**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**Р.М. Мухаметшина**

# УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

**к практическим занятиям по дисциплине**

**«Экологическое проектирование и экспертиза»**

по направлению подготовки 20.03.01

Техносферная безопасность

Казань

2023

УДК 543+543.5
ББК 24.4+24.6
М 92

М92 Учебно-методическое пособие к практическим занятиям по дисциплине «Экологическое проектирование и экспертиза» по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность / Р.М. Мухаметшина. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2023. – 127 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Учебно-методическое пособие составлено в соответствии с программой дисциплины «Экологическое проектирование и экспертиза».

Предназначено для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность, направленность (профиль) «Инженерная защита окружающей среды».

Рецензенты:
Кандидат химических наук, доцент кафедры аналитической химии, сертификации и менеджмента качества Казанского государственного технологического университета,
**С.М. Горюнова**

Кандидат технических наук, доцент кафедры химии и инженерной экологии в строительстве Казанского государственного архитектурно-строительного университета
**А.В. Шарафутдинова**

УДК 543+543.5
ББК 24.4+24.6

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2023
© Мухаметшина Р.М.,2023

## Содержание

**Введение** ……4

**Практическое занятие №1.** Расчет нормативов предельно допустимых выбросов вредных веществ в атмосферу и определение рассеивания этих примесей в приземном слое...…….……..…….….5

**Практическое занятие №2.** Расчет загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортном ……..…… 20

**Практическое занятие №3.** Расчет допустимости сброса сточных вод промышленного предприятия в водоем...……..... 39

**Практическое занятие №4.** Расчет допустимого сброса сточных вод промышленного предприятия в городскую канализацию……....…… 57

**Практическое занятие №5.** Оценка ущерба за выбросы (сбросы) загрязняющих веществ в окружающую среду……..……..….... 68

**Практическое занятие №6.** Расчет категории опасности предприятия в зависимости от массы выбрасываемых в атмосферу веществ…..... 81

**Практическое занятие №7.** Порядок расчета массы загрязняющих веществ, выносимых неорганизованным стоком и расчет платы за загрязнение окружающей среды..... 89

**Практическое занятие №8.** Расчет объема выброса загрязняющих веществ в литосферу в период строительства……..……... 100

**Практическое занятие №9.** Расчет рукавного фильтра…… 110

**Библиографический список**……126

# ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие написано в соответствии с программой дисциплины «Экологическое проектирование и экспертиза». Предназначено для студентов направления подготовки Техносферная безопасность, профиль «Инженерная защита окружающей среды».

Целью учебно-методического пособия по выполнению практических работ является углубление и закрепление знаний по нормированию качества окружающей природной среды и обеспечению экологической безопасности, формирование навыков самостоятельной работы учебно-методическим материалом и справочной литературой.

Нормативами качества окружающей природной среды являются предельно допустимые норы воздействия на окружающую среду со стороны производственной и хозяйственной деятельности человека. В учебно-методическом пособии рассмотрены основы расчета предельно допустимых выбросов вредных веществ в атмосферу и расчет рассеивания этих примесей в приземном слое, загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортом, допустимости сброса сточных вод промышленного предприятия в водоем, допустимости сброса сточных вод промышленного предприятия в городскую канализацию, выбросов (сбросов) загрязняющих веществ в окружающую среду, ущерба загрязнения земель химическими веществами.

Каждый раздел начинается с небольшого теоретического введения, которое содержит сведения, необходимые для самостоятельного решения задач, а также контрольные вопросы, облегчающие подготовку к сдаче коллоквиумов и экзамена. Приведены примеры выполнения экологических расчетов, необходимые справочные данные.

Учебно-методическое пособие составлено в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования к содержанию уровня подготовки студентов по дисциплине «Экологическое проектирование и экспертиза».

# Практическое занятие № 1

# Расчет нормативов предельно допустимых выбросов вредных веществ в атмосферу и определение рассеивания этих примесей в приземном слое (4 часа)

Нормирование качества окружающей природной среды является центральной идеей Федерального закона «Об охране окружающей среды», суть которой заключается в осуществлении государственного регулирования воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду, гарантирующего сохранение благоприятной окружающей среды и обеспечение экологической безопасности.

Нормативами качества окружающей природной среды являются предельно допустимые нормы воздействия на окружающую среду со стороны производственной и хозяйственной деятельности человека.

К содержанию нормативов допустимого воздействия на окружающую среду предъявляются определенные требования, изложенные в Федеральном законе «Об охране окружающей среды», основной целью которых является обеспечение научно обоснованных соотношений экономических и экологических интересов общества. Нормативы допустимого воздействия следует рассматривать как компромисс, достигнутый между экономикой и экологией, позволяющий на взаимовыгодных условиях развивать хозяйственную деятельность и охранять природную среду, здоровье и жизнь людей нашей планеты.

Установлены следующие нормативы допустимого воздействия на окружающую среду: допустимых выбросов и сбросов веществ и микроорганизмов; образования отходов производства и потребления и лимиты на их размещение; допустимых физических воздействий (тепла, шума, вибрации, ионизирующего излучения, напряженности электромагнитных полей); допустимого изъятия компонентов природной среды; допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду.

Нормативы допустимого воздействия на окружающую среду должны обеспечивать соблюдение норм качества окружающей среды с учетом природных особенностей территорий и акваторий.

### *Цель и содержание работы*

Работа предназначена для ознакомления студентов с нормированием деятельности промышленных предприятий, связанной с выбросом вредных веществ в атмосферу из стационарных источников (труб).

Газовые выбросы промышленных предприятий содержат вредные вещества различной степени токсичности. В случае неэффективной работы газоочистного оборудования или его отсутствия эти вещества загрязняют атмосферный воздух и оказывают вредное воздействие на здоровье людей, животных, состояние растительности и окружающей среды в целом.

Для обеспечения допустимых уровней загрязнения атмосферного воздуха населенных мест установлены нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ и нормативы предельно допустимых выбросов стационарными и передвижными источниками.

Цель работы – определение для стационарного источника выбросов максимально возможную концентрацию вредного вещества в атмосферном воздухе, проведение расчета рассеивания этого вещества в воздухе, определение значения предельно допустимого выброса (ПДВ) и определение высоты источника выброса, при которой концентрация вредного вещества в воздухе не превышает ПДК.

## Теоретические положения

### Основные положения закона об охране атмосферного воздуха

Основой мероприятий по охране атмосферного воздуха является Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха» от 04.09.99 № 96-ФЗ (ред. от 11.06.2021).

Для оценки качества атмосферного воздуха законом устанавливаются нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ и уровней вредных физических воздействий на атмосферу. Эти нормативы должны отвечать интересам охраны здоровья людей и охраны окружающей среды. Нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и уровней вредных физических воздействий на него являются едиными для всей территории Российской Федерации.

С целью охраны атмосферного воздуха устанавливаются нормативы предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками загрязнений, а также нормативы предельно допустимых вредных физических воздействий.

Эти нормативы устанавливаются для каждого стационарного источника выбросов или для иного вредного воздействия на атмосферный воздух, а также для каждой модели транспортных или иных передвижных средств и установок.

Нормативы предельно допустимых выбросов загрязняющих атмосферу веществ и предельно допустимых вредных физических воздействий на нее устанавливаются на уровне, при котором выбросы не приведут к превышению нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и предельно допустимых уровней вредных физических воздействий.

Выброс загрязняющих веществ в атмосферу стационарным источником допускается в каждом случае на основании разрешения, выдаваемого специально уполномоченным на то государственным органом. В разрешении предусматриваются нормативы предельно допустимых концентраций выбросов, а также другие требования, обеспечивающие охрану атмосферного воздуха.

Предприятия, учреждения и организации, деятельность которых связана с выбросами загрязняющих веществ в атмосферу, обязаны проводить организационно-хозяйственные, технические и иные мероприятия для обеспечения выполнения условий и требований, предусмотренных в разрешениях на выброс, принимать меры по снижению выбросов, обеспечивать бесперебойную работу и поддержание в исправном состоянии сооружений и аппаратуры для очистки выбросов и контроля за ними, а также осуществлять постоянный учет количества и состава загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу.

Осуществление мероприятий по охране атмосферного воздуха не должно приводить к загрязнению почв, вод и других природных объектов.

В случаях нарушения условий и требований, предусмотренных разрешениями, а также когда возникает угроза здоровью населения, выброс загрязняющих веществ должен быть приостановлен или запрещен по решению органа, осуществляющего государственный контроль за охраной атмосферного воздуха, вплоть до прекращения деятельности отдельных промышленных установок, цехов, предприятий и учреждений.

При получении предупреждения о возможном повышении концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в связи с ожидаемыми неблагоприятными условиями предприятия, учреждения и организации обязаны проводить специально разработанные по согласованию с органами, осуществляющими государственный контроль за охраной атмосферного воздуха, мероприятия по снижению выбросов таких веществ в атмосферу.

При размещении, проектировании и вводе в эксплуатацию новых и реконструированных предприятий, сооружений и других объектов, при совершенствовании существующих и внедрении новых технологических процессов и оборудования необходимо обеспечивать соблюдение нормативов вредных воздействий на атмосферный воздух. При этом должны предусматриваться утилизация, обезвреживание вредных веществ и отходов или иное исключение выбросов загрязняющих веществ, выполнение других требований по охране окружающей среды, исходя из того, чтобы совокупность выбросов, а также вредных воздействий от проектируемых, действующих и планируемых к строительству в будущем предприятий, сооружений и других объектов не привели к превышению нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и нормативов предельно допустимых уровней вредных физических воздействий на него.

Запрещается ввод в эксплуатацию новых и реконструированных предприятий, сооружений и других объектов, не удовлетворяющих требованиям по охране атмосферного воздуха. Предприятия, деятельность которых связана с выбросами загрязняющих веществ в атмосферу, независимо от времени ввода их в действие должны быть оснащены сооружениями, оборудованием и аппаратурой для очистки выбросов в атмосферу и средствами контроля за количеством и составом выбрасываемых загрязняющих веществ.

Добыча полезных ископаемых, взрывные работы, размещение и эксплуатация терриконов, отвалов, свалок должны проводиться с соблюдением правил по предотвращению и сокращению загрязнения атмосферного воздуха способами, согласованными с органами, осуществляющими государственный контроль за охраной атмосферного воздуха.

Размещение в населенных пунктах терриконов, отвалов, складирование промышленных отходов, производственного, бытового мусора и других отходов, являющихся источниками загрязнения атмосферного воздуха пылью, вредными газообразными и дурно пахнущими веществами, а также сжигание указанных отходов на территории предприятий, учреждений, организаций и населенных пунктов запрещаются, кроме случаев, когда сжигание осуществляется с использованием специальных установок при соблюдении требований по охране атмосферного воздуха.

## Правила установления предельно допустимых выбросов (ПДВ) и временно согласованных (ВСВ) вредных веществ в атмосфере

Предельно допустимый выброс (ПДВ) является научно-техническим нормативом, устанавливаемым для каждого конкретного источника загрязнения атмосферы при условии, что выбросы вредных веществ от него и всей совокупности источников города или другого населенного пункта с учетом их рассеивания и превращения в атмосфере, а также перспектив развития предприятия не создадут приземной концентрации, превышающей установленные нормативы качества окружающей среды. При этом под нормативами качества окружающей среды принимаются предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

В тех случаях, когда на данном предприятии или группе предприятий, расположенных в одном районе, величины ПДВ по причинам объективного характера не могут быть достигнуты в настоящее время, по согласованию с органами Госкомгидромета должно планироваться поэтапное, с указанием продолжительности каждого этапа, снижение выбросов от действующих предприятий до величин, обеспечивающих соблюдение ПДК. При этом величины временно согласованных выбросов (ВСВ) должны устанавливаться с учетом значений величин выбросов, достигнутых предприятиями с наилучшей (в части охраны природной среды) технологией данного производства.

Величины ПДВ и ВСВ устанавливаются для отдельных источников в граммах в секунду и в тоннах в год.

В случае невозможности установления для источников ВСВ на уровне передовых производств уполномоченные органы должны предусмотреть в установленном порядке уменьшение объема производства, закрытие или вывод соответствующих предприятий или объектов или изменение их профиля.

Наряду с установлением ПДВ и ВСВ для одиночных источников в результате суммирования устанавливаются значения ПДВ и ВСВ для предприятий и комплексов в целом.

При установлении ПДВ и ВСВ для источников должны учитываться фоновые концентрации загрязнений в атмосферном воздухе, фактически созданные остальными источниками своего и других предприятий города и промышленного района. Фоновые концентрации устанавливаются по данным наблюдений сети Общегосударственной службы контроля за состоянием атмосферы либо определяются расчетным путем.

Величины ПДВ и ВСВ утверждаются в установленном порядке специально уполномоченными государственными органами.

Пересмотр их производится в случае изменения мощности, технологии производства, режима работы предприятия, но не реже одного раза в пять лет.

Величины ПДВ и ВСВ определяются путем расчета загрязнения атмосферы вредными выбросами из отдельного источника или группы источников, определения расчетной концентрации этих загрязнений в приземном слое атмосферы и сопоставления полученных данных с предельно допустимыми концентрациями примесей в атмосферном воздухе населенных пунктов. Результаты проводятся по временной Методике нормирования промышленных выбросов в атмосферу, разработанной Государственным комитетом по гидрометеорологии и контролю природной среды.

Результаты расчетов и предложения по достижению установленных нормативов качества окружающей среды оформляются в виде тома «Охрана окружающей среды и предложения по предельно допустимым выбросам (ПДВ) и временно согласованным выбросам (ВСВ) для предприятий» (том ПДВ и ВСВ).

## Методика расчета предельно допустимого выброса и его рассеивания

### *Расчет рассеивания выбросов из одиночного источника*

Величина максимальной приземной концентрации вредных веществ $C_m$ для выброса нагретой газовоздушной смеси из одиночного (точечного) источника с круглым устьем при неблагоприятных метеорологических условиях на расстоянии $x_m$ от источника определяется по формуле:

$$C = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}, \qquad (1.1)$$

где $A$ – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы и определяющий условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе;

$M$ – количество вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу из источника выбросов, г/с;

$F$ – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе;

m и n – безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовоздушной смеси из устья источника выброса;

*H* – высота источника выброса над уровнем земли, м;

$\Delta T$ – разность между температурой выбрасываемой газовоздушной смеси *Тг* и температурой окружающего атмосферного воздуха *Тв*;

$V_1$ – объем газовоздушной смеси, *м*$^3$/с, определяемый по формуле:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \omega_0, \tag{1.2}$$

где *D* – диаметр источника выброса, м;

$\omega_0$ – средняя скорость газовоздушной смеси на выходе из устья источника выброса, м/с.

Коэффициент *A* принимается для неблагоприятных метеорологических условий, при которых концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе от источника выбросов достигают максимального значения. Для центральной зоны значение коэффициента *A* = 200.

Величины *M* и $V_1$ определяются расчетом в технологической части проекта или принимаются в соответствии с действующими для данного производства (процесса) нормативами.

Величины безразмерного коэффициента *F* принимаются: - для газообразных вредных веществ (сернистого газа, сероуглерода и т.п.) и мелкодисперсных аэрозолей (пыли, золы и т.п., скорость упорядоченного оседания которых практически равна нулю)

*F* = 1;

- для пыли и золы (кроме указанных в предыдущем пункте);
- если коэффициент очистки газовых выбросов равен не менее 90%, *F*=2;
- если коэффициент очистки газовых выбросов равен от 75 до 90%, *F*=2,5;
- если коэффициент газовых выбросов очистки менее 75%, *F* = 3,0.

Вне зависимости от эффективности пылеулавливания значение коэффициента *F* принимается равным 3, также при расчетах рассеивания пыли в атмосфере для производств, в которых выбросы пыли сопровождаются выделениями водяного пара в количестве, достаточном для того, чтобы в течение года наблюдалась его интенсивная конденсация сразу же после выхода в атмосферу, а также коагуляция влажных пылевых частиц (например, глиноземное производство).

Безразмерный коэффициент m в уравнении (1.1) определяется по формуле:

$$m = \frac{1}{0{,}67 + 0{,}1 \cdot \sqrt{f} + 0{,}34 \cdot \sqrt[3]{f}} \tag{1.3}$$

в зависимости от величины параметра *f*, вычисляемого по уравнению:

$$f = 10^3 \cdot \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}. \quad (1.4)$$

Безразмерный коэффициент n в уравнении (1.1) определяется по формулам (1.5 – 1.7) в зависимости от параметра $v_m$, вычисляемого по формуле (1.8):

$$\text{при } v_m \leq 0{,}3 = 3; \quad (1.5)$$

$$\text{при } 0{,}3 < v_m \leq 0{,}2 \qquad n = 3 - \sqrt{(v_m - 0{,}3)(4{,}36 - v_m)} \quad (1.6)$$

$$\text{при } v_m > 2 \qquad n = 1, \quad (1.7)$$

$$\text{где} \qquad v_m = 0{,}65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}}. \quad (1.8)$$

Максимальная приземная концентрация вредных веществ $C_m$ при неблагоприятных метеорологических условиях достигается на оси факела выброса (по направлению среднего ветра за рассматриваемый период) на расстоянии $x_m$ от источника выброса.

Величина $x_m$ определяется по формуле:

$$x_m = d \cdot H. \quad (1.9)$$

Коэффициент $d$ в уравнении (1.9) определяется в зависимости от значения коэффициента $v_m$:

$$\text{при } v_m \leq 2 \qquad d = 4{,}95 \cdot v_m\left(1 + 0{,}28 \cdot \sqrt[3]{f}\right); \quad (1.10)$$

$$\text{при } v_m > 2 \qquad d = 7 \cdot \sqrt{v_m}\left(1 + 0{,}28 \cdot \sqrt[3]{f}\right). \quad (1.11)$$

Величины приземных концентраций вредных веществ $C$ в атмосфере по оси факела выброса на различных расстояниях от источника выброса определяются по формуле:

$$C = S_1 \cdot C_m. \quad (1.12)$$

Безразмерный коэффициент $S_1$ определяется в зависимости от отношения $x/x_m$ по формулам:

$$\text{при } x/x_m \leq 1 \qquad S_1 = 3\left(\frac{x}{x_m}\right)^4 - 8\left(\frac{x}{x_m}\right)^3 + 6\left(\frac{x}{x_m}\right)^2; \quad (1.13)$$

при $1 < x/x_m < 8$ $\quad S_1 = \frac{1,13}{0,13\left(\frac{x}{x_m}\right)^2+1}$. (1.14)

При $x/x_m > 8$ и $F$=1 величина $S_1$ определяется по формуле:

$$S_1 = \frac{\frac{x}{x_m}}{3,8\left(\frac{x}{x_m}\right)^2 - 35,2\left(\frac{x}{x_m}\right) + 120}; \quad (1.15)$$

при $x/x_m > 8$ и $F$=2; 2,5 или 3 величина $S_1$ определяется по формуле:

$$S_1 = \frac{1}{0,1\left(\frac{x}{x_m}\right)^2 + 2,47\left(\frac{x}{x_m}\right) - 17,8}. \quad (1.16)$$

***Определение предельно допустимого выброса***

Предельно допустимый нагретый выброс вредного вещества в атмосферу ПДВ, г/с, из одиночного источника (трубы), при котором обеспечивается не превышающая ПДК его концентрация в приземном слое воздуха, определяется по формуле:

$$\text{ПДВ} = \frac{\text{ПДК} \cdot H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}. \quad (1.17)$$

***Определение минимальной высоты одиночного источника выброса***

Высота одиночного источника выброса (трубы) $H$, при которой обеспечивается не превышающее ПДК значение максимальной приземной концентрации вредных веществ $C_m$, если установлены величины $M$, $\omega_0$, $V_1$, и $\Delta T$ , определяется по формуле:

$$\text{H} = \left(\frac{A \cdot M \cdot F \cdot D}{8 \cdot V_1 \cdot \text{ПДК}}\right)^{3/4}. \quad (1.18)$$

***Исходные данные для расчетов***

Промышленным предприятием осуществляется выброс газовоздушной смеси, содержащей вредную примесь, в атмосферу из одиночного источника (трубы). Параметры источника выброса, расход газовоздушной смеси, содержание в смеси вредной примеси и ее ПДК в атмосферном воздухе населенных пунктов для различных вариантов расчетов приведены в табл.1.2.

