравнений (2.7, 2.8), определяем максимально допустимую концентрацию z-го вещества в расчетном створе:

$$C_{p.c.}^z = \frac{1}{n} \left( 1 - \frac{\Theta_z}{100} \right) C_{cm}^z + \frac{n-1}{n} C_{\theta}^z, (2.10)$$

Вычислив значение концентрации  $C_{p.c.}^z$  для каждого из веществ, входящую в определенный ЛПВ, и подставив в выражение (2.1), получим расчетную формулу для определения степени очистки:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^z \left( 1 - \frac{\Theta_z}{100} \right) \frac{C_{cm}^z}{C_{ПДК}^z} + \frac{n-1}{n} \sum_{i=1}^z \frac{C_{\theta}^z}{C_{ПДК}^z} \leq 1, (2.11)$$

Практика работы очистных сооружений показывает, что вещества, входящие в определенный ЛПВ, очищаются не одинаково. Поэтому определение эффективности очистки должно быть выполнено для вещества, наиболее трудно выводимого из сточных вод. Остальные компоненты, как более легко выводимые, будут заведомо иметь больший эффект очистки.

Эффективность очистки трудно удаляемого вещества определяется из выражения:

$$\Theta_z = \left( 1 - \frac{1 - \frac{n-1}{n} \sum_{i=1}^z \frac{C_{\theta}^z}{C_{ПДК}^z}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^z \frac{C_{cm}^z}{C_{ПДК}^z}} \right) \cdot 100, (2.12)$$

## 2.6. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 1. Очищенные воды с расходом  $q = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$  сбрасываются в водный объект. Расход водного объекта составляет  $Q = 40 \text{ м}^3/\text{с}$ . Исходная концентрация взвешенных веществ в сточной воде, поступающей на очистные сооружения,  $C_{ст} = 400 \text{ мг/л}$ . Водный объект имеет рыбохозяйственное назначение. Фоновая концентрация взвешенных веществ в воде водного объекта до места сброса  $C_{\phi} = 3 \text{ мг/л}$ . Коэффициент смешения для данного случая:  $\gamma = 0,70$ . Найти требуемую эффективность очистки.

Решение. В соответствии с «Правилами охраны поверхностных вод», допустимое увеличение содержания взвешенных веществ в водном объекте после сброса сточных вод  $P = 0,25$  мг/л.

Концентрация взвешенных веществ в очищенной сточной воде, разрешенной к сбросу в водный объект, определяется по формуле 2.2:

$$C_{оч} = 0,25 \cdot \left( \frac{0,70 \cdot 40}{0,5} + 1 \right) + 3 = 17,25 \text{ мг / л}$$

Для этого очистные сооружения должны обеспечить необходимую эффективность очистки сточных вод по взвешенным веществам (2.3):

$$\mathcal{E}_{взв} = \frac{400 - 17,25}{400} \cdot 100\% = 95,69\%$$

Задача 2. Сточные воды с расходом  $q = 1,3$  м<sup>3</sup>/с сбрасываются в водоток (культурно-бытовые нужды) с расходом  $Q = 50$  м<sup>3</sup>/с. Коэффициент смешения сточных вод  $\gamma = 0,6$ . Содержание растворенного кислорода в воде водотока до места сброса сточных вод  $O^в = 6,0$  мг/л. БПК<sub>полн</sub> в водотоке до места сброса  $L^в_{полн} = 1,7$  мг/л. Необходимо определить необходимую степень очистки сточных вод по содержанию растворенного кислорода.

Решение. Допустимая концентрация растворенного кислорода в расчетном створе для коммунально-бытовых нужд населения не должна быть менее 4 мг/л в любой период года.

Расчетную концентрацию по БПК<sub>полн</sub> в очищенных сточных водах определяем по формуле (2.4):

$$L^ст_{полн} = \frac{0,6 \cdot 50}{0,4 \cdot 1,3} \cdot (6,0 - 0,4 \cdot 1,7 - 4) - \frac{4}{0,4} = 66,2 \text{ мг / л}$$

Необходимая степень очистки сточных вод может быть определена, если мы знаем, что полное биохимическое потребление кислорода сточных водой, поступающей на очистную станцию,  $БПК^ст_{полн} = 380$  мг/л.

$$\mathcal{E}_{БПК_{полн}} = \frac{БПК^ст_{полн} - L^ст_{полн}}{БПК^ст_{полн}} \cdot 100 = \frac{380 - 66,2}{380} \cdot 100 = 86,2\%$$

Задача 3. Расход сточных вод составляет  $q = 0,8$  м<sup>3</sup>/с, расход водотока  $Q = 25$  м<sup>3</sup>/с. Водный объект используется для культурно-бытовых нужд. Средняя скорость течения водотока  $V_{ср} = 0,6$  м/с при средней глубине водотока  $H = 1,2$  м и константе. Расстояние по

фарватеру от места выпуска сточных вод до расчетного створа  $L = 3,8$  км. Определить необходимую степень очистки сточных вод по БПК<sub>полн</sub> для водного объекта. При этом константа скорости потребления кислорода сточной водой  $k_{ст} = 0,17$ ; БПК<sub>полн</sub> воды водотока до места сброса сточных вод  $L_v = 1,9$  мг/л; БПК<sub>полн</sub> неочищенных сточных вод  $L_a = 380$  мг/л. Извилистость водотока слабо выражена. Выпуск сточных вод производится через береговой выпуск.