Необходимо:

1) определить:

- предельно допустимый выброс примеси в атмосферу – ПДВ;
- максимальную приземную концентрацию примеси – $C_m$;
- расстояние от источника выброса, на котором достигается максимальная концентрация – $x_m$;
- величины приземных концентраций вредного вещества – *C* на расстояниях от источника выброса, определяемые соотношениями

$$x/x_m = 0{,}25;\ \ x/x_m = 0{,}5;\ \ x/x_m = 1{,}5;\ \ x/x_m = 3{,}0;\ \ x/x_m = 5{,}0;$$

2) построить графическую зависимость приземной концентрации примеси от расстояния от источника выброса;

3) результаты расчетов свести в таблицу.

Коэффициент *A* принимается для всех вариантов расчетов равным *A* = 200; коэффициент *F* принимается для всех вариантов расчетов равным *F* = 1; температура окружающего атмосферного воздуха принимается для всех вариантов расчетов равной $T_в$= 27 °С.

***Требования к отчету***

Результаты практической работы должны быть оформлены в виде отчета, в котором должны быть изложены:

- наименование и вариант работы;
- исходные данные для расчетов;
- методика расчетов с результатами вычислений;
- рисунок, отражающий графическую зависимость концентрации загрязняющего вещества от расстояния от источника выбросов;
- сводная расчетная таблица;
- общее заключение по результатам работы.

***Пример расчета***

Газовоздушная смесь, содержащая вредную примесь (диоксид азота, ПДК = 0,085 мг/м$^3$) в количестве *M* = 160 г/с, выбрасывается из трубы высотой *H* = 60 м. Средняя скорость газовоздушной смеси на выходе из устья трубы равна $\omega_0$ = 6 м/с. Диаметр выходного отверстия трубы равен *D* = 2 м. Температура газовоздушной смеси на выходе из трубы равна $T_Г$ = 167 °С. Температура окружающего атмосферного воздуха равна $T_в$= 27 °С.

1. Определение максимальной приземной концентрации вредного вещества $C_m$.

Объем газовоздушной смеси, выбрасываемый из источника, уравнение (1.2):

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \omega_0 = \frac{3{,}14 \cdot 2^2}{4} \cdot 6 = 18{,}84 \text{ мг/м}^3.$$

Разность между температурой выбрасываемой газовоздушной смеси и температурой окружающего воздуха:

$$\Delta T = \text{Т}_\text{г} - \text{Т}_\text{в} = 167 - 27 = 140^0\text{C}.$$

Значение параметра *f*, уравнение (1.4):

$$f = 10^3 \cdot \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T} = 10^3 \cdot \frac{6^2 \cdot 2}{60^2 \cdot 140} = 0{,}143.$$

Коэффициент $m$, уравнение (1.3):

$$m = \frac{1}{0{,}67 + 0{,}1 \cdot \sqrt{f} + 0{,}34 \cdot \sqrt[3]{f}} =$$

$$= \frac{1}{0{,}67 + 0{,}1 \cdot \sqrt{0{,}143} + 0{,}34 \cdot \sqrt[3]{0{,}143}} = 1{,}129.$$

Коэффициент $v_m$, уравнение (1.8):

$$v_m = 0{,}65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}} = 0{,}65 \cdot \sqrt[3]{\frac{18{,}84 \cdot 140}{60}} = 4{,}31.$$

$v_m > 2$, следовательно, коэффициент n в уравнении (1.1) равен n = 1.

Максимальная приземная концентрация вредного вещества, уравнение (1.1):

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}} = \frac{200 \cdot 160 \cdot 1 \cdot 1{,}129 \cdot 1}{60^2 \cdot \sqrt[3]{18{,}84 \cdot 140}} = 0{,}763 \text{ мг/м}^3.$$

Коэффициент *A* в уравнении (1.1) в расчетах принят для центральной зоны равным *A* = 200. Двуокись азота является газообразным веществом, скорость упорядоченного оседания которого практически равна нулю. Поэтому значение коэффициента *F* в уравнении (1.1) в расчетах принято равным *F* = 1.

2. Определение расстояния от источника выброса (трубы) по оси факела, на котором достигается максимальная приземная концентрация вредного вещества.

Коэффициент *d* при значении $v_m > 2$, уравнение (1.11):

$$d = 7 \cdot \sqrt{v_m}\left(1 + 0{,}28 \cdot \sqrt[3]{f}\right) = 7 \cdot \sqrt{4{,}31} \cdot \left(1 + 0{,}28 \cdot \sqrt[3]{4{,}31}\right) = 16{,}66.$$

Расстояние, на котором достигается максимальная приземная концентрация, уравнение (1.9):

$$x_m = d \cdot H = 16{,}66 \cdot 60 = 1000 \text{ м}.$$

3. Определение приземных концентраций вредного вещества на различных расстояниях от источника выбросов в атмосферу (трубы).

Величины приземных концентраций вредного вещества в атмосфере на различных расстояниях $x$ от источника выбросов, см. уравнение (1.12). Расчет проводится для следующих значений отношения заданного значения расстояния к значению, при котором достигается максимальная приземная концентрация:

$$x/x_m = 0{,}25;\ \ x/x_m = 0{,}5;\ \ x/x_m = 1{,}5;\ \ x/x_m = 3{,}0;\ \ x/x_m = 5{,}0.$$

В данном примере этим отношениям соответствуют следующие расстояния от источника выбросов:

250, 500, 1500, 3000, 5000 м.

Приземные концентрации для значений отношения $x/x_m \leq 1$:

$$x/x_m = 0{,}25.$$

Коэффициент $S_1$, уравнение (1.13):

$$S_1 = 3\left(\frac{x}{x_m}\right)^4 - 8\left(\frac{x}{x_m}\right)^3 + 6\left(\frac{x}{x_m}\right)^2 =$$

$$= 3 \cdot 0{,}25^4 - 8 \cdot 0{,}25^3 + 6 \cdot 0{,}25^2 = 0{,}262.$$

Приземная концентрация, уравнение (1.12):

$$C = S_1 \cdot C_m = 0{,}262 \cdot 0{,}763 = 0{,}20 \text{ мг/м}^3.$$

Для $x/x_m = 0{,}5;\ S_1 = 0{,}687;\ \ \mathrm{C} = 0{,}524 \text{ мг/м}^3.$

Приземные концентрации для значений отношения $1 < x/x_m < 8$:

$$x/x_m = 1{,}5.$$

Коэффициент $S_1$, уравнение (1.14):

$$S_1 = \frac{1{,}13}{0{,}13\left(\frac{x}{x_m}\right)^2 + 1} = \frac{1{,}13}{0{,}13 \cdot (1{,}5)^2 + 1} = 0{,}874.$$

Приземная концентрация, уравнение (1.12):

$$C = S_1 \cdot C_m = 0{,}874 \cdot 0{,}763 = 0{,}667 \text{ мг/м}^3.$$

Для

$$x/x_m = 3{,}0.$$

$$S_1 = \frac{1{,}13}{0{,}13\left(\frac{x}{x_m}\right)^2 + 1} = 0{,}52;$$

$$C = S_1 \cdot C_m = 0{,}397 \text{ мг/м}^3.$$

Для

$$x/x_m = 5{,}0.$$

$$S_1 = \frac{1{,}13}{0{,}13\left(\frac{x}{x_m}\right)^2 + 1} = 0{,}266;$$

$$C = S_1 \cdot C_m = 0{,}203 \text{ мг/м}^3.$$

4. Определение предельно допустимого выброса вредного вещества в атмосферу ПДВ, г/с, из одиночного источника (трубы).

$$\text{ПДВ} = \frac{\text{ПДК} \cdot H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n} =$$

$$= \frac{0{,}085 \cdot 60^2 \cdot \sqrt[3]{18{,}84 \cdot 140}}{200 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}129 \cdot 1{,}0} = 18{,}72 \text{ г/с}.$$

5. Определение минимальной высоты источника выброса (трубы), при которой обеспечивается не превышающее ПДК значение максимальной приземной концентрации вредного вещества.

ПДК вредной примеси в газовоздушной смеси (диоксида азота) составляет 0,085 мг/$м^3$. Максимальная концентрация примеси в приземном слое атмосферы равна $C_m$=0,763 $мг/м^3$, т.е. больше ПДК.

Следовательно, условия выброса газовоздушной смеси в атмосферу через трубу высотой 60 м не соответствуют санитарным требованиям.

Добиться данного соответствия можно увеличением высоты трубы.

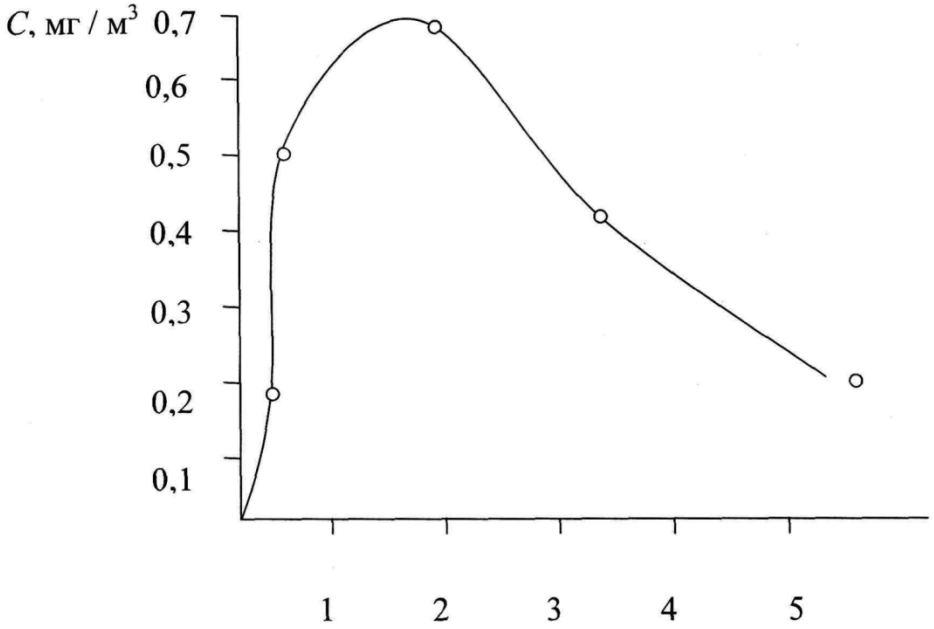


Рис. 1.1 Зависимость концентрации вредного вещества в приземном слое атмосферы от расстояния от источников выбросов

Высота одиночного источника выброса (трубы) $H$, при которой обеспечивается не превышающее ПДК значение максимальной приземной концентрации вредных веществ $C_m$, если установлены величины $M$, $\omega_0$, $V_1$, $D$ и $\Delta T$ , определяется по формуле:

$C_m$, если установлены величины $M$, $\omega_0$, $V_1$, и $\Delta T$ , определяется по формуле:

$$\text{Н} = \left(\frac{A \cdot M \cdot F \cdot D}{8 \cdot V_1 \cdot \text{ПДК}}\right)^{3/4} = \left(\frac{200 \cdot 160 \cdot 1{,}0 \cdot 2{,}0}{8 \cdot 18{,}84 \cdot -{,}085}\right)^{3/4} = 594{,}2 \text{ м.}$$

*Таблица 1.1.*

Результаты расчетов предельно допустимого выброса вредных веществ в атмосферу

| Наименование показателей | Обозначение | Единицы измерения | Значения |
|---|---|---|---|
| 1. Параметры источника выбросов | | | |
| Высота | $H$ | м | 60 |
| Диаметр | $D$ | м | 2 |
| Скорость газовоздушной смеси в устье выброса | $\omega_0$ | м/с | 6 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Высота, при которой обеспечивается не превышение ПДК максимальная концентрация вредного вещества | $H_р$ | м | 594,2 |
| 2. Параметры газовоздушной смеси | | | |
| Загрязняющее вещество | | | Диоксид азота |
| ПДК | *ПДК* | мг/м$^3$ | 0,085 |
| Количество выбрасываемой примеси | *M* | г/с | 160 |
| Предельно допустимый выброс | *ПДВ* | г/с | 18,72 |
| Максимальная концентрация в приземном слое | $C_m$ | мг/м$^3$ | 0,763 |
| Расстояние, на котором достигается максимальная концентрация | $x_m$ | м | 1000 |

*Таблица 1.2*

Исходные данные

| | Загрязнитель | Выброс | | | Источник выброса | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Номер варианта | наименование | *ПДК, мг/м$^3$* | масса *M*, г/с | темпе-ратура $T_г$, °С | скорость $\omega_0$, *м/с* | высота *H*, м | диаметр трубы *D*, м |
| 1 | Диоксид азота | 0,085 | 160 | 250 | 6,0 | 160 | 1,5 |
| 2 | Аммиак | 0,2 | 155 | 245 | 6,1 | 162 | 1,6 |
| 3 | Ангидрид сернистый | 0,05 | 150 | 240 | 6,2 | 164 | 1,7 |
| 4 | Анилин | 0,03 | 145 | 235 | 6,3 | 166 | 1,8 |
| 5 | Бензин | 1,3 | 140 | 230 | 6,4 | 168 | 1,9 |
| 6 | Бензол | 0,8 | 135 | 225 | 6,5 | 170 | 2,0 |
| 7 | Водород хлористый | 0,2 | 130 | 220 | 6,6 | 172 | 2,1 |
| 8 | Диметиламин | 0,005 | 125 | 215 | 6,5 | 174 | 2,2 |
| 9 | Дихлорэтан | 1,0 | 120 | 210 | 6,4 | 176 | 2,3 |
| 10 | Капролактам | 0,06 | 115 | 205 | 6,3 | 178 | 2,4 |
| 11 | Кислота серная | 0,1 | 110 | 200 | 6,2 | 180 | 2,5 |
| 12 | Кислота уксусная | 0,06 | 105 | 195 | 6,1 | 182 | 2,6 |
| 13 | Ксилол | 0,2 | 100 | 190 | 6,0 | 184 | 2,7 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 14 | Нитробензол | 0,008 | 98 | 185 | 5,9 | 188 | 2,8 |
| 15 | Сероуглерод | 0,005 | 96 | 180 | 5,8 | 190 | 2,9 |
| 16 | Сероводород | 0,008 | 94 | 175 | 5,7 | 192 | 3,0 |
| 17 | Стирол | 0,003 | 92 | 170 | 5,6 | 194 | 2,9 |
| 18 | Толуол | 0,6 | 90 | 165 | 5,4 | 196 | 2,8 |
| 19 | Трихлорэтилен | 1,0 | 88 | 160 | 5,3 | 198 | 2,7 |
| 20 | Фенол | 0,01 | 86 | 155 | 5,2 | 200 | 2,6 |
| 21 | Формальдегид | 0,003 | 84 | 150 | 5,1 | 222 | 2,5 |
| 22 | Хлор | 0,03 | 82 | 145 | 5,0 | 224 | 2,4 |
| 23 | Хлорбензол | 0,01 | 80 | 140 | 4,9 | 226 | 2,5 |
| 24 | Циклогексанол | 0,06 | 78 | 135 | 4,8 | 228 | 2,4 |
| 25 | Оксид цинка | 0,05 | 76 | 130 | 4,7 | 230 | 2,3 |

## *Контрольные вопросы*

1. Как называются нормативы качества атмосферного воздуха?
2. Какое условие принимается за основу при установлении для стационарного источника выбросов норматива предельно допустимого выброса (ПДВ)?
3. На основании какого документа разрешается выброс загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников?
4. Какие меры применяются к предприятию, имеющему выбросы в атмосферу, в случаях, когда возникает угроза здоровью населения и окружающей среде?
5. Какие мероприятия по охране атмосферного воздуха должны осуществляться при размещении, вводе в действие новых или реконструируемых действующих предприятий?
6. Какое санитарно-гигиеническое требование должно выполняться при вводе в эксплуатацию новых и реконструируемых предприятий, сооружений и других объектов, при совершенствовании существующих и внедрении новых технологических процессов и оборудования?
7. Какие мероприятия должны осуществляться на предприятиях, деятельность которых связана с выбросами загрязняющих веществ в атмосферу?
8. В каких случаях устанавливаются нормативы временно согласованных выбросов (ВСВ) вредных веществ в атмосферу?
9. Какие требования предъявляются к предприятию при установлении норм ПДВ?
10. Какие данные принимаются за основу при установлении нормативов ВСВ?
11. Каким образом устанавливаются нормативы ПДВ и ВСВ?

# Практическое занятие № 2

# Расчет загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортном (4 часа)

***Цели и содержание работы***

Цель работы - ознакомление с расчетом количества вредных выбросов от автотранспорта и с методами защиты атмосферного воздуха от данных загрязнений.

Автотранспорт является одним из основных загрязнителей атмосферы содержащимися в выхлопных газах оксидами азота $NO_x$ (смесь NO и $NO_2$) и оксидом углерода (II) (CO). Доля транспортного загрязнения воздуха по CO превышает 60%, по $NO_x$ – 50% от общего загрязнения атмосферы этими газами. Помимо этих газов в выбросах автотранспорта содержится около 200 веществ, таких как углеводороды, акролеин, ксилол, бенз(а)пирен, сернистый ангидрид, фенол, формальдегид, сероводород, твердые частицы и др. Для автотранспорта нормируются выбросы угарного газа, углеводородов и оксидов азота в пересчете на $NO_2$.

По нижеприведенной методике необходимо определить концентрацию загрязнения атмосферного воздуха угарным газом, углеводородами, оксидами азота на разных расстояниях от автомобильной дороги.

## Теоретическое положение

### Основные виды выбросов от автотранспорта

Один легковой автомобиль ежегодно поглощает из атмосферы в среднем более 4 т кислорода, выбрасывая с отработавшими газами примерно 800 кг оксида углерода (II), около 400 кг оксидов азота и почти 200 кг различных углеводородов. Сегодня насчитывается порядка 400 млн единиц мирового парка автомобилей. В России, по данным «Автостат» (по состоянию на 1 января 2021 года), зарегистрировано 60 млн единиц транспортных средств. Львиная доля (76%) всех транспортных средств приходится на легковые автомобили, которых насчитывается 45 млн штук.

Передвижные источники загрязнения пространственно рассредоточены по территории города и расположены в непосредственной близости к жилым районам, что создает общий повышенный фон загрязнения. Они располагаются невысоко от земной поверхности, в результате чего отработавшие газы автомобилей слабее рассеиваются ветром по сравнению с промышленными выбросами и скапливаются в зоне дыхания людей.

Кроме того, темпы роста числа автомобилей значительно выше по сравнению с темпами роста промышленных источников.

*Таблица 2.1*

Основные виды выбросов загрязняющих веществ от передвижных источников

| Тип двигателя | Топливо | Основные виды | Примеры источников загрязнений |
|---|---|---|---|
| Четырехтактный внутреннего сгорания | Бензин | Углеводороды, оксид углерода, оксид азота | Автомобили, тракторы, автобусы, мотоциклы |
| Двухтактный внутреннего сгорания | Бензин (с добавлением масла) | Углеводороды, оксид углерода, оксид азота, твердые вещества | Мотоциклы, вспомогательные моторы |
| Дизель | Лигроин | Оксид азота, твердые вещества | Тракторы, автобусы, машины |

Уровень загазованности магистралей и примагистральных территорий зависит от интенсивности движения автомобилей, ширины и рельефа улицы, скорости ветра, доли грузового транспорта и автобусов в общем потоке. При интенсивности движения 500 транспортных единиц в час концентрация оксида углерода (II) на открытой территории на расстоянии 30-40 м от автомагистрали снижается в 3 раза и достигает нормы. Затруднено рассеивание выбросов автомобилей на тесных улицах. В итоге практически все жители города испытывают на себе вредное влияние загрязненного воздуха.

## Основные направления защиты атмосферного воздуха от вредных выбросов передвижных источников

*Меры административного и экономического регулирования.*

Вредное воздействие выбросов двигателя автомобиля на людей и животных называется токсичностью выбросов. Величина вредных выбросов в атмосферу автотранспортом зависит от плотности транспортного потока и количества газов, выбрасываемых каждым автомобилем. Так как транспортный поток на улицах городов будет непрерывно возрастать, необходимо для снижения загазованности воздушной среды ограничить количество вредных продуктов, выделяемых каждым автомобилем, т. е. установить нормы выброса токсичных веществ с выхлопными газами.

Жесткие требования к токсичности отработанных газов новых автотранспортных средств сформулированы в виде норм ЕЭК ООН, директив Европейского союза, которые являются обязательными для автопроизводителей. Выполнение этих норм позволяет существенно сократить интенсивность

выделения нормируемых токсичных компонентов выбросов двигателями одиночных автотранспортных средств.

Для ограничения содержания в выхлопе автомобиля токсичных веществ Европейской экономической комиссией ООН были введены стандарты «Евро».

Стандарт Евро-1 предусматривал выброс бензиновым двигателем оксида углерода (CO) не более 2,72 г на 1 км пути, углеводородов - не более 0,72 г/км, оксида азота (IV) ($NO_2$) - не более 0,27 г/км. Евро-1 действовал в Европе с 1992 года, а в 1995-м году его сменил более жесткий стандарт - Евро-2.

В Евро-2 были ужесточены почти в 3 раза (0,29 против 0,72 г/км) нормы по содержанию в выхлопе углеводородов.

Экологический стандарт Евро-2 был принят Правительством России осенью 2005 г.

В 1999 г. введен стандарт Евро-3. Евро-3 – это снижение уровня выбросов по сравнению с Евро-2 на 30-40 %. Ему соответствуют все новые машины, выпущенные в европейских странах с 1999 г. Все транспортные средства, произведенные или ввезенные в Россию, начиная с 1 января 2008 г., должны удовлетворять требованиям стандарта Евро-3, регулирующего содержание вредных веществ в выхлопных газах транспортных средств с дизельными и бензиновыми двигателями.

С октября 2008 г. для всех новых грузовых автомобилей, продаваемых в Евросоюзе, обязателен стандарт Евро-5. Важно отметить, что до введения стандарта Евро-5 выбросы сажи в выхлопах транспортных средств не учитывались.

В 2015 г. вступил в силу стандарт Евро-6, согласно которому снижен выброс углекислого газа новыми автомобилями.

В нашей стране существуют два вида стандартов на нормы и методы определения вредных веществ в отработанных газах автомобилей и двигателей.

К первому относятся государственные стандарты. Они распространяются на автомобили, находящиеся в эксплуатации, т. е. на весь автомобильный транспорт РФ. Это ГОСТ 17.2.2.03-77 «Охрана природы. Атмосфера. Содержание окиси углерода в отработанных газах автомобилей с бензиновыми двигателями. Нормы и методы определения», ГОСТ 1393-75 «Автомобили с дизелями.

Дымность отработанных газов. Нормы и методы определения», ГОСТ Р 52033-2003 «Автомобили с бензиновыми двигателями. Выбросы загрязняющих веществ с отработавшими газами. Нормы и методы контроля при оценке технического состояния» и ГОСТ Р 52160-2003 «Автотранспортные средства с воспламенением от сжатия. Дымность отработавших газов. Нормы и методы контроля при оценке технического состояния».

Второй вид – отраслевые стандарты Минавтопрома на новую продукцию. Они предусматривают проверку токсичности отработанных газов автомобилей с искровым зажиганием массой от 400 до 3500 кг, двигателей грузовых автомобилей и автобусов при приемочных и контрольных испытаниях на предприятиях- изготовителях. В 1982 г. введен в действие отраслевой стандарт

ГОСТ 37.001.234-81 «Охрана природы. Атмосфера. Дизели автомобильные. Выбросы вредных веществ с отработанными газами.

Нормы и методы определения». Стандарт устанавливает предельно допустимые нормы выброса оксида углерода (II), углеводородов и оксида азота (IV), а также определяет методику проведения измерений указанных компонентов. Простая мера - регулировка двигателей - может снизить токсичность выхлопных газов в несколько раз. 7 марта 2003 г. Государственной Думой РФ принят закон «О запрете производства и оборота этилированного автомобильного бензина в Российской Федерации». Этилированный бензин – это топливо с добавлением тетраэтилсвинца - добавки, которая увеличивает октановое число автомобильного бензина с 76 до 93.

Этиловый бензин - вещество, которое ведет к стойкой свинцовой интоксикации человека. Запрет производства этилированного бензина позволил снять существовавшее ранее ограничение, связанное с несовместимостью этилированного бензина и каталитического нейтрализатора отработанных газов.

Для того чтобы снизить выбросы одиночных автотранспортных средств в процессе их эксплуатации, следует ужесточить экологический контроль, а также добиться вытеснения экологически опасных автотранспортных средств из эксплуатации. Для этого устанавливают экологические классы автотранспортных средств:

- 0-й класс - устаревшие модели;
- промежуточный класс – устаревшие модели, оснащенные устройствами, снижающими токсичность выбросов;
- 1-й, 2-й классы и т. д. – модели, соответствующие требованиям Евро-1, Евро-2 и т. д.

Действующий ГОСТ Р 52033-2003 «Автомобили с бензиновыми двигателями. Выбросы загрязняющих веществ с отработавшими газами. Нормы и методы контроля при оценке технического состояния» позволяет осуществлять контроль автомобилей 0-го и промежуточного классов.

Для контроля автотранспортных средств 2-го класса и выше необходима разработка новых поправок к данному стандарту.

Для дизелей всех типов автотранспортных средств экологические классы в эксплуатации пока не установлены. Согласно ГОСТ Р 52160-2003 «Автотранспортные средства с воспламенением от сжатия. Дымность отработавших газов. Нормы и методы контроля при оценке технического состояния» дизели проверяют на соответствие норм дымности.

Введение экономических стимулов в виде увязки экологического класса автотранспортного средства с уровнем транспортного налога (чем ниже экологический класс, тем выше налог), ограничения (платность) доступа на определенные территории автотранспортных средств низших экологических классов позволит создать условия для вытеснения из автомобильного парка экологически опасных автотранспортных средств и снизить загрязнение атмосферного воздуха вблизи транспортных сооружений.

*Градостроительные мероприятия.*

Для защиты атмосферного воздуха от загрязнений выбросами автомобильного транспорта большое значение имеют градостроительные мероприятия, направленные на снижение концентрации выхлопных газов в зоне пребывания человека.

Так, к мероприятиям по снижению концентрации загрязнений на пути их распространения относятся:

- удаление жилых зданий от автомагистралей;
- рациональное расположение домов и спальных комнат в квартирах;
- применение перекрытий, стен и окон с высокой герметичностью;
- развитие транспортной сети объездных дорог;
- строительство улиц, дублирующих магистрали;
- организация пересечений улиц в разных уровнях;
- организация проездов вне жилых территорий;
- применение зеленых насаждений.

Необходимы специальные приемы застройки и озеленения автомагистралей, размещение застройки по принципу зонирования: в первом от магистрали эшелоне застройки размещаются здания пониженной этажности, затем дома повышенной этажности и в глубине застройки - детские и лечебно-оздоровительные учреждения.

Тротуары, жилые, торговые и общественные здания изолируются от проезжей части улиц с напряженным движением многорядными древесно-кустарниковыми посадками – по три-четыре ряда и более. Известно, что запыленность воздуха в зеленых насаждениях в 2-3 раза меньше, чем на открытых территориях.

Древесные и травянистые растения улавливают до 50 % пыли летом и до 37 % зимой. Хвойные породы, вследствие увеличенной адсорбции, осаждают пыли в 1,5 раза больше на единицу массы листа по сравнению с лиственными.

Отсутствие ухоженного газона под деревьями снижает осаждение пыли зелеными насаждениями, уменьшая их пылезащитную функцию в несколько раз. Поэтому для удержания осевшей пыли почва должна быть покрыта дерном или подстриженным газоном.

Газозащитные зеленые насаждения могут быть использованы в сочетании с земляными валами и защитными экранами.

Большое значение имеет сооружение транспортных развязок на разных уровнях, магистралей-дублеров, кольцевых дорог, использование подземного пространства для размещения автостоянок и гаражей.

Так как наибольший выброс продуктов неполного сгорания бензина происходит при задержках машин у светофоров, при стоянке с невыключенным мотором в ожидании зеленого света, при трогании с места и форсировании работы мотора, то необходимо устранить препятствия на пути свободного движения потока автомашин. Для этого нужны специальные автомобильные магистрали, не пересекающиеся с другими магистралями на одном уровне и движением машин или пешеходов. Необходимы переходы для пешеходов на

всех пунктах скопления машин, а также эстакады или тоннели для разгрузки больших перекрывающихся потоков транспорта.

*Организация движения городского транспорта.*

Любые вопросы организации движения надо рассматривать с точки зрения не только обеспечения безопасности, но и уменьшения токсичности выхлопных газов. Так, предельная скорость движения в городе установлена 60 км/ч. Именно на эту скорость у легковых автомобилей приходится минимум вредных выбросов. При резком увеличении или уменьшении скорости движения выброс возрастает более чем вдвое.

Должна проводиться большая работа по улучшению организации и безопасности движения транспорта. Возрастает роль техники регулирования. На улицах наших городов можно увидеть принципиально новые системы регулирования движения. Примером может служить «Бегущая волна». Она обеспечивает плавность автомобильного потока: по резервной полосе автомагистрали прокладывается гирлянда разноцветных ламп; по ним как бы двигаются светящиеся линии зеленого и красного цвета. Скорость перемещения того или иного света соответствует режиму движения транспорта. В этой ситуации «зеленый луч» становится своего рода пеленгом для водителей. Они получают возможность решать, какую скорость следует выбрать в данной ситуации. Вереница автомобилей растягивается по всей длине зеленого сигнала, и вероятность столкновения между соседними автомобилями уменьшается.

Используется электронный регулировщик движения транспорта – телеавтоматическая система «Старт», предназначенная для автоматизированного управления движением транспортных потоков по всей улично-дорожной сети города. Система позволяет из единого центра определять скорость движения транспорта на основных магистралях, места заторов и пробок, регулировать режим работы светофоров, оперативно осуществлять диспетчерское управление движением транспорта в экстремальных ситуациях, управлять движением в тоннелях, информировать участников движения с помощью динамических электронных табло и управляемых дорожных знаков о дорожно-транспортной ситуации.

Переключение программ координации осуществляется по расписанию (по времени суток и дням недели с учетом сезона) либо адаптивно (по параметрам транспортных потоков).

Применение системы «Старт» позволяет сократить задержки транспорта у светофоров на 25 %, сэкономить горючего на 8-12 %, уменьшить количество дорожных происшествий.

*Электрический транспорт.*

Оздоровлению атмосферы способствует расширение перевозок пассажиров с помощью электрического транспорта (как наземного, так и подземного).

Электрический транспорт избавляет население от лишнего шума и выхлопных газов.

На периферии города целесообразно использование скоростных трамваев над обособленным полотном, пересекающимся с городскими магистралями на разных уровнях. Это позволит увеличить скорость трамвая до 32 км/ч (вместо 16-20 км/ч обычной скорости наземного городского транспорта). Трамвай – вполне современный, удобный и экономичный транспорт. Сооружение 1 км пути современного скоростного трамвая обходится в 8-12 раз дешевле 1 км линии метро. Трамвай имеет самый низкий удельный расход энергии. В ряде случаев, особенно при спаде пассажиропотока, скоростной трамвай, имеющий обособленное полотно для движения, может успешно конкурировать с метрополитеном.

Особенно выгодно применение наземного электрического транспорта в курортных зонах. В таких случаях, например, троллейбус может работать и в междугороднем сообщении: длина троллейбусных линий Симферополь-Ялта и Симферополь-Алушта более 100 км.

*Добавление к топливу присадок.* Добавлением к топливу присадок можно изменить ход реакций окисления углеводородов в сторону уменьшения образования некоторых токсичных компонентов: оксида углерода, углеводородов, альдегидов, сажи и др.

В России и за рубежом предложен ряд присадок. Для карбюраторных двигателей самыми эффективными оказались смеси различных спиртов. Добавление их к бензину ведет к заметному снижению в выхлопных газах оксида углерода (II).

Разработано большое число присадок к дизельному топливу, снижающих содержание в выхлопных газах дизелей сажи. Наиболее эффективными оказались барийсодержащие присадки.

Перспективно использование присадок на основе ферроценов.

Присадки этого типа сочетаемы с каталитическими дожигателями и используются в производстве бензинов.

*Сжатый и сжиженный газ* - топливо для автомобилей. В качестве автомобильного горючего используют два вида газового топлива: сжиженный нефтяной, или углеводородный, и сжатый компримированный газ.

Сжиженный газ, используемый как автомобильное топливо, в основном состоит из пропана, бутана, получаемых при добыче природного газа и нефти, и (около 1 %) непредельных углеводородов.

Сжатый газ – это, в основном, метан, сохраняющий свое газообразное состояние почти при любой температуре и при повышенном давлении.

В выхлопе автомобилей, работающих на газе, содержится в три- четыре раза меньше оксида углерода (II), чем в выхлопе бензиновых двигателей. Газ сгорает почти полностью. В Российской Федерации существуют действующие и создаются новые автомобильные газозаправочные станции (АГНСК), предназначенные для заправки автомобилей сжатым газом. АГНСК рассчитана на 500 заправок в сутки при трехсменной работе в объеме заправки 100 м3. Время заправки 10-12 мин. Как показал отечественный и зарубежный опыт, природный

газ является весьма экономичным горючим для автомобильных двигателей: 1 м3 газа сберегает как минимум 1 л бензина. Ресурсы мотора увеличиваются в 1,5 раза; периодичность смены масла - в 2,5 раза. Во столько же снижаются затраты на топливо и себестоимость перевозок. Резко снижаются выбросы в атмосферу продуктов сгорания. Максимальная скорость автомобиля без прицепа при работе на природном газе - 95 км/ч. Контрольный расход газа при скорости 60 км/ч - 40 м3 на 100 км пути.

Температура кипения сжиженного газа – $160^0$ С. Во избежание испарения топливо помещают в криогенный бокс; 60 л сжиженного природного газа обеспечивают автопробег в 300 км. Газ легко смешивается с воздухом и образует идеальную «пищу» для мотора. Газовое топливо увеличивает срок службы двигателя примерно на треть.

Перевод автомобиля на газовое топливо не требует конструктивной переделки двигателя: достаточно установить газобаллонное оборудование. Межремонтный пробег газового двигателя более продолжительный по сравнению с бензиновым, на газовом двигателе увеличивается срок службы свечей зажигания.

Применение газового топлива заметно снижает суммарную токсичность отработавших газов.

По данным «ВНИИГАЗ», в России возможен перевод на природный газ не менее 30 % грузовых автомобилей, 60-70 % автобусов и 10-15 % легковых автомобилей.

Помимо газа могут использоваться и другие виды топлива: спирт, биотопливо. В качестве автономного топлива этанол по некоторым параметрам превосходит бензин. В нем меньше примесей, а октановое число достигает 125 единиц. Поэтому этанол иногда используют как высокооктановую добавку. Однако теплотворная способность этанола существенно ниже «бензиновой» - отсюда и более высокий расход топлива.

В настоящее время возможности сельского хозяйства Европы способны обеспечить биотопливом от 50 до 80 % всех легковых автомобилей. При сгорании топлива в атмосферу возвращается только тот углекислый газ, который был поглощен растениями при росте. Биодизельное топливо (биодизель) - относительно новый вид экологически чистого топлива. Производится биодизель из растительного масла и является возобновляемым источником энергии. Биодизель может использоваться в обычных двигателях внутреннего сгорания без изменения их конструкции. Возможно применение биодизеля как самостоятельного вида топлива, так и в смеси с обычным дизельным топливом.

*Нейтрализаторы выхлопных газов.*

Отработанные газы автомашин можно обезвреживать с помощью специальных устройств в системе выпуска двигателя автомобиля, называемых нейтрализаторами. Устройство для обезвреживания отработанных газов методом каталитического воздействия получило название каталитического нейтрализатора. Пламенный нейтрализатор - устройство для обезвреживания

отработанных газов двигателя автомобиля дожиганием в открытом пламени. Термический нейтрализатор - термоаккумулирующее устройство для нейтрализации отработанных газов автомобиля методом беспламенного окисления. Жидкостный нейтрализатор - устройство для обезвреживания отработанных газов автомобиля с помощью химического связывания жидкими реагентами.

В настоящее время наибольшее распространение получили каталитические нейтрализаторы, в которых используются платина, палладий. Эти металлы позволяют существенно снизить порог энергии, при котором начинаются окислительно-восстановительные реакции. Проходя через поры нейтрализатора, CO превращается в малотоксичный $CO_2$, а оксиды азота восстанавливаются до безвредного $N_2$.

В нашей стране в 1979 г. на городские трассы вышли первые «Волги», оборудованные необычной «ловушкой для дыма» – каталитическими нейтрализаторами, которые резко снижают токсичность выхлопных газов автомобиля. Эффект от использования нейтрализаторов внушительный: при оптимальном режиме выброс в атмосферу оксида углерода уменьшается на 70-80 %, а углеводородов – на 50-70 %.

Современные катализаторы являются трехкомпонентными, т.е. оснащены тремя каталитическими преобразователями, по одному на каждое вещество, которое необходимо снизить. Трехкомпонентный катализатор представляет собой металлический корпус из нержавеющей стали, в котором находится "сотовая" керамическая конструкция или реже конструкция типа "керамические бусины". Сотовая конструкция бывает металлической или керамической и покрыта веществами-катализаторами, обычно это платина, родий или палладий (в последнее время на некоторых моделях начинают применять золото, которое что удивительно дешевле других металлов-катализаторов).

Катализатор уменьшает количество несгоревшего топлива $C_xH_y$ и оксида углерода (II) CO путем их сжигания (окисления) с помощью платины и палладия. Этот катализатор также помогает оксиду углерода вступить в реакцию с несгоревшим кислородом, образуя углекислый газ. В упрощенном виде эти химические реакции выглядят следующим образом:

$$C_xH_y + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O;$$

$$NO + CO \rightarrow N_2 + CO_2;$$

$$CO + O_2 \rightarrow CO_2;$$

$$NO + H_2 \rightarrow N_2 + H_2O.$$

*Совершенствование двигателей внутреннего сгорания.* Чтобы уменьшить количество вредных выбросов в атмосферу, ученые многих стран стремятся улучшить конструкции существующих, двигателей серийного производства.

Так, в 1959 году в США запатентован карбюратор с раздельным смесеобразованием, конструкция которого позволяет кроме обычной смеси получать обогащенную смесь. Эта смесь подается в специальную предкамеру со свечой зажигания. В двигателе, оборудованном таким карбюратором, происходит полное сгорание рабочей смеси, что обеспечивает минимальное содержание в отработанных газах оксида углерода и углеводородов. Поскольку средняя температура в камере сгорания понижается, резко уменьшается и выброс оксидов азота.

В 1979 году все автомобили, сходящие с ВАЗа (Волжский автозавод), начали оснащать карбюраторами «Озон», которые обеспечивали нормы токсичности выхлопных газов. На базе «Озона» были созданы экономичные карбюраторы для Москвичей, ГАЗов, УАЗов. На производственном объединении «ГАЗ» разработана новая система воспламенения рабочей смеси. Эта система – форкамерное зажигание - разработана отечественными специалистами, а способ зажигания называется процессом лавинной активации горения. В основную камеру сгорания бензино-воздушной смеси выбрасывается из вспомогательной форкамеры факел химически активных продуктов неполного сгорания этой смеси. Форкамерный двигатель благодаря большой мощности обеспечивает высокую экономичность в потреблении топлива и исключительно низкую токсичность отработанных газов. В настоящее время все автомобили, сходящие с конвейеров АВТОВАЗа, оснащаются системой электронного впрыскивания топлива, которая совместно с каталитическим нейтрализатором позволяет обеспечить соблюдение норм.