Решение. Определим условия смешения сточных вод с водой водотока по формулам:

$$D = \frac{0,6 \cdot 1,2}{200} = 0,0036$$

т.к. извилистость русла слабо выражена, а выпуск – береговой, то

$$\alpha = 1 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,0036}{0,8}} = 0,165$$

$$\gamma = \frac{1 - e^{-0,165 \sqrt[3]{3800}}}{1 + \frac{20}{0,6} \cdot e^{-0,165 \sqrt[3]{3800}}} = \frac{0,923}{86,7} = 0,011$$

Учтем продолжительность перемещения воды от места сброса до расчетного створа, определим:

$$t = \frac{L}{V_{cp}} = \frac{3,8}{60} \cdot \frac{100000}{86400} = 0,073 \text{ сут.}$$

БПК<sub>полн</sub> для данного вида водопользования  $L_{пдк} = 6$  мг/л. Допустимое значение БПК<sub>полн</sub> сточной воды, разрешенной к сбросу, определим по формуле 2.5:

$$L = \frac{0,011 \cdot 25}{0,8 \cdot 10^{-0,17 \cdot 0,073}} \cdot (6 - 1,9 \cdot 10^{-0,17 \cdot 0,073}) + \frac{6}{10^{-0,17 \cdot 0,073}} = 8,74 \text{ мг / л}$$

Необходимую степень очистки сточных вод по БПК<sub>полн</sub> определяем:

$$\mathcal{E}_{БПК} = \frac{380 - 8,74}{380} \cdot 100 = 97,7\%$$

Задача 4. Можно ли осуществить сброс нагретых сточных вод с  $T_{ст} = 65$  °С в водоток, который имеет коммунально-бытового назначения

и среднемесячная температура которого  $T_0 = 19^\circ\text{C}$ . Кратность разбавления  $n = 12$ .

Решение. При таких условиях температура сточной воды, подлежащей сбросу, определяется по формуле (2.6) и не должна превышать  $30^\circ\text{C}$ :

$$T_{cm} \leq 12 \cdot 3 + 19 = 55^\circ\text{C}$$

Таким образом, необходимо рассмотреть мероприятия по охлаждению сточных вод на  $10^\circ\text{C}$ , после чего она может быть сброшена в данный водоток.

Задача 5. В сточных водах содержатся некоторые загрязнения. Предполагается их сброс водоток хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Кратность разбавления сточных вод  $n = 65$ . Рассчитать необходимую степень очистки производственных сточных вод от вредных веществ:

$$C_{cm}^{Ni} = 1,15 \text{ мг/л}, \quad C_{cm}^{Mo} = 1,1 \text{ мг/л},$$

$$C_{cm}^{As} = 0,6 \text{ мг/л}, \quad C_{cm}^{Zn} = 0,6 \text{ мг/л}.$$

Вода до места сброса сточных вод имеет следующие показатели:

$$C_B^{Ni} = 0,003 \text{ мг/л}, \quad C_B^{Mo} = 0,15 \text{ мг/л},$$

$$C_B^{As} = 0,002 \text{ мг/л}, \quad C_B^{Zn} = 0,87 \text{ мг/л}.$$

Предельно допустимые концентрации указанных веществ:

$$C_{ПДК}^{Ni} = 0,1 \text{ мг/л}, \quad C_{ПДК}^{Mo} = 0,5 \text{ мг/л},$$

$$C_{ПДК}^{As} = 0,05 \text{ мг/л}, \quad C_{ПДК}^{Zn} = 1,0 \text{ мг/л}.$$

Решение. Никель, молибден и мышьяк относятся к определенному лимитирующему показателю вредности (ЛПВ). Цинк относится к группе общесанитарного ЛПВ.