## Порядок выполнения работы

Определяется число единиц автотранспорта (по типам), проходящего на заданном участке автомагистрали за один час. Для этого на заданном участке автомагистрали в течение 20 мин фиксируются все проехавшие автомашины. Результаты подсчетов записываются в таблицу 2.2.

*Таблица 2.2*

Результаты подсчетов

| № п/п | Тип автомобиля | Интенсивность движения, авт. | |
|---|---|---|---|
| | | за 20 мин | за 1 ч |
| 1 | Легковые автомобили | | |
| 2 | Малые грузовые автомобили бензиновые (до 5 т) | | |
| 3 | Грузовые автомобили бензиновые (6 т и более) | | |
| 4 | Грузовые автомобили дизельные | | |
| 5 | Автобусы бензиновые | | |
| 6 | Автобусы дизельные | | |

Затем с использованием полученных данных выполняются расчеты загрязнения атмосферного воздуха выбросами вредных веществ с отработанными автомобильными газами.

***Методика расчета загрязнения атмосферного воздуха автомобильным***

Методика расчета основана на поэтапном определении эмиссии (выбросов) токсичных веществ (оксида углерода (II) – CO, углеводородов – $C_nH_m$, оксидов азота – $NO_x$) с отработавшими газами автомобильного транспорта, концентрации загрязнения воздуха этими веществами на различном удалении от дороги и сравнении полученных данных с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) данных веществ в воздушной среде.

При расчете выбросов учитываются различные типы автотранспортных средств и конкретные дорожные условия.

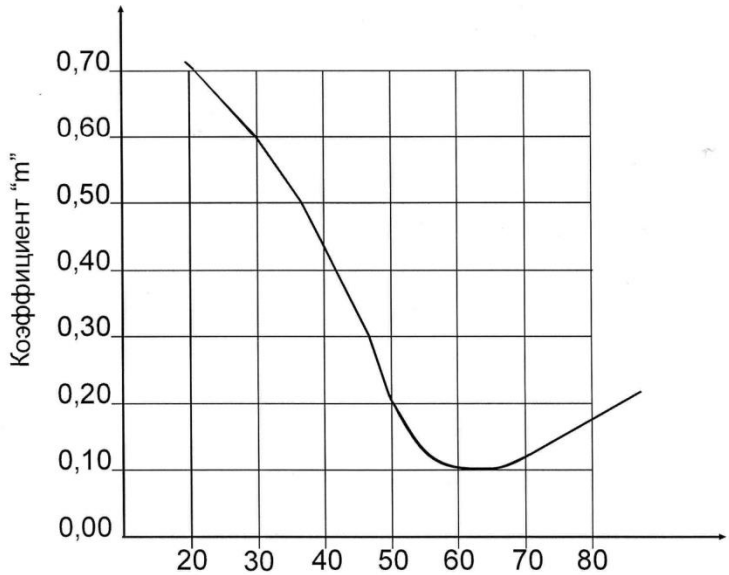


Рис. 2.1 - Зависимость величины коэффициента «m», учитывающего дорожные и автотранспортные условия движения, от средней скорости транспортного потока

В качестве расчетной принимается интенсивность движения различных типов автомобилей в смешанном потоке на заданном участке автомагистрали.

Мощность эмиссии CO, $C_nH_m$, $NO_x$ в отработавших газах отдельно для каждого газообразного вещества определяется по формуле:

$$q = 2{,}06 \cdot 10^{-4} \cdot m \left[ \left( \sum_{1}^{i} G_{ik} \cdot N_{ik} \cdot K_k \right) + \left( \sum_{1}^{i} G_{id} \cdot N_{id} \cdot K_d \right) \right], \qquad (2.1)$$

где $q$ - мощность эмиссии данного вида загрязнений от транспортного потока на конкретном участке дороги, г/м·с;

$2{,}06 \cdot 10^{-4}$ - коэффициент перехода к принятым единицам измерения;

$m$ - коэффициент, учитывающий дорожные и автотранспортные условия, принимается по графику (рис. 2.1) в зависимости от средней скорости транспортного потока;

$G_{ik}$ - средний эксплуатационный расход топлива для данного типа (марки) карбюраторных автомобилей, л/км; для оценочных расчетов может быть принят по средним эксплуатационным нормам с учетом условий движения, которые приведены в таблице 2.3;

$G_{id}$ - то же для дизельных автомобилей, л/км;

$N_{ik}$ - интенсивность движения каждого выделенного типа карбюраторных автомобилей, авт./час (табл. 2.2);

$N_{id}$ - то же для дизельных автомобилей, авт./час;

$K_k$ и $K_d$ - коэффициенты, принимаемые для данного компонента загрязнения для карбюраторных и дизельных типов двигателей соответственно по таблице 2.4.

При расчете рассеяния выбросов от автотранспорта и определения концентрации токсичных веществ на различном удалении от дороги используется модель Гауссового распределения примесей в атмосфере на небольших высотах.

*Таблица 2.3*

Средние эксплуатационные нормы расхода топлива на 1 км пути в литрах

| Тип автомобиля | Средний эксплуатационный расход топлива, л/км |
|---|---|
| Легковые автомобили | 0,11 |
| Малые грузовые автомобили бензиновые (до 5 т) | 0,16 |
| Грузовые автомобили бензиновые (6 т и более) | 0,33 |
| Грузовые автомобили дизельные | 0,34 |
| Автобусы бензиновые | 0,37 |
| Автобусы дизельные | 0,28 |

*Таблица 2.4*

Значения коэффициентов $K_k$ и $K_d$

| Вид выброса | Тип двигателя | |
|---|---|---|
| | бензиновый | дизельный |
| Оксид углерода (CO) | 0,6 | 0,14 |

| | | |
|---|---|---|
| Углеводороды ($C_nH_m$) | 0,12 | 0,037 |
| Оксид азота ($NO_x$) | 0,06 | 0,015 |

Концентрация загрязнений атмосферного воздуха оксидом углерода (II), углеводородами, оксидами азота вдоль автомобильной дороги определяется по формуле:

$$C = \frac{2q}{\sqrt{2\pi} + \sigma \cdot V \cdot sin\varphi} + F, \qquad (2.2)$$

где $C$ - концентрация данного вида загрязнения в воздухе, г/м³;

$\sigma$ - стандартное отклонение Гауссового рассеивания в вертикальном направлении, м; принимается по таблице 2.5;

$V$ - скорость ветра, преобладающего в расчетный месяц летнего периода, м/с;

$\varphi$ - угол, составляемый направлением ветра к трассе дороги. При угле от 90° до 30° скорость ветра следует умножать на синус угла, при угле менее 30° - коэффициент 0,5;

$F$ - фоновая концентрация загрязнения воздуха, г/м³.

*Таблица 2.5*

Значения стандартного Гауссового отклонения при удалении от кромки проезжей части

| Приходящая солнечная радиация | Значения стандартного Гауссового отклонения $\sigma$ при удалении от кромки проезжей части, в метрах | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 150 | 200 | 250 |
| Сильная | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 13 | 19 | 24 | 30 |
| Слабая | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 14 | 18 | 22 |

Примечание: сильная солнечная радиация соответствует ясной солнечной погоде, слабая - пасмурной (в т. ч. дождливой). Величина должна приниматься в расчетный период наибольшей интенсивности движения (летний период). Уровень солнечной радиации принимается в зависимости от того, какая погода превалирует в расчетный месяц.

Результаты расчета по формуле (2.2) сопоставляются с предельно допустимыми концентрациями (ПДК), установленными органами Министерства здравоохранения с учетом класса опасности для токсичных составляющих отработавших газов тепловых двигателей в воздухе населенных мест; они приведены в таблице 2.6.

*Таблица 2.6*

Предельно допустимая концентрация токсичных составляющих отработавших газов в воздухе населенных мест, мг/м³

| Вид вещества | Класс опасности | Среднесуточные предельно допустимые концентрации, мг/м$^3$ |
|---|---|---|
| Оксид углерода (CO) | 4 | 3,0 |
| Углеводороды ($C_nH_m$) | 3 | 1,5 |
| Оксид азота ($NO_x$) | 2 | 0,04 |

По полученным результатам строится график загрязнения отработавшими газами придорожной зоны. Пример графика приведен на рисунке 2.2.

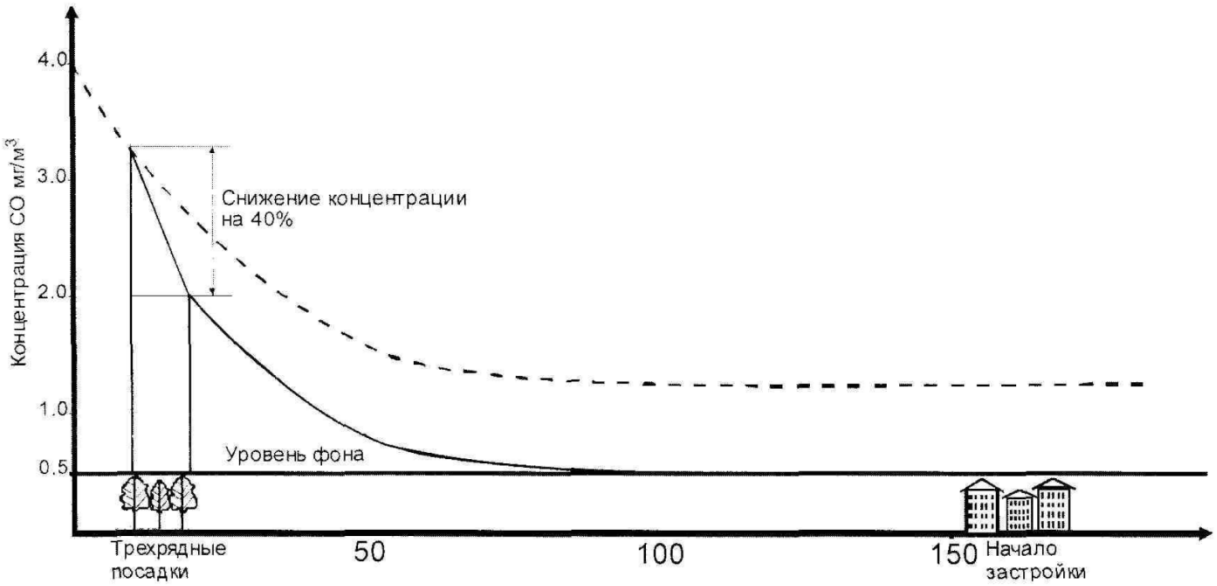


Рис. 2.2. Снижение концентрации CO за счет устройства трехрядных посадок деревьев

Для уменьшения ширины распространения загрязнения следует предусматривать защитные зеленые насаждения, экраны, защитные валы, прокладку автомобильной дороги в выемке. Снижение концентрации загрязнений защитными сооружениями в процентах к величине концентрации приведено в таблице 2.7.

*Таблица 2.7*

Снижение концентрации загрязнений различными типами защитных сооружений и зеленых насаждений

| Мероприятия | Снижение концентрации, % |
|---|---|
| 1. Один ряд деревьев с кустарником высотой до 1,5 м на полосе газона 3-4 м | 10 |
| 2. Два ряда деревьев без кустарника на газоне 8-10 м | 15 |
| 3. Два ряда деревьев с кустарником на газоне 10-12 м | 30 |

| | |
|---|---|
| 4. Три ряда деревьев с двумя рядами кустарника на полосе газона 15-20 м | 40 |
| 5. Четыре ряда деревьев с кустарником высотой 1,5 м на полосе газона 25-30 м | 50 |
| 6. Сплошные экраны, стены зданий высотой более 5 м от уровня проезжей части | 70 |
| 7. Земляные насыпи, откосы при проложении дороги в выемке при разности отметок от 2 до 3 м | 50 |
| 8. То же, 3- 5 м | 60 |
| 9. То же, более 5 м | 70 |

Выбор защитных мероприятий следует осуществлять на основе сравнения следующих основных вариантов:

- изменение параметров дороги, направленное на повышение средней скорости транспортного потока;
- ограничение движения отдельных типов автомобилей полностью или в отдельные интервалы времени;
- усиление контроля за движением автомобилей с неотрегулированными двигателями по участку, чувствительному к загрязнению воздушной среды, в целях минимизации токсичных выбросов;
- устройство защитных сооружений.

***Пример расчета загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортом***

Определить концентрацию загрязнения атмосферного воздуха CO, $C_nH_m$, $NO_x$ на различном расстоянии от автомобильной дороги на расчетном поперечнике.

Исходные данные: Автомобильная дорога III категории; интенсивность движения – *N*=190 авт./ч. Данные по составу транспортного потока представлены в таблице 11.8.

Средняя скорость потока движения – 60 км/ч, т. е. по рисунку 11.1 $m = 0{,}10$. Скорость господствующего ветра – 3 м/с. Угол направления ветра к оси трассы – $30^0$.

Автомобильная дорога на рассматриваемом участке проходит в границах населенного пункта; застройка находится на расстоянии 20 м от кромки проезжей части дороги.

Данные по фоновой концентрации отсутствуют.

*Таблица 2.8*

Состав транспортного потока

| Тип автомобиля | Содержание в потоке, % | Интенсивность, авт./час | Средний эксплуатационный расход топлива, л/км |
|---|---|---|---|
| Легковой | 40 | 75 | 0,11 |
| Малые грузовые бензиновые | 5 | 10 | 0,16 |
| Грузовые бензиновые | 30 | 60 | 0,33 |
| Грузовые дизельные | 20 | 35 | 0,34 |
| Автобусы бензиновые | 5 | 10 | 0,37 |

*Решение:*

1. По формуле (2.1) определяется удельная эмиссия загрязняющих веществ по компонентам:

Для оксида углерода:

$$q_{CO} = 2{,}06 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}1 \cdot (0{,}11 \cdot 75 \cdot 0{,}6 + 0{,}16 \cdot 10 \cdot 0{,}6 +$$

$$+0{,}33 \cdot 60 \cdot 0{,}6 + 0{,}34 \cdot 35 \cdot 0{,}14 + 0{,}37 \cdot 10 \cdot 0{,}6) = 0{,}0004 \text{ г/м} \cdot \text{с}.$$

Для углеводородов:

$$q_{C_nH_m} = 2{,}06 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}1 \cdot (0{,}11 \cdot 75 \cdot 0{,}12 + 0{,}16 \cdot 10 \cdot 0{,}12 +$$

$$+0{,}33 \cdot 60 \cdot 0{,}12 + 0{,}34 \cdot 35 \cdot 0{,}037 + 0{,}37 \cdot 10 \cdot 0{,}12) = 0{,}00009 \text{ г/м} \cdot \text{с}.$$

Для оксидов азота:

$$q_{NO_x} = 2{,}06 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}1 \cdot (0{,}11 \cdot 75 \cdot 0{,}06 + 0{,}16 \cdot 10 \cdot 0{,}06 +$$

$$+0{,}33 \cdot 60 \cdot 0{,}06 + 0{,}34 \cdot 35 \cdot 0{,}015 + 0{,}37 \cdot 10 \cdot 0{,}06) = 0{,}0000448 \text{ г/м} \cdot \text{с}.$$

2. По формуле (2.2) определяется концентрация загрязнений атмосферного воздуха различными компонентами в зависимости от расстояния от дороги. На расстоянии 20 м от кромки проезжей части, где в данном примере принята граница застройки, концентрация загрязнения составит:

Для оксида углерода:

$$C_{CO}^{20} = \frac{2 \cdot 0{,}0004}{\sqrt{2\pi} + \sigma \cdot V \cdot sin\varphi} = \frac{0{,}0008}{\sqrt{2 \cdot 3{,}14} + 2 \cdot 3 \cdot 0{,}5} = 0{,}00011 \text{ г/м}^3$$
$$= 0{,}11 \text{ мг/м}^3.$$

Для углеводородов:

$$C_{C_nH_m}^{20} = \frac{2 \cdot 0{,}00009}{\sqrt{2\pi} + \sigma \cdot V \cdot sin\varphi} = \frac{0{,}00018}{\sqrt{2 \cdot 3{,}14} + 2 \cdot 3 \cdot 0{,}5} =$$

$$= 0{,}000024 \text{ г/м}^3 = 0{,}024 \text{ мг/м}^3.$$

Для оксида азота:

$$C_{NO_x}^{20} = \frac{2 \cdot 0{,}0000448}{\sqrt{2\pi} + \sigma \cdot V \cdot sin\varphi} = \frac{0{,}0000896}{\sqrt{2 \cdot 3{,}14} + 2 \cdot 3 \cdot 0{,}5} =$$

$$= 0{,}00001119 \text{ г/м}^3 = 0{,}011 \text{ мг/м}^3.$$

Аналогично определяется концентрация и для других расстояний. Результаты расчетов приводятся в таблице 2.9.

*Таблица 2.9*

Зависимость концентрации загрязнений от расстояния от проезжей части

| Вид выбросов | Концентрация загрязнений в атмосфере на расстоянии в метрах от кромки проезжей части дороги, мг/м$^3$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 150 |
| Оксид углерода (CO) | 0,11 | 0,055 | 0,037 | 0,0275 | 0,022 | 0,016 |
| Углеводороды ($C_nH_m$) | 0,024 | 0,012 | 0,008 | 0,006 | 0,0048 | 0,0034 |
| Оксиды азота ($NO_x$) | 0,011 | 0,006 | 0,004 | 0,003 | 0,0022 | 0,0016 |

По результатам расчетов строится график распространения загрязнений в зависимости от расстояния от дороги.

Вывод: результаты расчетов показывают, что величина транспортного воздействия на атмосферный воздух не превышает предельно допустимых концентраций, приведенных в таблице 2.6.

***Требования к отчету***

Результаты практической работы должны быть оформлены в виде отчета, в котором должны быть изложены:

- наименование работы;
- цель работы;
- результаты расчетов;
- график распространения загрязнений в зависимости от расстояния от дороги;
- вывод об экологической обстановке исследованного участка автомобильной трассы.

*Таблица 2.10*

**Исходные данные для расчетов**

| № варианта | Интенсивность движения, авт./ч | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Легковые | Малые грузовые карбюраторные | Грузовые карбюраторные | Грузовые дизельные | Автобусы карбюраторные |
| 1 | 80 | 12 | 50 | 30 | 10 |
| 2 | 85 | 20 | 60 | 35 | 15 |
| 3 | 90 | 25 | 70 | 40 | 20 |
| 4 | 95 | 30 | 80 | 45 | 25 |
| 5 | 100 | 35 | 85 | 50 | 30 |
| 6 | 115 | 40 | 90 | 55 | 35 |
| 7 | 120 | 45 | 95 | 60 | 40 |
| 8 | 125 | 50 | 100 | 65 | 45 |
| 9 | 130 | 55 | 105 | 70 | 50 |
| 10 | 200 | 55 | - | - | 50 |
| 11 | 210 | 60 | - | - | 45 |
| 12 | 220 | 65 | - | - | 40 |
| 13 | 230 | 40 | - | - | 35 |
| 14 | 240 | 35 | - | - | 30 |
| 15 | 250 | 30 | - | - | 25 |
| 16 | 260 | 25 | - | - | 20 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 17 | 270 | - | 45 | 25 | - |
| 18 | 280 | - | 40 | 20 | - |
| 19 | 290 | - | 35 | 15 | - |
| 20 | 300 | - | 30 | 12 | - |
| 21 | 310 | - | 25 | 10 | - |
| 22 | 320 | 10 | 50 | 30 | 10 |
| 23 | 330 | 12 | 55 | 35 | 15 |
| 24 | 340 | 20 | 60 | 40 | 17 |
| 25 | 350 | 25 | 65 | 45 | 20 |

### *Контрольные вопросы*

1. Приведите примеры передвижных источников вредных выбросов в атмосферу.
2. Какие вредные вещества содержатся в выхлопных газах автомобильного транспорта?
3. В какие периоды движения автомобиля в его выхлопных газах содержится наибольшее и наименьшее количество вредных примесей?
4. Дайте понятие токсичности выбросов автомобильного транспорта.
5. Назовите мероприятия, внедрение которых приводит к уменьшению вреда, наносимого атмосфере автомобильным транспортом.
6. В чем сущность градостроительных мероприятий, направленных на защиту атмосферного воздуха от вредных выбросов автомобильного транспорта?
7. Роль организации движения городского транспорта в защите атмосферного воздуха от вредных выбросов автомобильного транспорта.
8. Почему электрический транспорт меньше загрязняет атмосферный воздух, чем автотранспорт, работающий на бензине или на солярке?
9. Почему устанавливаются нормы на содержание вредных веществ в отработанных газах автомобилей и двигателей?
10. Каким образом присадки к бензину способствуют снижению токсичности отработанных газов автомобилей и двигателей?
11. Какие виды нейтрализаторов выхлопных газов Вы знаете?
12. В чем преимущества использования сжатого и сжиженного газа в качестве топлива для автомобилей по сравнению с бензином?

# Практическое занятие № 3

# Расчет допустимости сброса сточных вод промышленного предприятия в водоем (4 часа)

***Цель и содержание работы***

Работа предназначена для ознакомления с нормированием деятельности промышленных предприятий, связанной со сбросом сточных вод в поверхностные водоемы.

Сточные воды промышленных предприятий после их полной или частичной очистки содержат остаточные количества нерастворенных и растворенных загрязнений. В случае неэффективной работы очистных сооружений или же при их отсутствии загрязнения, попадающие в водоем со сточными водами, могут сделать воду этого водоема непригодной для различных целей водопользования и в первую очередь для питьевого и хозяйственно-бытового использования. Для сохранения качества воды поверхностных водоемов разработаны расчетные методы определения соответствия условий сброса сточных вод в водоем санитарным нормам.

Цель работы – определение, до какой степени следует очищать, обезвреживать или обеззараживать сточные воды, чтобы на подходе к первым пунктам водопользования степень загрязнения воды не нарушала нормальные условия водопользования и не угрожала здоровью населения.

## Теоретические положения

### Загрязнение воды в водных объектах

Водоемы и водотоки (водные объекты) считаются загрязненными, если показатели состава и свойств воды в них изменились под прямым или косвенным влиянием производственной деятельности и стали частично или полностью непригодными для одного из видов водопользования.

Критерием загрязненности воды является ухудшение ее качества вследствие изменения ее органолептических свойств (цвета, запаха) и появления веществ, вредных для человека, животных, птиц, кормовых и промысловых организмов, а также повышение температуры воды, изменяющее условия для нормальной жизнедеятельности организмов. Качество воды оценивается показателями, характеризующими содержание в ней вредных веществ.

Основное нормативное требование к качеству воды в водных объектах – соблюдение установленных экологических стандартов, оценивающих состояние окружающей среды. Экологическими стандартами, оценивающими санитарное состояние водных объектов, являются предельно допустимые концентрации примесей (ПДК) в воде.

ПДК примеси (вредного вещества) в воде водного объекта – это такой нормативный показатель, который исключает неблагоприятное влияние на организм человека и возможность ограничения или нарушения нормальных условий хозяйственно-питьевого, культурно- бытового и других видов водопользования. Иными словами, ПДК – это такая концентрация, при превышении которой вода становится непригодной для одного или нескольких видов водопользования.

## Нормативы качества воды для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения

Нормативы состава и свойств воды водных объектов, которые должны быть обеспечены при спуске в них сточных вод, устанавливаются применительно к отдельным категориям водопользования у мест расположения ближайших к выпуску сточных вод пунктов водопользования.

Водопользование различают двух категорий:

- к первой категории относится использование водного объекта в качестве источника централизованного или нецентрализованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также водоснабжения предприятий пищевой промышленности;
- ко второй категории относится использование водного объекта для купания, спорта и отдыха населения, а также использование водных объектов, находящихся в черте населенных мест.

Ближайшие к месту выпуска сточных вод пункты водопользования первой и второй категории определяются органами и учреждениями санитарно-эпидемиологической службы с обязательным учетом официальных данных о перспективах использования водного объекта для питьевого водоснабжения и культурно-бытовых нужд населения.

Состав и свойства водных объектов должны соответствовать нормативам (не превышать ПДК) в створе, расположенном на водотоках в одном километре выше ближайшего по течению пункта водопользования (водозабор для хозяйственно-питьевого водоснабжения, места купания, организованного отдыха, территория населенного пункта и т.д.), а на непроточных водоемах и водохранилищах – в одном километре в обе стороны от пункта водопользования.

## Производственные ограничения на сброс сточных вод в водные объекты

Независимо от нормативных требований к качеству воды в водном объекте существуют производственные ограничения на сброс сточных вод, которые предприятия обязаны неукоснительно выполнять.

Запрещается сбрасывать в водные объекты сточные воды:

- которые могут быть устранены путем рациональной технологии, максимального использования в системах оборотного водоснабжения или устройствами бессточных производств;

- содержащие ценные отходы, которые могут быть утилизированы на данном или другом предприятии;

- содержащие производственное сырье, реагенты, полупродукты и конечные продукты производства в количествах, превышающих установленные нормативы технологических потерь;

- содержащие вещества, для которых не установлены предельно допустимые концентрации;

- которые с учетом их состава и местных условий могут быть использованы для орошения в сельском хозяйстве при соблюдении санитарных требований.

Особенно недопустим сброс в водные объекты кубовых остатков и технологических отходов.

## Технологические условия сброса сточных вод в водные объекты

Место выпуска сточных вод должно быть расположено ниже по течению реки от границы данного населенного пункта и всех мест его водопользования с учетом возможного обратного течения при нагонных ветрах и при изменении режима ГЭС.

Условия спуска сточных вод в водоемы определяются с учетом:

- степени возможного смешения и разбавления сточных вод с водой водного объекта на пути от места выпуска сточных вод до расчетного (контрольного) створа ближайших пунктов хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и рыбохозяйственного водопользования;

- качества воды водоемов и водотоков выше места проектируемого сброса сточных вод.

## Методика определения соответствия условий сброса сточных вод предприятия санитарным требованиям

Контроль и управление качеством воды в водных объектах предусматривают решение следующих задач:

- проверку достаточной степени разбавления сточных вод, для того чтобы в пункте водопользования примеси рассеивались до неопасных концентраций;

- определение требуемой степени очистки (обеззараживания) сточных вод;

- прогнозирование качества воды на заданную перспективу.

Загрязнение водоема сточными водами может неблагоприятно сказаться:

- на нарушении общего санитарного режима водоема;

- на изменении органолептических свойств водоема.

Соответственно в зависимости от свойств загрязняющих веществ определение степени необходимой очистки сточных вод ведется по каждому показателю состава и свойств воды водоемов.

Основное уравнение смешения сточных вод, сбрасываемых в водоем, с природными водами имеет вид:

$$q \cdot C_{ст} + Q \cdot C_p = (q + \gamma \cdot Q) \cdot C_{п.вод}, \quad (3.1)$$

где $Q$ – расход воды в реке, м$^3$/с;

$q$ – расход сточных вод, поступающих в реку, м$^3$/с;

$C_{ст}$ – концентрация загрязнения (данного вредного вещества) в стоке, мг/л;

$C_p$ – концентрация загрязнения (данного вредного вещества) в реке выше сброса в нее сточных вод (фоновая концентрация), мг/л;

$C_{п.вод}$ – концентрация загрязнения (данного вредного вещества) в реке перед расчетным пунктом водопользования (в общем случае в 1 км выше по течению реки), мг/л;

$\gamma$ – коэффициент смешения, показывающий, какая часть расхода воды в водоеме смешивается со сточными водами в расчетном створе.

Величина $q$ определяется хозяйственной или проектной организацией на основе замеров или технологических расчетов.

Величина $Q$ определяется проектной организацией на основе специальных местных гидрологических изысканий или данных гидрометеорологической службы. Величина $C_p$ определяется на основе специально организуемых исследований.

## Проверка достаточной степени разбавления

Решая уравнение (3.1) относительно $C_{п.вод}$, имеем:

$$C_{п.вод} = \frac{q \cdot C_{ст} + \gamma \cdot Q \cdot C_p}{q + \gamma \cdot Q}. \quad (3.2)$$

Формула (3.2) позволяет прогнозировать санитарное состояние воды при всех заданных параметрах, входящих в нее. Прогноз осуществляется путем сравнения $C_{п.вод}$ с установленной для данного вещества предельно допустимой концентрацией $C_{ПДК}$ . Если значение $C_{п.вод}$ меньше $C_{ПДК}$ , то прогноз благоприятен и разбавления сточных вод достаточно. В противном случае, когда $C_{п.вод} > C_{ПДК}$ , необходимо принять меры по уменьшению концентрации загрязнения (данного вредного вещества) в реке перед расчетным пунктом водопользования за счет проведения следующих мероприятий:

- уменьшения количества сточных вод, сбрасываемых в водоем;
- снижения концентрации загрязнения в сточных водах за счет их разбавления чистой водой;
- снижения концентрации загрязнения в сточных водах либо за счет дополнительных систем очистки, либо совершенствования технологических процессов.

При поступлении со стоком в водный объект нескольких веществ с одинаковым лимитирующим показателем вредности сумма отношений

концентрации каждого из веществ в водном объекте ($C_{1п.вод}, C_{2п.вод}, \dots, C_{Nп.вод}$ ) к соответствующим ПДК не должна превышать единицы:

$$\frac{C_{1под.вод}}{C_{1\ ПДК}} + \frac{C_{2под.вод}}{C_{2\ ПДК}} + \cdots + \frac{C_{Nпод.вод}}{C_{N\ ПДК}} \leq 1. \quad (3.3)$$

Если данное условие не выполняется, то в сточной воде должно быть уменьшено содержание одного или нескольких загрязняющих веществ.

## Определение необходимой степени очистки сточных вод от загрязняющего химического вещества

Чтобы определить, до какой степени следует очищать, обезвреживать или обеззараживать сточные воды от загрязняющего химического вещества, чтобы на подходе к первым пунктам водопользования степень загрязнения воды не нарушала нормальные условия водопользования и не угрожала здоровью населения, необходимо определить максимальную концентрацию загрязняющего химического вещества в сточной воде $C_{ПДК}$, при которой после сброса стока в реку в речной воде не будет превышен допустимый предел загрязнения, т.е. выполняется условие $C_{п.вод} \leq C_{ПДК}$ Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$C_{ст.пр} = \frac{\gamma \cdot Q}{q}\left(C_{ПДК} - C_p\right) + C_{ПДК}, \quad (3.4)$$

где $C_{ПДК}$ – предельно допустимая концентрация химического вещества в речной воде.

Величина $C_{ПДК}$ определяется по литературным (справочным) данным или на основе специально организуемых исследований, если такие данные отсутствуют.

Значение максимальной концентрации химического вещества в сточной воде $C_{ПДК}$, при котором не будут превышены допустимые пределы загрязнения воды в реке, определенное расчетом для нового или существующего объекта и положенное в основу проектирования очистных сооружений, приобретает значение контрольной величины на период эксплуатации этих сооружений и кладется в основу лимита, предельно допустимого для данного объекта, сброса в водоем загрязнений.

Необходимая степень очистки сточных вод от данного химического вещества, %, определяется по формуле:

$$Э = \frac{C_{ст} - C_{ст.пр}}{C_{ст}} \cdot 100. \quad (3.5)$$

Величина коэффициента обеспеченности смешения для проточных (незарегулированных) водоемов определяется по методу Фролова-Родзиллера:

$$\gamma = \frac{1-\beta}{1+\frac{Q}{q}\beta}. \tag{3.6}$$

Коэффициент $\beta$ в уравнении (3.6) определяется по формуле:

$$\beta = e^{-\alpha\sqrt[3]{L}}, \tag{3.7}$$

где $L$ – расстояние по фарватеру от места выпуска сточных вод до места ближайшего пункта водопользования;

α – коэффициент, учитывающий гидравлические условия смешения, который, в свою очередь, определяется по формуле:

$$\alpha = \xi \cdot \varphi \sqrt[3]{\frac{E}{q}}, \tag{3.8}$$

где $E$ – коэффициент турбулентной диффузии;

$\xi$ – коэффициент, зависящий от места выпуска сточных вод в водоем. При выпуске у берега он равен 1, при выпуске в стрежень реки он равен 1,5;

$\varphi$ – коэффициент извилистости реки, он равен отношению расстояния по фарватеру от места выпуска сточных вод до створа ближайшего пункта водопользования ($L_{\text{Ф}}$) к расстоянию до того же пункта по прямой ($L_{\text{П}}$), т. е.:

$$\varphi = \frac{L_{\text{Ф}}}{L_{\text{П}}}. \tag{3.9}$$

Коэффициент турбулентной диффузии для равнинных рек определяется по формуле:

$$E = \frac{V_{cp} \cdot H_{cp}}{200}, \tag{3.10}$$

где $V_{cp}$ – средняя скорость течения на участке между выпуском сточных вод и створом пункта водопользования;

$H_{cp}$ – средняя глубина водоема на том же участке.

## Определение необходимой степени очистки сточных вод от взвешенных веществ

Санитарные требования ограничивают лишь степень увеличения содержания взвешенных веществ в воде водоемов. Поэтому расчетная формула (13.4) принимает вид:

$$C_{ст.пр} = \left(\frac{\gamma \cdot Q}{q} + 1\right) C_{доб} + C_р, \qquad (3.11)$$

где $C_{доб}$ – допустимое увеличение содержания взвешенных веществ, принимается равным 0,25 мг/л для водоемов рыбохозяйственного назначения и 0,75 мг/л для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения.

Остальные обозначения прежние.

## Определение необходимой степени очистки сточных вод от органических веществ, подвергаемых биохимическому окислению

Вредные вещества, содержащиеся в промышленных сточных водах, способны подвергаться окислению в природных водах, что связано с потреблением растворенного в воде кислорода. Такими веществами являются преимущественно органические соединения. Перерасход кислорода может приводить к его дефициту в воде и явлению эвтрофикации, которое заключается в бурном развитии в водоеме водорослей и другой водной растительности вследствие загрязнения водоема сточными водами, содержащими органические загрязнения и биогенные вещества (азотные, фосфорные и калийные). Зная химический состав и количество примесей в воде, рассчитывают потребность в кислороде на окисление и определяют степень угрозы эвтрофикации, т. е. устанавливают, насколько опасны те или иные стоки для того, чтобы ограничить их сток. Для этого используют показатель, называемый «биохимическое потребление кислорода» (БПК), обязательно контролируемый санитарными лабораториями предприятий в сточных, природных и оборотных водах.

БПК – количество кислорода, израсходованное в определенный промежуток времени на аэробное биохимическое окисление (разложение) нестойких органических соединений, содержащихся в исследуемой воде. БПК определяют для различных отрезков времени, например за 5 суток ($БПК_5$), за 20 суток ($БПК_{20}$), а также независимо от времени – на полное окисление органики ($БПК_{полн}$). Размерность БПК в миллиграммах $O_2$/л.

Согласно ГОСТам БПК, определяется как количество кислорода, потребляемое при биохимическом окислении содержащихся в воде веществ в аэробных условиях.

Максимально допустимое значение БПК в стоке, сбрасываемом в реку, с учетом биохимического процесса самоочищения воды от органических веществ, уже имеющихся в водоеме выше места выпуска сточных вод, определяют по формуле:

$$C_{ст.пр} = \frac{\gamma \cdot Q}{q \cdot 10^{-K_{ст} \cdot t}} \left(C_{пр.д} - C_p \cdot 10^{K_р \cdot t}\right) + \frac{C_{пр.д}}{10^{-K_{ст} \cdot t}}, \qquad (3.12)$$

где $C_{ст.пр}$ – концентрация органических веществ (в $БПК_{полн}$), которая должна быть достигнута в процессе очистки сточных вод;

$C_p$ – концентрация органических веществ (в $БПК_{полн}$) в воде водоема до места выпуска сточных вод;

$C_{пр.д}$ – предельно допустимое содержание органических веществ (в $БПК_{полн}$) в створе ближайшего пункта водопользования;

$K_{ст}$ и $K_р$ – константы потребления кислорода соответственно органическими веществами сточных вод и воды реки (при спуске в реку бытовых и ряда промышленных сточных вод эти константы могут быть приняты одинаковыми $K_{ст} = K_р = 1$);

$t$ – время продвижения воды водоема вместе с разбавленными в ней сточными водами от места выпуска сточных вод до пункта водопользования (в сутках).

$$t = \frac{L_{ср}}{V_{ср}}. \qquad (3.13)$$

Если вычисленная величина $C_{ст.пр}$ (т.е. концентрация сточных вод, при которых выполняются санитарные требования в отношении БПК) окажется меньше, чем БПК сточных вод, намеченных к спуску (или поступающих в водоем), то необходима очистка сточных вод по крайней мере до $C_{ст.пр}$.

## Определение необходимой степени очистки сточных вод от веществ, придающих воде цветность и запах

В случае, когда имеются анализы сточных вод с указанием степени разбавления, при которой окраска и запах природных вод исчезают, достаточно сравнения величины разбавления, указанной в анализе, с расчетной величиной разбавления, которое возможно у створа ближайшего пункта водопользования, чтобы решить вопрос необходимости очистки сточных вод в отношении запаха и окраски перед спуском их в водоем.

Расчетная кратность разбавления сточных вод $n$ определяется по формуле:

$$n = \frac{\gamma \cdot Q + q}{q}. \qquad (3.14)$$

Если вычисленная величина $n$ (разбавление сточных вод, при котором выполняются санитарные требования в отношении окраски и запаха) окажется меньше, чем кратность разбавления, при которой исчезают окраска и запах и которая определена лабораторными исследованиями, то необходимо либо

разбавление сточных вод, либо их дополнительная очистка от загрязнений, обусловливающих цветность и запах воды.

## Исходные данные для расчетов

В городе К проектируется химический завод. Спуск сточных вод этого предприятия намечается в реку Н ниже границы города. При санитарном обследовании водоема обнаружено, что ниже намеченного спуска сточных вод на расстоянии 5 км находится населенный пункт И, который использует воду реки Н для питьевых и культурно-бытовых целей.

Примечания:

1. Выпуск сточных вод проектируется в стрежень реки, поэтому значение коэффициента $\xi$ в уравнении (3.8) для всех вариантов расчета принимается равным $\xi$ = 1,5.

2. Значение коэффициента извилистости реки $\varphi$ в уравнении (3.8) для всех вариантов расчета принимается равным $\varphi$ = 1,0.

3. Константы потребления кислорода соответственно органическими веществами сточных вод и воды реки в уравнении (3.12) для всех вариантов расчета принимаются равными $K_{cm} = K_{\text{р}} = 0{,}1$.

4. Допустимое количество взвешенных веществ, которое можно добавить на каждый литр воды водоема, для всех вариантов расчетов принимается равным $C_{доб}$ = 0,75 мг/л.

## *Требования к отчету*

Результаты практической работы оформляются в виде отчета, в котором должны быть изложены:

- наименование и вариант работы;
- исходные данные для расчетов;
- методика расчетов с результатами вычислений;
- сводная расчетная таблица;
- общее заключение по результатам работы.