Необходимую эффективность очистки по санитарно-токсикологическому показателю вредности определяем по выражению (2.11):

$$\sum_1^z \frac{C_{\text{в}}}{C_{\text{ПДК}}} = \sum_1^3 \frac{C_{\text{в}}^{Ni}}{C_{\text{ПДК}}^{Ni}} + \frac{C_{\text{в}}^{Mo}}{C_{\text{ПДК}}^{Mo}} + \frac{C_{\text{в}}^{As}}{C_{\text{ПДК}}^{As}} = \frac{0,003}{0,1} + \frac{0,15}{0,5} + \frac{0,002}{0,05} = 0,346;$$

$$\sum_1^z \frac{C_{\text{ст}}}{C_{\text{ПДК}}} = \sum_1^3 \frac{C_{\text{ст}}^{Ni}}{C_{\text{ПДК}}^{Ni}} + \frac{C_{\text{ст}}^{Mo}}{C_{\text{ПДК}}^{Mo}} + \frac{C_{\text{ст}}^{As}}{C_{\text{ПДК}}^{As}} = \frac{1,15}{0,1} + \frac{1,1}{0,5} + \frac{0,6}{0,05} = 25,7;$$

$$\Xi = \left(1 - \frac{1 - \frac{65 - 1}{65} \cdot 0,346}{\frac{65}{25,7}}\right) \cdot 100 = 67\%.$$

Концентрацию цинка определяем по выражению (2.8), при этом

$$C_{p.c.}^{Zn} = C_{ПДС}^{Zn} = 1,0 \text{ мг / л} :$$

$$C_{оч}^{Zn} \leq 65 \cdot (1 - 0,87) + 0,87 = 17,8$$

Из полученных данных следует, что для соблюдения санитарных условий необходимо очистить сточные воды от вредных веществ на 67%, а для санитарно-токсикологических – на 17,8%.

## 2.7. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ УПРАЖНЕНИЙ

Задача 1. Рассчитать концентрацию взвешенных веществ в очищенной сточной воде и необходимую эффективность очистки сточной воды по вариантам для условий, представленных в таблице 11.

Таблица 11

Варианты для задачи 1

№ варианта	Q, м³/с	q, м³/с	C <sub>ст</sub> , мг/л	C <sub>ф</sub> , мг/л	γ	Категория водопользования водного объекта
1	20	0,7	220	4	0,67	Рыбохозяйственная первой категории
2	35	0,8	215	2	0,67	
3	25	0,6	135	5	0,67	
4	35	0,5	230	5	0,67	Рыбохозяйственная второй категории
5	40	0,3	220	4	0,67	
6	20	0,4	185	3	0,67	
7	40	1,4	175	3	0,67	Хозяйственно-питьевые нужды населения
8	55	1,3	250	5	0,67	
9	50	1,8	180	2	0,67	Культурно-бытовые нужды населения
10	35	0,8	220	6	0,67	

Задача 2. Найти необходимую степень очистки сточных вод по содержанию растворенного кислорода по вариантам для условий, представленных в таблице 12.



Таблица 12

Варианты для задачи 2

№ вар.	Q, м <sup>3</sup> /с	Q, м <sup>3</sup> /с	g	Q <sup>в</sup> , мг/с	L <sup>в</sup> <sub>полн</sub>	БПК <sub>полн</sub>	Категория водопользования водного объекта
1	20	1,1	0,63	5,5	2,0	250	Хозяйственно- питьевое и культурно-бытовое назначение
2	40	2,4	0,63	5,5	2,0	250	
3	39	1,6	0,63	6,0	2,0	250	
4	45	1,9	0,63	4,8	2,0	300	
5	50	1,3	0,63	5,5	2,0	250	
6	32	1,5	0,63	6,5	2,0	300	Рыбохозяйственное назначение (летний период)
7	20	1,2	0,63	7,0	2,0	350	
8	35	1,1	0,63	5,5	2,0	300	
9	50	1,3	0,63	4,5	2,0	380	
10	45	2,2	0,63	6,0	2,0	250	

Задача 3. Определить необходимую степень очистки сточных вод по БПК<sub>полн</sub> для водного объекта по вариантам для условий, представленных в таблице 13.

Таблица 13

Варианты для задачи 3

№ ва р	q, м <sup>3</sup> / с	Q, м <sup>3</sup> / с	V <sub>ср</sub> , м/с	H <sub>ср</sub> , м <sup>3</sup> / с	L, км	K <sub>в</sub>	K <sub>ст</sub>	L <sub>в</sub> , мг/ л	Категория водопользован ия водного объекта
1	0,5	30	0,8 0	1,4 5	5,8	0,1	0,18	1,6	Хозяйственно- питьевые нужды населения
2	0,6	25							
3	0,7	20							
4	0,5	40							Коммунально- бытовые нужды населения
5	0,7	15							
6	0,6 5	35	0,8 0	1,4 5	5,8	0,1	0,18	1,4	Рыбохозяйстве нные нужды
7	1,5	40							
8	1,4	32							
9	0,2 5	28							
10	1,3	35							

Задача 4. Определить необходимую степень очистки от вредных веществ производственных сточных вод по вариантам для условий, представленных в таблице 14.