## *Пример расчета*

Исходные данные для расчета:

1. данные по расходу и составу сточных вод:

- расход сточной воды $\text{q} = 0{,}4$ м$^3$/с;
- окраска жидкости – бурая, исчезает при разведении 1:15;
- запах сточной жидкости – специфический, исчезает при разведении 1:15;
- хлоридов – 1000 мг/л, сульфатов – 450 мг/л, свинца – 31мг/л, бензола – 15,1 мг/л, нитрохлорбензола – 0,51 мг/л, цинка – 6,1 мг/л, взвешенных веществ – 50 мг/л, БПК – 190 мг $O_2$/л;

2. данные по расходу и составу речной воды выше места выпуска в реку сточных вод:

- расход воды в реке – 60 $м^3/с$;
- средняя скорость течения – 0,3 м/с;
- средняя глубина – 1,2 м;
- хлоридов – 100 мг/л, сульфатов – 45 мг/л, свинца – 0,01 мг/л, бензола – 0,01 мг/л, нитрохлорбензола – 0,001 мг/л, цинка – 0,1 мг/л, взвешенных веществ – 1,5 мг/л, БПК – 1,0 мг $O_2$/л.

## Определение условий спуска сточных вод завода для химических загрязняющих веществ

Для определения возможности сброса стока в реку необходимо определить концентрацию химических примесей в речной воде у ближайшего пункта водопользования, т.е. у пункта В, и сравнить полученные данные с соответствующими значениями ПДК.

1. Определение коэффициента смешения $\gamma$:

1.1. Коэффициент турбулентной диффузии (уравнение 3.10):

$$E = \frac{V_{cp} \cdot H_{cp}}{200} = \frac{0{,}3 \cdot 1{,}2}{200} = 0{,}0018.$$

1.2. Коэффициент $\alpha$ (уравнение 3.8):

$$\alpha = \xi \cdot \varphi \sqrt[3]{\frac{E}{q}} = 1{,}5 \cdot 1{,}0 \sqrt[3]{\frac{0{,}0018}{0{,}4}} = 0{,}248,$$

где $\xi$=1,5 при выпуске сточных вод в стрежень реки, а $\varphi = 1{,}0$.

1.3. Коэффициент $\beta$ (уравнение 3.7):

$$\beta = e^{-\alpha \sqrt[3]{L}};$$

$$\alpha \sqrt[3]{L} = 0{,}248 \cdot \sqrt[3]{4000} = 3{,}94.$$

$$\beta = \mathrm{e}^{-3{,}94} = 0{,}0197,$$

где $L$ = 4000 м – расстояние от места выпуска сточных вод до створа, расположенного на 1 км выше по течению реки границы пункта В.

1.4. Коэффициент $\gamma$ (уравнение 3.6):

$$\gamma = \frac{1 - \beta}{1 + \frac{Q}{q}\beta} = \frac{1 - 0{,}0197}{1 + \frac{60}{0{,}4} \cdot 0{,}0197} = 0{,}14.$$

2. Концентрация примесей в речной воде у ближайшего пункта водопользования (уравнение 3.2):

- хлоридов

$$C_{п.вод} = \frac{q \cdot C_{ст} + \gamma \cdot Q \cdot C_p}{q + \gamma \cdot Q} =$$

$$= \frac{0{,}4 \cdot 1000 + 0{,}14 \cdot 60 \cdot 100}{0{,}4 + 0{,}14 \cdot 60} = 147{,}6 \text{ мг/л};$$

- сульфитов

$$C_{п.вод} = \frac{q \cdot C_{ст} + \gamma \cdot Q \cdot C_p}{q + \gamma \cdot Q} =$$

$$= \frac{0{,}4 \cdot 450 + 0{,}14 \cdot 60 \cdot 45}{0{,}4 + 0{,}14 \cdot 60} = 64{,}4 \text{ мг/л};$$

- свинца

$$C_{п.вод} = \frac{q \cdot C_{ст} + \gamma \cdot Q \cdot C_p}{q + \gamma \cdot Q} =$$

$$= \frac{0{,}4 \cdot 31 + 0{,}14 \cdot 60 \cdot 0{,}1}{0{,}4 + 0{,}14 \cdot 60} = 1{,}5 \text{ мг/л};$$

- бензола

$$C_{п.вод} = \frac{q \cdot C_{ст} + \gamma \cdot Q \cdot C_p}{q + \gamma \cdot Q} =$$

$$= \frac{0{,}4 \cdot 15{,}1 + 0{,}14 \cdot 60 \cdot 0{,}01}{0{,}4 + 0{,}14 \cdot 60} = 6{,}1 \text{ мг/л};$$

- нитрохлорбензола

$$C_{п.вод} = \frac{q \cdot C_{ст} + \gamma \cdot Q \cdot C_p}{q + \gamma \cdot Q} =$$

$$= \frac{0{,}4 \cdot 15{,}1 + 0{,}14 \cdot 60 \cdot 0{,}001}{0{,}4 + 0{,}14 \cdot 60} = 0{,}69 \text{ мг/л};$$

- цинка

$$C_{п.вод} = \frac{q \cdot C_{ст} + \gamma \cdot Q \cdot C_p}{q + \gamma \cdot Q} =$$

$$= \frac{0{,}4 \cdot 6{,}0 + 0{,}14 \cdot 60 \cdot 0{,}1}{0{,}4 + 0{,}14 \cdot 60} = 0{,}37 \text{ мг/л.}$$

## Сравнение полученных значений $C_{\text{п.вод}}$ со значениями ПДК для соответствующих примесей

Если расчетные значения концентрации примеси в речной воде перед первым пунктом водопользования ( $C_{п.вод}$ ) меньше ПДК этой примеси, то санитарные требования по сбросу данной примеси со стоком в реку выполняются, а дополнительная очистка стока этой примеси не требуется.

Если концентрация $C_{п.вод}$ примеси больше соответствующего ПДК, то санитарные требования к сбросу данной примеси со сточными водами не выполняются и необходима дополнительная очистка стока от этой примеси, а следовательно, должна быть определена необходимая степень очистки.

## Определение необходимой степени очистки сточных вод от загрязняющих химических веществ

Определение требуемой степени очистки проводится для тех примесей, концентрация которых в речной воде у ближайшего пункта водопользования превышает ПДК. В рассматриваемом примере такими примесями являются свинец и бензол.

1. Максимально допустимая концентрация примесей в стоке (уравнение 13.4):

- свинца

$$C_{ст.пр} = \frac{\gamma \cdot Q}{q}\left(C_{\text{ПДК}} - C_p\right) + C_{\text{ПДК}} =$$

$$= \frac{0{,}14 \cdot 60}{0{,}4}(0{,}1 - 0{,}01) + 0{,}1 = 20{,}89 \text{ мг/л};$$

- бензола

$$C_{ст.пр} = \frac{\gamma \cdot Q}{q}\left(C_{\text{ПДК}} - C_p\right) + C_{\text{ПДК}} =$$

$$= \frac{0{,}14 \cdot 60}{0{,}4}(0{,}5 - 0{,}01) + 0{,}5 = 10{,}79 \text{ мг/л.}$$

2. Необходимая степень очистки сточных вод (уравнение 3.5):

- от свинца

$$Э = \frac{C_{ст} - C_{ст.пр}}{C_{ст}} \cdot 100 = \frac{31 - 20{,}89}{31} \cdot 100 = 33\%;$$

- от бензола

$$Э = \frac{C_{ст} - C_{ст.пр}}{C_{ст}} \cdot 100 = \frac{15{,}1 - 10{,}79}{15{,}1} \cdot 100 = 28\%.$$

Определение условий спуска и необходимой степени очистки сточных вод завода для взвешенных веществ.

Максимальное количество взвешенных веществ, которое может быть сброшено в реку, определяется по уравнению (3.11):

$$C_{ст.пр} = \left(\frac{\gamma \cdot Q}{q} + 1\right) C_{доб} + C_p =$$

$$= \left(\frac{0{,}14 \cdot 60}{0{,}4} + 1\right) \cdot 0{,}75 + 1{,}5 = 18 \text{ мг/л},$$

где $C_{доб}$ = 0,75 мг/л – допустимое количество взвешенных веществ, которое можно добавить на каждый литр водоема;

$C_p = 1{,}5$ – концентрация взвешенных веществ выше места выпуска в реку сточных вод.

Максимально допустимое содержание в стоке взвешенных веществ $C_{ст.пр} =$ 18 мг/л меньше фактического содержания, равного 50 мг/л. Следовательно, сточные воды перед сбросом в реку должны подвергаться очистке от взвешенных веществ. Степень очистки должна составлять:

$$Э = \frac{C_{ст} - C_{ст.пр}}{C_{ст}} \cdot 100 = \frac{50 - 18}{50} \cdot 100 = 64\%.$$

## Определение условий спуска и необходимой степени очистки сточных вод завода от органических веществ, подвергаемых биохимическому окислению

Для определения возможности сброса в реку органических веществ со сточными водами необходимо определить БПК речной воды у ближайшего пункта водопользования, т.е. у пункта В, и сравнить полученное значение с соответствующим ПДК. Если расчетное значение БПК речной воды больше ПДК, то санитарные требования к сбросу органических веществ со сточными водами не выполняются и необходима дополнительная очистка стока от органических примесей, для чего должна быть определена необходимая степень очистки.

1. Время продвижения воды водоема вместе с разбавленными в ней сточными водами от места выпуска сточных вод до пункта водопользования (уравнение 3.13):

$$t = \frac{L_{\text{ср}}}{V_{\text{ср}}} = \frac{4000}{0{,}3 \cdot 3600} \cong 4 \text{ ч, принято равным } 0{,}17 \text{ сут.}$$

2. Максимальное значение БПК сточных вод (уравнение 3.12):
- значение выражения

$$10^{-K_{ст} \cdot t} = 10^{K_{\text{р}} \cdot t} = 10^{-0{,}1 \cdot 0{,}17} = 1{,}04;$$

- значение БПК

$$C_{ст.пр} = \frac{\gamma \cdot Q}{q \cdot 10^{-K_{ст} \cdot t}} \left(C_{пр.д} - C_p \cdot 10^{K_{\text{р}} \cdot t}\right) + \frac{C_{пр.д}}{10^{-K_{ст} \cdot t}} =$$

$$\frac{0{,}14 \cdot 60}{0{,}4 \cdot 1{,}04}(6 - 1{,}6 \cdot 1{,}04) + \frac{6}{1{,}04} = 93{,}22 \text{ мг/л},$$

где константы скорости окисления органических веществ в сточных водах и в речной воде приняты равными $K_{ст} = K_{\text{р}} = 0{,}1$.

Максимально допустимое БПК сточных вод $C_{ст.пр}$ = 93,22 мг/л меньше фактического БПК сточных вод, равного 190 мг/л.

Следовательно, сточные воды перед сбросом в реку должны подвергаться очистке от органических загрязнений. Степень очистки должна составлять:

$$Э = \frac{C_{ст} - C_{ст.пр}}{C_{ст}} \cdot 100 = \frac{190 - 93{,}22}{190} \cdot 100 = 50{,}9\%.$$

## Определение условий спуска и необходимой степени очистки сточных вод для веществ, придающих цветность и запах

Для определения условий спуска в реку со сточными водами веществ, придающих воде цветность и запах, необходимо определить расчетное значение степени разбавления стока речной водой, которое возможно у створа ближайшего пункта водопользования, и сравнить полученное значение с экспериментально определенной степенью разбавления, при которой исчезают окраска и запах природных вод. Если расчетное значение разбавления стока меньше экспериментального, то санитарные требования по сбросу в реку веществ, придающих воде цветность и запах, не выполняются. В этом случае необходима очистка сточных вод от примесей, придающих воде цветность и запах.

Расчетная кратность разбавления сточных вод (уравнение 3.14):

$$n = \frac{\gamma \cdot Q + q}{q} = \frac{0{,}14 \cdot 60 + 0{,}4}{0{,}4} = 22.$$

Расчетное значение n (разбавление сточных вод, при которых выполняются санитарные требования в отношении окраски и запаха) больше кратности разбавления сточных вод, равной 1:15, при которой исчезают окраска и запах, определенные лабораторными исследованиями. Следовательно, очистка стока от веществ, придающих воде цветность и запах, не требуется.

*Таблица 3.1*

Сводная расчетная таблица

| Показатели загрязнения | Единицы измерения | Состав и свойства речной воды | | Состав и свойства сточных вод | | Требуемая степень очистки стоков |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | в расчетном створе | ПДК | фактическое значение | максимально допустимое значение | |
| Хлориды | мг/л | 147,6 | 500 | 1000 | >1000 | — |
| Сульфаты | мг/л | 64,4 | 350 | 450 | >450 | — |
| Свинец | мг/л | 1,4 | 0,1 | 31 | 20,89 | 33,0 |
| Бензол | мг/л | 6,1 | 0,5 | 15,1 | 10,79 | 28,0 |
| Нитрохлорбензол | мг/л | 0,024 | 0,05 | 0,51 | >0,51 | — |
| Цинк | мг/л | 0,37 | 1,0 | 6,1 | >6,1 | — |
| БПК | мг/л | | 6,0 | 190 | 93,22 | 50,9 |
| Взвешенные вещества | мг/л | — | — | 50 | 18 | 64,0 |
| Цветность | разбавление | | — | 1:15 | 1:22 | — |
| Запах | разбавление | | — | 1:15 | 1:22 | — |

*Таблица 3.2*

Исходные данные для расчета: расход и состав воды в реке

| Номер варианта | Расход воды, $м^3/с$ | Скорость течения, м/с | Глубина реки, м | Хлориды, мг/л | Сульфаты, мг/л | Свинец, мг/л | Бензол, мг/л | Нитрохлр - бензол, мг/л | Цинк, мг/л | Взвешенные вещества, мг/л | БПК, мг/л |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 61 | 0,31 | 1,21 | 100 | 50 | 0,010 | 0,01 | 0,001 | 0,10 | 1,5 | 1,0 |
| 2 | 62 | 0,32 | 1,22 | 120 | 60 | 0,011 | 0,02 | 0,002 | 0,12 | 2,0 | 1,2 |
| 3 | 63 | 0,33 | 1,23 | 130 | 70 | 0,012 | 0,03 | 0,003 | 0,14 | 2,5 | 1,4 |
| 4 | 64 | 0,34 | 1,24 | 140 | 80 | 0,013 | 0,04 | 0,004 | 0,16 | 3,0 | 1,6 |
| 5 | 65 | 0,35 | 1,25 | 150 | 90 | 0,014 | 0,05 | 0,005 | 0,18 | 3,5 | 1,8 |
| 6 | 66 | 0,36 | 1,26 | 160 | 100 | 0,015 | 0,06 | 0,006 | 0,20 | 4,0 | 2,0 |
| 7 | 67 | 0,37 | 1,27 | 170 | 110 | 0,016 | 0,07 | 0,007 | 0,22 | 4,5 | 2,2 |
| 8 | 68 | 0,38 | 1,28 | 180 | 120 | 0,017 | 0,08 | 0,008 | 0,24 | 5,0 | 2,4 |
| 9 | 69 | 0,39 | 1,29 | 190 | 130 | 0,018 | 0,09 | 0,009 | 0,26 | 5,5 | 2,6 |
| 10 | 70 | 0,40 | 1,30 | 200 | 140 | 0,019 | 0,10 | 0,010 | 0,28 | 6,0 | 2,8 |
| 11 | 71 | 0,41 | 1,31 | 210 | 150 | 0,020 | 0,11 | 0,011 | 0,30 | 6,5 | 3,0 |
| 12 | 72 | 0,42 | 1,32 | 220 | 160 | 0,021 | 0,12 | 0,012 | 0,32 | 7,0 | 3,2 |
| 13 | 73 | 0,43 | 1,33 | 230 | 170 | 0,022 | 0,13 | 0,013 | 0,34 | 7,5 | 3,4 |
| 14 | 74 | 0,44 | 1,34 | 240 | 180 | 0,023 | 0,14 | 0,014 | 0,36 | 8,0 | 3,6 |
| 15 | 75 | 0,45 | 1,35 | 250 | 190 | 0,024 | 0,15 | 0,015 | 0,38 | 8,5 | 3,8 |
| 16 | 76 | 0,46 | 1,36 | 260 | 200 | 0,025 | 0,16 | 0,016 | 0,40 | 9,0 | 4,0 |
| 17 | 77 | 0,47 | 1,37 | 270 | 210 | 0,026 | 0,17 | 0,017 | 0,42 | 9,5 | 4,2 |
| 18 | 78 | 0,48 | 1,38 | 280 | 220 | 0,027 | 0,18 | 0,018 | 0,44 | 10,0 | 4,4 |
| 19 | 79 | 0,49 | 1,39 | 290 | 230 | 0,028 | 0,19 | 0,019 | 0,46 | 10,5 | 4,6 |
| 20 | 80 | 0,50 | 1,40 | 300 | 240 | 0,029 | 0,20 | 0,020 | 0,48 | 11,0 | 4,8 |
| 21 | 81 | 0,51 | 1,41 | 310 | 250 | 0,030 | 0,21 | 0,021 | 0,50 | 11,5 | 5,0 |
| 22 | 82 | 0,52 | 1,42 | 320 | 260 | 0,031 | 0,22 | 0,022 | 0,52 | 12,0 | 5,2 |
| 23 | 83 | 0,53 | 1,43 | 330 | 270 | 0,032 | 0,23 | 0,023 | 0,54 | 12,5 | 5,4 |
| 24 | 84 | 0,54 | 1,44 | 340 | 280 | 0,033 | 0,24 | 0,024 | 0,56 | 13,0 | 5,6 |
| 24 | 85 | 0,55 | 1,45 | 350 | 290 | 0,034 | 0,25 | 0,025 | 0,58 | 13,5 | 5,8 |

*Таблица 3.3*

Исходные данные для расчета:
расход и состав производственных сточных вод

| Номер варианта | Расход, $м^3/с$ | Хлориды, мг/л | Сульфаты, мг/л | Свинец, мг/л | Бензол, мг/л | Нитрохлр -бензол, мг/л | Цинк, мг/л | БПК, мг/л | Взвешенные вещества, мг/л | Кратность разбавления при, которой исчезает запах | Кратность разбавления при, которой исчезает цветность |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,41 | 1000 | 500 | 35 | 15 | 0,30 | 6,0 | 190 | 50 | 10 | 10 |
| 2 | 0,42 | 1100 | 600 | 36 | 16 | 0,35 | 6,5 | 200 | 55 | 10 | 10 |
| 3 | 0,43 | 1200 | 700 | 37 | 17 | 0,40 | 7,0 | 210 | 60 | 10 | 10 |
| 4 | 0,44 | 1300 | 800 | 38 | 18 | 0,45 | 7,5 | 220 | 65 | 10 | 10 |
| 5 | 0,45 | 1400 | 900 | 39 | 19 | 0,50 | 8,0 | 230 | 70 | 10 | 10 |
| 6 | 0,46 | 1500 | 1000 | 40 | 20 | 0,55 | 8,5 | 240 | 75 | 11 | 11 |
| 7 | 0,47 | 1600 | 1100 | 41 | 21 | 0,60 | 9,0 | 250 | 80 | 11 | 11 |
| 8 | 0,48 | 1700 | 1200 | 42 | 22 | 0,65 | 9,5 | 260 | 85 | 11 | 11 |
| 9 | 0,49 | 1800 | 1300 | 43 | 23 | 0,70 | 10,0 | 270 | 90 | 11 | 11 |
| 10 | 0,50 | 1900 | 1400 | 44 | 24 | 0,75 | 10,5 | 280 | 95 | 11 | 11 |
| 11 | 0,51 | 2000 | 1500 | 45 | 25 | 0,80 | 11,0 | 290 | 100 | 12 | 12 |
| 12 | 0,52 | 2100 | 1600 | 46 | 26 | 0,85 | 11,5 | 300 | 105 | 12 | 12 |
| 13 | 0,53 | 2200 | 1700 | 47 | 27 | 0,90 | 12,0 | 310 | 110 | 12 | 12 |
| 14 | 0,54 | 2300 | 1800 | 48 | 28 | 0,95 | 12,5 | 320 | 115 | 12 | 12 |
| 15 | 0,55 | 2400 | 1900 | 49 | 29 | 1,00 | 13,0 | 330 | 120 | 12 | 12 |
| 16 | 0,56 | 2500 | 2000 | 50 | 30 | 1,05 | 13,5 | 340 | 125 | 13 | 13 |
| 17 | 0,57 | 2600 | 2100 | 51 | 31 | 1,10 | 14,0 | 350 | 130 | 13 | 13 |
| 18 | 0,58 | 2700 | 2200 | 52 | 32 | 1,15 | 14,5 | 360 | 135 | 13 | 13 |
| 19 | 0,59 | 2800 | 2300 | 53 | 33 | 1,20 | 15,0 | 370 | 140 | 13 | 13 |
| 20 | 0,60 | 2900 | 2400 | 54 | 34 | 1,25 | 15,5 | 380 | 145 | 13 | 13 |
| 21 | 0,61 | 3000 | 2500 | 55 | 35 | 1,30 | 16,0 | 390 | 150 | 14 | 14 |
| 22 | 0,62 | 3100 | 2600 | 56 | 36 | 1,35 | 16,5 | 400 | 155 | 14 | 14 |
| 23 | 0,63 | 3200 | 2700 | 57 | 37 | 1,40 | 17,0 | 410 | 160 | 14 | 14 |
| 24 | 0,64 | 3300 | 2800 | 58 | 38 | 1,45 | 17,5 | 420 | 165 | 14 | 14 |
| 25 | 0,65 | 3400 | 2900 | 59 | 39 | 1,50 | 18,0 | 430 | 170 | 14 | 14 |

*Таблица 3.4*

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения

| Наименование загрязнения | Лимитирующий показатель вредности | Предельно допустимая концентрация, мг/л |
|---|---|---|
| Хлориды | | 500 |
| Сульфаты | | 350 |
| Свинец ($Pb^{2+}$) | Санитарно-токсикологический | 0,1 |
| Бензол | Санитарно-токсикологический | 0,5 |
| Нитрохлорбензол | Санитарно-токсикологический | 0,05 |
| Цинк | Общесанитарный | 1,0 |
| БПК | | 6,0 |

## Общее заключение

На основании проведенных расчетов по определению условий спуска сточных вод проектируемого химического завода для данных расчетных пунктов водопользования можно сделать вывод: сточные воды перед спуском в водоем должны подвергаться очистке в отношении взвешенных веществ и органических веществ, подвергаемых биохимическому окислению. Кроме того, необходимо обезвреживание сточных вод в отношении свинца и бензола.

## *Контрольные вопросы*

1. Какие водоемы являются загрязненными?
2. Что является критериями загрязнения воды?
3. Какой показатель является экологическим стандартом, оценивающим санитарное состояние водных объектов?
4. Какое основное требование предъявляется к качеству воды в водных объектах?
5. В каких местах устанавливаются нормативы состава и свойств воды водных объектов, которые должны быть обеспечены при спуске в них сточных вод?
6. На каком расстоянии от пункта водопользования устанавливаются нормативные требования к качеству воды на проточных водоемах (реках)?
7. Какие производственные сточные воды запрещается сбрасывать в водные объекты?
8. Решение каких задач предусматривает контроль и управление качеством воды в водных объектах?
9. Как определяется соответствие условий сброса сточных вод в водный объект санитарным требованиям?

10. В каком случае условия сброса сточных вод в водоем соответствуют санитарным условиям?

11. Какие меры должны быть приняты при несоответствии условий сброса сточных вод в водоем санитарным требованиям?

12. За счет проведения каких мероприятий может быть снижена концентрация загрязнения в реке?

13. Содержание каких химических веществ в воде и какие свойства воды характеризует показатель, называемый биохимическим потреблением кислорода (БПК)?

14. Как определяется необходимая степень очистки сточных вод от загрязнений, содержание которых в сточных водах, выбрасываемых в водоем, не соответствует санитарным требованиям?

## Практическое занятие № 4

## Расчет допустимого сброса сточных вод промышленного предприятия в городскую канализацию

***Цель и содержание работы***

Работа предназначена для ознакомления с нормированием деятельности промышленных предприятий, связанной со сбросом сточных вод в городскую канализацию.

Сточные воды промышленных предприятий после их полной или частичной очистки содержат остаточные количества нерастворенных и растворенных загрязнений. После сброса в городскую канализацию производственные сточные воды в смеси с бытовыми стоками поступают на городские очистные сооружения. Значительное загрязнение производственных сточных вод может привести к нарушению работы городских очистных сооружений, а следовательно, к загрязнению водоема, в который сбрасывается смесь очищенных городских и производственных стоков.

Для обеспечения условий эффективной работы городских очистных сооружений и сохранения качества воды поверхностных водоемов разработаны расчетные методы определения соответствия условий сброса сточных вод в городскую канализацию санитарным нормам.

Цель работы – определение, до какой степени следует очищать, обезвреживать или обеззараживать производственные сточные воды, чтобы после их сброса в городскую канализацию смесь городских и производственных сточных вод не нарушала эффективной работы городских очистных сооружений.

## Теоретические положения

При расположении промышленных предприятий в городах или вблизи них, а также при решении о совместной очистке сточных вод группы промышленных предприятий и близлежащего жилого массива загрязненные производственные сточные воды могут сбрасываться в городскую водоотводящую сеть. Очистка смеси бытовых и производственных сточных вод в этом случае осуществляется на единых очистных сооружениях. В связи с тем, что в сточных водах промышленных предприятий могут содержаться специфические загрязнения, их спуск в городскую водоотводящую сеть ограничен комплексом требований, установленных «Правилами приема производственных сточных вод в системы канализации населенных пунктов».

Производственные сточные воды, подлежащие сбросу в городскую канализацию и очистке совместно с бытовыми сточными водами населенного пункта, не должны:

- превышать расходы сточных вод и содержание взвешенных, всплывающих веществ, установленные для конкретного промышленного предприятия;
- нарушать работу сетей и сооружений;
- содержать вещества, которые способны засорять трубы канализационной сети или отлагаться на стенках труб;
- оказывать разрушающее действие на материал труб и элементы сооружений канализации;
- содержать горючие примеси и растворенные газообразные вещества, способные образовывать взрывоопасные смеси в канализационных сетях и сооружениях;
- содержать вредные вещества в концентрациях, препятствующих биологической очистке сточных вод или сбросу их в водоем (с учетом эффективности очистки);
- иметь температуру выше 40$^{o}$С;
- иметь pH ниже 6,5 и выше 9,0;
- содержать вещества, для которых не установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) в воде водоемов соответствующего вида водопользования;
- содержать опасные бактериальные загрязнения;
- иметь ХПК, превышающую БПК более чем в 1,5 раза.

Запрещается спускать в городскую канализацию концентрированные маточные и кубовые растворы.

Производственные сточные воды, не удовлетворяющие указанным условиям, а также содержащие вещества, не удаляемые на городских очистных сооружениях, и вещества, для которых в настоящее время отсутствуют данные об эффективности их удаления, должны подвергаться на промышленных предприятиях очистке до концентрации, которая с учетом разбавления в городской канализации и воде водоема обеспечит в пунктах водопользования качество воды, соответствующее требованиям «Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами».

Органы ЖКХ совместно с комитетом по охране окружающей среды и органами санитарно-эпидемиологической службы должны требовать от всех промышленных предприятий максимального сокращения сброса производственных сточных вод в городскую канализацию за счет применения рациональных технологических процессов, частичного или полного водоотбора, повторного использования сточных вод, извлечения и использования в них ценных веществ.

**Методика определения соответствия условий спуска сточных вод в городскую канализацию**

Методика имеет целью обеспечение устойчивых качественных показателей работы городских очистных сооружений, предупреждение и устранение загрязнения городскими сточными водами водных объектов, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения, культурно-бытовых нужд населения и рыбохозяйственных целей. Она предназначена для использования органами жилищно-коммунального хозяйства, которые по согласованию с комитетом по охране окружающей среды и органами санитарно-эпидемиологической службы дают разрешение на сброс промышленных стоков в городскую канализацию.

Допустимая концентрация загрязняющих веществ в очищенном стоке после городских очистных сооружений, сбрасываемом в водоем, определяется условием, что концентрации загрязнений в речной воде не должны превышать их ПДК в створе, расположенном на водотоках (реках) в одном километре выше ближайшего по течению пункта водопользования (водозабор для хозяйственно-питьевого водоснабжения, места купания, организованного отдыха, территория населенного пункта и т. д.), а на непроточных водоемах и водохранилищах – в одном километре в обе стороны от пункта водопользования. Решение этой задачи осуществляется по уравнению:

$$C_{\text{ос}} = (n-1)\left(C_{\text{ПДК}} - C_B\right) + C_{\text{ПДК}}, \tag{4.1}$$

где $C_{\text{ПДК}}$ – ПДК загрязняющего вещества в воде водоема, в который осуществляется сброс городских очищенных сточных вод, мг/л;

$C_B$ – фактическая концентрация того же вещества в воде водного объекта до сброса в него городских очищенных сточных вод, мг/л;

$n$ – кратность разбавления очищенных сточных вод в расчетном створе водного объекта (реки), расположенном в одном километре выше ближайшего по течению пункта хозяйственно-питьевого водопользования.

Кратность разбавления очищенных сточных вод речной водой n в расчетном створе определяется по формуле:

$$n = \frac{\gamma \cdot Q_{\text{р}} + Q_{\text{ос}}}{Q_{\text{ос}}}, \tag{4.2}$$

где $Q_р$ – расход воды в реке, м$^3$/с;

$Q_{ос}$ – расход городских очищенных сточных вод, сбрасываемых в реку, м$^3$/с;

$\gamma$ – коэффициент смешения сточных вод с водой реки в расчетном створе.

Величина $Q_{ос}$ определяется по уравнению:

$$Q_{ос} = Q_{псв} + Q_{гсв}, \tag{4.3}$$

где $Q_{псв}$ – расход производственных сточных вод промышленного предприятия, сбрасываемых в городскую канализацию, м$^3$/с;

$Q_{гсв}$ – расход городских (бытовых) сточных вод, поступающих на городские очистные сооружения, м$^3$/с.

Величина коэффициента обеспеченности смешения $\gamma$ для проточных (незарегулированных) водоемов определяется по методу Фролова-Родзиллера:

$$\gamma = \frac{1-\beta}{1+\frac{Q_р}{Q_{ос}}\beta}. \tag{4.4}$$

Коэффициент β определяется по уравнению:

$$\beta = e^{-\alpha\sqrt[3]{L}}, \tag{4.5}$$

где $L$ – расстояние по фарватеру от места выпуска сточных вод до расчетного створа водного объекта, расположенного в одном километре выше ближайшего по течению пункта хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования;

$\alpha$ – коэффициент, учитывающий гидравлические условия смешения, определяется по формуле:

$$\alpha = \xi \cdot \varphi \sqrt[3]{\frac{E}{Q_{ос}}}, \tag{4.6}$$

где $\xi$ – коэффициент, зависящий от места выпуска сточных вод в водоем; при выпуске у берега он равен 1, при выпуске в стрежень реки он равен 1,5;

$\varphi$ – коэффициент извилистости реки, он равен отношению расстояния по фарватеру от места выпуска сточных вод до створа ближайшего пункта водопользования ($L_ф$) к расстоянию до того же пункта по прямой ($L$):

$$\varphi = \frac{L_ф}{L}; \tag{4.7}$$

$E$ – коэффициент турбулентной диффузии, который для равнинных рек определяется по формуле:

$$E = \frac{v_{\text{ср}} \cdot H_{\text{ср}}}{200}, \tag{4.8}$$

где $v_{\text{ср}}$ – средняя скорость течения на участке между выпуском сточных вод и створом пункта водопользования, м/с;

$H_{\text{ср}}$ – средняя глубина водоема на том же участке, м.

Допустимая концентрация загрязнений в смеси бытовых и промышленных сточных вод, поступающей на городские очистные сооружения:

$$C_{\text{см}} = \frac{100 \cdot C_{\text{ос}}}{100 - A}, \tag{4.9}$$

где $A$ – эффективность удаления загрязнения на городских очистных сооружениях, %.

Величина расчетного показателя загрязнения смеси бытовых и производственных сточных вод $C_{\text{см}}$, определенная расчетом, приобретает значение контрольной величины на период эксплуатации городских очистных сооружений и кладется в основу лимита – предельно допустимого для данного предприятия сброса в городскую канализацию загрязнения.

Допустимая концентрация загрязнений в промышленных сточных водах, сбрасываемых в городскую канализацию:

$$C_{\text{д.псв}} = \frac{C_{\text{см}}(Q_{\text{гсв}} + Q_{\text{псв}}) - C_{\text{гсв}} \cdot Q_{\text{гсв}}}{Q_{\text{псв}}}, \tag{4.10}$$

где $C_{\text{гсв}}$ – содержание загрязнений в городских сточных водах, мг/л.

Если полученное значение допустимого содержания загрязнений $C_{\text{д.псв}}$ в производственном стоке меньше фактического значения $C_{\text{псв}}$, т. е. выполняется условие $C_{\text{д.псв}} < C_{\text{пвд}}$, то условия сброса производственных сточных вод в городскую канализацию соответствуют санитарным требованиям. Если $C_{\text{д.псв}} > C_{\text{пвд}}$, то санитарные требования к сбросу сточных вод в канализацию не выполняются и необходима их предварительная очистка.

Эффективность очистки производственных сточных вод перед сбросом в канализацию определяется по формуле:

$$\text{Э} = \frac{C_{\text{псв}} - C_{\text{д.псв}}}{C_{\text{псв}}} \cdot 100. \tag{4.11}$$

## Условия практической работы

В городе К проектируется химический завод. Спуск сточных вод в количестве с этого предприятия намечается в городскую канализацию. В эту же канализацию поступают городские сточные воды города К. Смесь городских и промышленных сточных вод поступает на городские очистные сооружения, где подвергается биологической очистке. Очищенный сток сбрасывается в реку Н ниже границы города. При санитарном обследовании водоема обнаружено, что ниже намеченного спуска сточных вод на расстоянии 5 км находится населенный пункт В, который использует воду реки Н для питьевых и культурно-бытовых целей. Данные по составу сточных вод химического завода приведены в таблице 4.1 для различных вариантов расчета.

*Таблица 4.1*

Данные для выполнения практической работы
«Расчет допустимости сброса сточных вод
промышленного предприятия в городскую канализацию»

| Номер варианта | Расход, $м^3/с$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | городских сточных вод, $Q_{гсв}$ | производст-венных стоков, $Q_{псв}$ | речной воды, $Q_Р$ | скорость воды в реке, $v_{ср}$, м/с | глубина реки, $H_{ср}$, *м* |
| 1 | 5,0 | 0,40 | 60 | 0,30 | 1,20 |
| 2 | 5,2 | 0,41 | 64 | 0,31 | 1,22 |
| 3 | 5,4 | 0,42 | 68 | 0,32 | 1,24 |
| 4 | 5,6 | 0,43 | 72 | 0,33 | 1,26 |
| 5 | 5,8 | 0,44 | 76 | 0,34 | 1,28 |
| 6 | 6,0 | 0,45 | 80 | 0,35 | 1,30 |
| 7 | 6,2 | 0,46 | 84 | 0,36 | 1,32 |
| 8 | 6,4 | 0,47 | 88 | 0,37 | 1,34 |
| 9 | 6,6 | 0,48 | 92 | 0,38 | 1,36 |
| 10 | 6,8 | 0,49 | 96 | 0,39 | 1,38 |
| 11 | 7,0 | 0,50 | 100 | 0,40 | 1,40 |
| 12 | 7,2 | 0,51 | 104 | 0,41 | 1,42 |
| 13 | 7,4 | 0,52 | 108 | 0,42 | 1,44 |
| 14 | 7;6 | 0,53 | 112 | 0,43 | 1,46 |
| 15 | 7,8 | 0,54 | 116 | 0,44 | 1,48 |
| 16 | 8,0 | 0,55 | 120 | 0,45 | 1,50 |
| 17 | 8,2 | 0,56 | 124 | 0,46 | 1,52 |
| 18 | 8,4 | 0,57 | 128 | 0,47 | 1,54 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 19 | 8,6 | 0,58 | 132 | 0,48 | 1,56 |
| 20 | 8,8 | 0,59 | 136 | 0,49 | 1,58 |

Данные по составу воды реки Н выше выпуска сточных вод приведены в таблице 15.2 для различных вариантов расчета.

Примечания:

1. Выпуск очищенных сточных вод проектируется в стрежень реки, поэтому значение коэффициента $\xi$ в уравнении (4.6) для всех вариантов расчета принимается равным $\xi$ = 1,5.

2. Значение коэффициента извилистости реки $\varphi$ в уравнении (4.8) для всех вариантов расчета принимается равным $\varphi = 1$.

*Таблица 4.2*

Данные для выполнения практической работы
«Расчет допустимости сброса сточных вод
промышленного предприятия в городскую канализацию»

| Вариант расчета | Загрязняющее вещество | ПДК, мг/л | Концентрация, мг/л | | | Эффективность очистки $A$, % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | в стоке предприятия $C_{пев}$, мг/л | в городском стоке $C_{гсв}$, мг/л | в речной воде $C_{в}$, мг/л | |
| 1 | Анилин | 0,1 | 5 | 0,2 | 0,05 | 90 |
| 2 | Метанол | 3,0 | 40 | 0,5 | 0,1 | 90 |
| 3 | Формальдегид | 0,05 | 10 | 0,01 | 0,01 | 80 |
| 4 | Капролактам | 1,0 | 20 | 1,0 | 0,01 | 90 |
| 5 | Бугиловый спирт | 1,0 | 50 | 5,0 | 0,01 | 90 |
| 6 | Бугилацетат | 0,1 | 10 | 1,0 | 0,01 | 40 |
| 7 | Кадмий | 0,01 | 6 | 0,003 | 0,01 | 60 |
| 8 | Никель | 0,1 | 10 | 0,04 | 0,02 | 50 |
| 9 | Свинец | 0,1 | 5 | 0,03 | 0,03 | 50 |
| 10 | Цинк | 1,0 | 15 | 0,4 | 0,3 | 70 |
| 11 | Стирол | 0,1 | 8 | 0,02 | 0,01 | 90 |
| 12 | Фенол | 0,01 | 2 | 0,002 | 0,001 | 90 |
| 13 | Медь | 1,0 | 14 | 0,5 | 0,2 | 80 |
| 14 | Хром ($Cr^{6+}$) | 0,1 | 4 | 0,05 | 0,03 | 80 |
| 15 | Железо ($Fe^{3+}$) | 0,5 | 10 | 0,4 | 0,3 | 80 |
| 16 | Анилин | 0,1 | 5 | 0,2 | 0,01 | 90 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 17 | Метанол | 3,0 | 40 | 0,5 | 0,1 | 90 |
| 18 | Формальдегид | 0,05 | 10 | 0,1 | 0,01 | 80 |
| 19 | Капролактам | 1,0 | 20 | 0,2 | 0,5 | 90 |
| 20 | Метанол | 3,0 | 40 | 0,5 | 0,1 | 90 |

## Требования к отчету

Результаты практической работы должны быть оформлены в виде отчета, в котором должны быть изложены:

- наименование и вариант работы;
- исходные данные для расчетов;
- методика расчетов с результатами вычислений;
- сводная расчетная таблица;
- общее заключение по результатам работы.

## Пример расчета

Исходные данные для расчета:

- расход сточных вод завода (производственных сточных вод) $Q_{\text{псв}}$ = 0,4 м$^3$/с;
- расход городских сточных вод $Q_{\text{гсв}}$ = 6 м$^3$/с;
- расход речной воды в реке $Q_{\text{р}}$ = 60 м$^3$/с;
- средняя скорость течения $v_{\text{ср}}$ =0,3 м/с;
- средняя глубина реки $H_{\text{ср}}$ = 1,2 м/с;
- сточные воды завода содержат анилин:
- содержание анилина в сточной воде завода $C_{\text{псв}}$ = 50 мг/л;
- содержание анилина в речной воде выше места выпуска очищенных сточных вод $C_{\text{В}}$ = 0,01 мг/л;
- ПДК содержание анилина в городских сточных водах $C_{\text{гсв}}$ == 3 мг/л;
- ПДК анилина в воде водоема хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения $C_{\text{ПДК}}$ = 0,1 мг/л; - эффективность очистки сточных вод от анилина на городских очистных сооружениях $A$ = 90%.