Таблица 14

Варианты для задачи 4

№ вар	Содержание веществ в сточной воде, мг/л					Содержание веществ природной в воде, мг/л					Кратное разбавление	Категория водопользова ния водного объекта
	Ni	As	V	Zn	Cu	Ni	As	V	Zn	Cu		
1	1,05	0,3	1,0	1,2	2,9	0,001	0,001	0,002	0,7	0,95	59	Хозяйственно- питьевые
2	1,2	0,95	0,3		2,15	0,0015	0,0018		0,97	0,93	59	
3	1,45	1,3		1,1	2,0	0,002	0,0015		0,8	0,8	59	
4	1,12	0,9	1,1	3,0	1,1	0,003	0,002	0,0025	0,95	0,77	59	
5	1,15	1,15	0,8	2,8	1,8	0,001	0,0015		0,75	0,75	59	
6	1,1	0,8	0,25	2,1	1,5	0,002		0,0021	0,8	0,85	59	
7	1,35	0,7	0,9	1,8	2,3	0,001	0,002	0,002	0,97	0,83	61	Коммунально- бытовые

10	9	8
1,05	1,1	1,3
1,1	1,0	
3,1	3,0	2,5
2,2	2,19	2,3
0,001	0,003	0,003
0,0019	0,0018	
0,0019	0,0018	
0,92	0,9	0,79
0,88	0,87	0,94
58	62	72

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу при механической обработке металлов (по величинам удельных выделений).- С.-Пб.: Интеграл, 2002. - 19с.
2. Методика расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу при нанесении лакокрасочных материалов (по величинам удельных выделений). - С.-Пб.: НИИ Атмосфера, 1999.
3. Методические указания по определению вредных веществ в сварочном аэрозоле (твердая фаза и газы). - М.: МП Рарог, 1992. – с.110
4. Методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов. – М., 1999. – 15 с.
5. Бродская Н.А. и др. Экология. Сборник задач, упражнений и примеров: Учеб. пособие для вузов /Н.А. Бродская, О.Г. Воробьев, А.Н. Маковский и др.; Под ред. О.Г. Воробьева и Н.И. Николайкина. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Дрофа, 2006. - 508 с.
6. Экология: учеб. пособие / Под ред. Профессора С.В. Белова.- 2-е изд., М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.-240с.

## Приложение

# Приложение 1

## Таблица 1

Выделение загрязняющих веществ при нанесении лакокрасочных покрытий

Способ окраски	Доля аэрозоля при окраске, (%)	Пары растворителя (% от общего содержания растворителя в краске)	
	при окраске $\delta_a$	при окраске $\delta'_p$	при сушке $\delta''_p$
Пневматический	30	25	75
Безвоздушный	2,5	23	77
Гидроэлектростатический	1	25	75
Пневмоэлектростатический	3,5	20	80
Электростатический	0,3	50	50
Горячее распыление	20	22	78
Окунание	-	28	72
Струйный облив	-	35	65
Электроосаждение	-	10	90
Покрытие лаком в лаконоливных машинах			
- металлических изделий	-	60	40
- деревянных изделий	-	80	20

## Таблица 2

Удельные выделения (г/с) аэрозолей масла и эмульсола при механической обработке металлов с охлаждением

Наименование технологического процесса, вид оборудования	Количество выделяющегося в атмосферу масла (эмульсола), $10^{-5}$ ( г / с ) на 1 кВт мощности станка
Обработка металлов на токарных, сверлильных, фрезерных, строгальных, протяжных, резбонакатных, расточных станках:	
с охлаждением маслом	5,600
с охлаждением эмульсией с содержанием эмульсола менее 3 %	0,05
с охлаждением эмульсией с содержанием эмульсола менее 3 - 10 %	0,045

Обработка металлов на шлифовальных станках :	
с охлаждением маслом	8,000
с охлаждением эмульсией с содержанием эмульсола менее 3 %	0,104
с охлаждением эмульсией с содержанием эмульсола менее 3 - 10 %	1,035

Примечание: При обработке металлов на шлифовальных станках выделяется пыль в количестве 10 % от количества пыли при сухой обработке. При использовании СОЖ, в состав которых входит триэтаноламин, выделяется  $3 \cdot 10^{-6}$  г/ч триэтаноламина на 1 кВт мощности станка.

**Галина Владимировна Лаврентьева  
Татьяна Сергеевна Николаева  
Лариса Васильевна Астахова**

**Сборник задач по курсу “Экология”**

*Учебное пособие*

Редактор ...  
Корректор ...  
Технический редактор ...

Подписано в печать ...  
Формат 60x84/16. Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура “Таймс”.  
Печ. Л. ... Усл. П. л. .... Тираж ... экз. Заказ № ...

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана  
107005, Москва, 2-я Бауманская, 5

Изготовлено в Редакционно-издательском отделе  
КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана  
248000, г. Калуга, ул. Баженова, 2, тел. 57-31-87