Определение допустимой концентрации загрязняющих веществ в очищенном стоке после городских очистных сооружений, сбрасываемом в водоем.

1. Определение коэффициента смешения $\gamma$:

1.1. Коэффициент турбулентной диффузии (уравнение 4.8)

$$E = \frac{v_{\text{ср}} \cdot H_{\text{ср}}}{200} = \frac{0{,}3 \cdot 1{,}3}{200} = 0{,}0018.$$

1.2. Расход очищенных сточных вод, сбрасываемых в реку городскими очистными сооружениями (уравнение 4.3)

$$Q_{\text{ос}} = Q_{\text{псв}} + Q_{\text{гсв}} = 0{,}4 + 6 = 6{,}4 \text{ м}^3/\text{с}.$$

1.3. Коэффициент α (уравнение 4.6)

$$\alpha = \xi \cdot \varphi \sqrt[3]{\frac{E}{Q_{\text{ос}}}} = 1{,}5 \cdot 1{,}0 \sqrt[3]{\frac{0{,}0018}{6{,}4}} = 0{,}098,$$

где $\xi = 1{,}5$ при выпуске сточных вод в стрежень реки, $\varphi = 1{,}0$.

1.4. Коэффициент β (уравнение 4.5).

Вычисляется значение выражения в числителе уравнения

$$\alpha\sqrt[3]{L} = 0{,}098 \cdot \sqrt[3]{4000} = 1{,}56.$$

$$\beta = \mathrm{e}^{-\alpha\sqrt[3]{L}} = \mathrm{e}^{-1{,}56} = 0{,}312.$$

где $L$ = 4000 м – расстояние от места выпуска сточных вод до створа, расположенного на 1 км выше по течению реки границы пункта В.

1.5. Коэффициент $\gamma$ (уравнение 4.4):

$$\gamma = \frac{1-\beta}{1 + \frac{Q_{\text{р}}}{Q_{\text{ос}}}\beta} = \frac{1 - 0{,}312}{1 + \frac{60}{6{,}4}0{,}312} = 0{,}0173.$$

Определение кратности разбавления очищенных сточных вод речной водой (уравнение 4.2):

$$n = \frac{\gamma \cdot Q_{\text{р}} + Q_{\text{ос}}}{Q_{\text{ос}}} = \frac{0{,}0173 \cdot 60 + 6{,}4}{6{,}4} = 2{,}62.$$

Допустимая концентрация примеси в очищенном стоке, сбрасываемом в реку после очистных сооружений (уравнение 4.1):

$$C_{\text{ос}} = (n-1)\left(C_{\text{ПДК}} - C_B\right) + C_{\text{ПДК}} = (2{,}62 - 1)(0{,}1 - 0{,}01) + 0{,}1 = 0{,}25 \text{ мг/л}.$$

Допустимая концентрация загрязнений в смеси бытовых и промышленных сточных вод, поступающей на городские очистные сооружения (уравнение 4.9):

$$C_{\text{см}} = \frac{100 \cdot C_{\text{ос}}}{100 - A} = \frac{100 \cdot 0{,}25}{100 - 90} = 2{,}5 \text{ мг/л.}$$

Допустимая концентрация загрязнений в промышленных сточных водах, сбрасываемых в городскую канализацию (уравнение 4.10):

$$C_{\text{д.псв}} = \frac{C_{\text{см}}(Q_{\text{гсв}} + Q_{\text{псв}}) - C_{\text{гсв}} \cdot Q_{\text{гсв}}}{Q_{\text{псв}}} =$$

$$= \frac{1{,}5(60 + 0{,}4) - 0{,}5 \cdot 6{,}0}{0{,}4} = 32{,}5 \text{ мг/л.}$$

Сравнение полученного значения $C_{\text{д.псв}}$ с фактическим значением содержания анилина в производственных сточных водах $C_{\text{псв}}$.

Фактическое содержание анилина в производственных сточных водах завода составляет $C_{\text{псв}}$ = 50 мг/л. Расчетное значение допустимого содержания анилина составляет $C_{\text{д.псв}}$ =32,5 мг/л, т.е. меньше фактического значения. Следовательно, сброс сточных вод в городскую канализацию с таким содержанием анилина недопустим, так как может нарушить эффективную работу городских очистных сооружений и привести к загрязнению речной воды выше допустимых норм. Поэтому перед сбросом в городскую канализацию производственные сточные воды должны быть подвергнуты дополнительной очистке от анилина.

Эффективность очистки должна составлять:

$$\text{Э} = \frac{C_{\text{псв}} - C_{\text{д.псв}}}{C_{\text{псв}}} \cdot 100 = \frac{50 - 32{,}5}{50} \cdot 100 = 35\%.$$

Результаты расчетов допустимости сброса сточных вод промышленного предприятия в городскую канализацию

| Наименование показателей | Обозна-чение | Единицы измерения | Значение |
|---|---|---|---|
| 1. Загрязнитель | | | Анилин |
| 2. ПДК анилина | $C_{\text{ПДК}}$ | м г/л | 0,1 |
| 3. Содержание анилина: | | | |
| - в речной воде | $C_B$ | мг/л | 0,01 |
| - в городских сточных водах | $C_{\text{гсв}}$ | мг/л | 3,0 |
| - в производственном стоке | $C_{\text{гсв}}$ | мг/л | 50 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| - в очищенном стоке, сбрасываемом в реку | $C_{ос}$ | мг/л | 0,25 |
| - в смеси городской и производственных сточных вод, направляемых на городские очистные сооружения | $C_{см}$ | мг/л | 2,5 |
| 4. Допустимое содержание анилина в производственном стоке | $C_{д.псв}$ | мг/л | 32,5 |
| 5. Требуемая степень очистки производственного стока от анилина | Э | % | 35 |

## Общее заключение

На основании проведенных расчетов можно сделать вывод: сточные воды перед сбросом в городскую канализацию должны подвергаться очистке.

### *Контрольные вопросы*

1. В каких случаях может осуществляться сброс производственных сточных вод в городскую канализацию?
2. К каким последствиям может привести значительное загрязнение производственных сточных вод, сбрасываемых в городскую канализацию?
3. Какие требования предъявляются к производственным сточным водам, подлежащим сбросу в городскую канализацию?
4. Какие меры применяются к производственным сточным водам, подлежащим сбросу в канализацию, в случае, когда не выполняются предъявляемые к ним требования?
5. До какой концентрации должна осуществляться очистка производственных сточных вод, подлежащих сбросу в городскую канализацию?
6. Как определяется соответствие сброса производственных сточных вод в городскую канализацию?
7. В каком месте по течению реки определяется соответствие условий сброса сточных вод предприятия санитарным требованиям?
8. Какое требование должно выполняться при соответствии условий сброса сточных вод в реку санитарным нормам?
9. Как определяется необходимая степень очистки сточных вод от загрязнений, содержание которых в сточных водах, сбрасываемых в канализацию, не соответствует санитарным требованиям?

# Практическое занятие № 5

# Оценка ущерба за выбросы (сбросы) загрязняющих веществ в окружающую среду

***Цель и содержание работы***

Работа предназначена для изучения порядка определения платы и ее размеров за загрязнение окружающей природной среды организациями, предприятиями, юридическими лицами, осуществляющими вредные выбросы в атмосферу и сбросы в водоемы.

Методика составлена на основании Закона Российской Федерации «Об охране окружающей среды», Постановления Правительства Российской Федерации от 28 августа 1992 г. № 632 «Об утверждении порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов и другие виды вредного воздействия».

Цель работы - определение размера платежей, осуществляемых промышленным предприятием за выбросы вредных веществ в атмосферу и сбросы в водоемы.

## Общие положения

Плата за загрязнение представляет собой форму возмещения экономического ущерба от выбросов и сбросов, загрязняющих веществ в окружающую природную среду, а также за размещение отходов на территории Российской Федерации. Она возмещает затраты на компенсацию вредного воздействия выбросов и сбросов загрязняющих веществ на окружающую природную среду, затраты на проектирование и строительство природоохранных объектов, а также стимулирует снижение или поддержание выбросов и сбросов в пределах нормативов и утилизацию отходов.

Плата за загрязнение окружающей природной среды (плата за загрязнение) взимается с предприятий, учреждений, организаций и других юридических лиц независимо от их организационно-правовых форм и форм собственности, на которой они основаны, включая совместные предприятия с участием юридических лиц и граждан, которым предоставлено право ведения производственно-хозяйственной деятельности на территории Российской Федерации
(природопользователей).

Плата за загрязнение взимается с природопользователей, осуществляющих следующие виды воздействия на окружающую природную среду:

- выброс в атмосферу загрязняющих веществ от стационарных и передвижных источников;
- сброс загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, а также любое подземное размещение загрязняющих веществ;

- размещение отходов.

Размер платежей за выбросы вредных веществ в атмосферу и сброс в водоемы определяется как сумма платежей за загрязнение:

- в размерах, не превышающих установленные природопользователю предельно допустимые нормативы (выбросов, сбросов, размещения отходов);

- в пределах установленных лимитов (выбросов, сбросов, размещения отходов);

- за сверхлимитное загрязнение окружающей природной среды. Устанавливаются следующие источники платежей за загрязнение окружающей природной среды:

- платежи в пределах допустимых нормативов выбросов, сбросов загрязняющих веществ осуществляются за счет себестоимости продукции (работ и услуг);

- платежи за превышение допустимых нормативов выбросов, сбросов загрязняющих веществ, размещение отходов (лимиты или временно согласованные нормативы выбросов, сбросов, размещения отходов, а также превышение лимитов или временно согласованных нормативов выбросов, сбросов, размещения отходов) осуществляются за счет прибыли, остающейся в распоряжении природопользователей.

Плановый годовой размер платежей за загрязнение (с разбивкой по кварталам) определяется природопользователем, утверждается руководителем предприятия и согласовывается с территориальным органом Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ в установленные им сроки.

**Методика расчета платы за выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников в атмосферу и сбросы в водоем**

Размер платежей за выбросы вредных веществ в атмосферу и сброс в водоемы определяется по формуле:

$$П = П_н + П_л + П_{сл}, \qquad (5.1)$$

где $П_н$ - плата за выбросы в атмосферу (сброс в водоем) загрязняющих веществ в размерах, не превышающих предельно допустимые нормативы выбросов, руб.;

$П_л$ - плата за выбросы в атмосферу (сброс в водоем) загрязняющих веществ в пределах установленных лимитов, руб.;

$П_{сл}$ - плата за сверхлимитные выбросы в атмосферу (сброс в водоем) загрязняющих веществ, руб.

Плата за выбросы загрязняющих веществ в размерах, не превышающих установленные природопользователю предельно допустимые нормативы выбросов, определяется по формуле:

$$П_н = \sum_{i=1}^{n} C_{H_i} \cdot M_i \qquad \text{при } M_i \leq M_{H_i} \tag{5.2}$$

где $i$ – вид загрязняющего вещества $i$ = 1, 2 ... $n$;

$C_{H_i}$ – дифференцированная ставка платы за выброс в атмосферу (сброс в водоем) 1 т i-го загрязняющего вещества в пределах допустимых нормативов выбросов, руб.;

$M_i$ – фактический выброс (сброс) i-го загрязняющего вещества, т;

$M_{H_i}$ – предельно допустимый выброс (сброс) i-го загрязняющего вещества, т.

Плата за выбросы загрязняющих веществ в атмосферу (сброс в водоем) в пределах установленных лимитов определяется по формуле:

$$П_л = \sum_{i=1}^{n} C_{Л_i} \cdot \left(M_i - M_{H_i}\right) \qquad \text{при } M_{H_i} < M_i \leq \left(M_{H_i} + M_{Л_i}\right), \tag{5.3}$$

где $C_{Л_i}$ – дифференцированная ставка платы за выброс 1 т i-го загрязняющего вещества в пределах установленного лимита, руб.;

$M_{Л_i}$ – выброс i-го загрязняющего вещества в пределах установленного лимита, т.

Плата за сверхлимитный выброс загрязняющих веществ в атмосферу (сброс в водоем) определяется по формуле:

$$П_{сл} = 5 \cdot \sum_{i=1}^{n} C_{Л_i} \cdot \left(M_i - M_{H_i} - M_{Л_i}\right) \text{ при } M_i > \left(M_{H_i} + M_{Л_i}\right). \tag{5.4}$$

**Определение дифференцированных ставок за загрязнение окружающей природной среды**

Дифференцированная ставка платы за выброс в атмосферу (сброс в водоем) 1 т i-го загрязняющего вещества в пределах допустимых нормативов выбросов равна:

$$C_{H_i} = H_{бн_i} \cdot K_э. \tag{5.5}$$

Дифференцированная ставка платы за выброс 1 т i-го загрязняющего вещества в пределах установленного лимита равна:

$$C_{Л_i} = H_{бл_i} \cdot K_э. \tag{5.6}$$

где $H_{бн_i}$ – базовый норматив платы за выброс в атмосферу (сброс в водоем) 1 т i-го загрязняющего вещества в размерах, не превышающих предельно допустимые нормативы выбросов, руб.;

$H_{бл_i}$ – базовый норматив платы за выброс в атмосферу (сброс в водоем) 1 т загрязняющего вещества в пределах установленного лимита, руб.;

$K_э$ – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости атмосферы в данном регионе (поверхностного водного объекта).

Коэффициенты экологической ситуации и экологической значимости ($K_э$) состояния атмосферного воздуха, почвы и водных объектов на территории РФ вводятся для учета суммарного воздействия, оказываемого выбросами (сбросами, размещением отходов) загрязняющих веществ на данной территории.

$K_э$ рассчитаны по данным оценки лаборатории мониторинга природной среды и климата Госкомгидромета РФ. В их основу положен показатель степени загрязнения и деградации природной среды на территории экономических районов РФ в результате присущих этим районам выбросов в атмосферу и образующихся и размещаемых на их территории отходов.

$K_э$ состояния водных объектов по бассейнам основных рек РФ рассчитаны на основании данных о количестве сброшенных загрязненных сточных вод по бассейнам основных рек в разрезе республик, краев, областей и объеме стока по бассейнам основных рек в разрезе экономических районов РФ.

Значения $K_э$ для различных регионов РФ приведены в таблице 5.1.

*Таблица 5.1*

Коэффициенты экологической ситуации и экологической значимости состояния атмосферного воздуха и почвы территорий экономических районов Российской Федерации

| Экономический район Российской Федерации | Коэффициент экологической ситуации и экологической значимости ($K_э$) | |
|---|---|---|
| | атмосферного воздуха | почвы |
| Северный | 1,4 | 1,4 |
| Северно-Западный | 1,5 | 1,3 |
| Центральный | 1,9 | 1,6 |
| Волго-Вятский | 1,1 | 1,5 |
| Центрально-Черноземный | 1,5 | 2,0 |
| Поволжский | 1,9 | 1,9 |
| Северо-Кавказский | 1,6 | 1,9 |
| Уральский | 2,0 | 1,2 |
| Западно-Сибирский | 1,2 | 1,2 |
| Восточно-Сибирский | 1,4 | 1,1 |
| Дальневосточный | 1,0 | 1,1 |

$K_э$ атмосферного воздуха, водных объектов и почвы могут увеличиваться решением органов исполнительной власти республик в составе РФ, краев и областей, г. Москвы и Санкт-Петербурга, автономных образований:

- для природопользователей, расположенных в зонах экологического бедствия, районах Крайнего Севера и местностях, приравненных к ним, на территории национальных парков, особо охраняемых и заповедных территориях, эколого-курортных регионах, а также на территориях, по которым заключены международные конвенции, – до 2 раз;
- для природопользователей, осуществляющих выбросы загрязняющих веществ в атмосферу городов и крупных промышленных центров, – на 20 %.

Значения $K_э$ для Республики Татарстан приведены в таблице 5.2.

*Таблица 5.2*

Коэффициенты экологической ситуации и экологической значимости состояния атмосферного воздуха, водных объектов и почвы РТ

| Коэффициент экологической ситуации и экологической значимости ($К_э$) | Значение |
|---|---|
| Атмосферного воздуха | 1,9 |
| Водных объектов | 1,2 |
| Почвы | 1,9 |

**Определение базовых нормативов платы за загрязнение окружающей среды**

При расчете платежей за выбросы, сбросы загрязняющих веществ устанавливаются два вида базовых нормативов платы:

- за выбросы, сбросы загрязняющих веществ, другие виды вредного воздействия в пределах допустимых нормативов;
- за выбросы, сбросы загрязняющих веществ, размещение отходов, другие виды вредного воздействия в пределах установленных лимитов (временно согласованных нормативов).

Базовые нормативы платы за выбросы в атмосферу и сбросы в водоемы конкретных загрязняющих веществ определяются как произведение удельного экономического ущерба от выбросов и сбросов загрязняющих веществ на показатели относительной опасности конкретного загрязняющего вредного вещества для окружающей природой среды и здоровья населения и на коэффициенты индексации платы:

- для выбросов (сбросов) в размерах, не превышающих предельно допустимые нормативы:

$$Н_{бн_i} = Э_у \cdot A_i \cdot К_{ин}. \quad (5.7)$$

- для выбросов (сбросов) в пределах установленных лимитов:

$$Н_{бл_i} = Э_у \cdot A_i \cdot К_{ил}, \quad (5.8)$$

где $Э_у$ – удельный экономический ущерб от выброса в атмосферу (сброса в водоем) 1 т i-го загрязняющего вещества, руб;

$A_i$ – показатели относительной опасности вещества, выбрасываемого в атмосферу (сбрасываемого в водоем);

$К_{ин}$ – коэффициент индексации платы для выбросов (сбросов) в размерах, не превышающих предельно допустимые нормативы;

$К_{ил}$ – коэффициент индексации платы для выбросов (сбросов) в пределах установленных лимитов.

Удельный экономический ущерб составляет:

- от выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в пределах допустимого норматива выброса и лимита (временно согласованного выброса) $Э_у$ = 85,50 руб./усл. т;

- от сбросов загрязняющих веществ в водные объекты в пределах допустимого норматива сброса и лимита (временно согласованного сброса) $Э_у$ = 11460,50 руб./усл. т.

Показатели относительной опасности веществ ($A_i$) рассчитываются на основе нормативных документов «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест», «Санитарные правила и охраны поверхностных вод от загрязнения».

$$A_i = \frac{1}{ПДК_i}, \quad (5.9)$$

где $ПДК_i$ - для атмосферного воздуха принимается предельно допустимая концентрации среднесуточная ($ПДК_{сс}$);

$ПДК_i$ - для водных объектов принимается предельно допустимая концентрация в воде рыбохозяйственных водоемов ($ПДК_{рх}$);

$i$ – загрязняющее вещество.

Коэффициент индексации платы для выбросов (сбросов) в пределах допустимых нормативов $К_{ин}$ устанавливается в зависимости от уровня изменения цен на природоохранное строительство и по другим направлениям природоохранной деятельности.

Коэффициент индексации платы для выбросов (сбросов) в пределах установленных лимитов устанавливается в пятикратном размере по отношению к коэффициенту индексации платы для выбросов (сбросов) в пределах допустимых нормативов, т.е.

$$К_{ил} = 5К_{ин}.$$

## Определение массы загрязнений, поступающих в окружающую среду

Масса i-го вещества выбрасываемого в атмосферу при непрерывном пылегазовом выбросе в год, т:

$$M_i = \frac{M \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365}{10^6}, \quad (5.10)$$

где $M$ - масса выброса i-го вещества в атмосферу в секунду, г.

Предельно допустимый выброс в атмосферу i-го загрязняющего вещества (т/г) равен:

$$M_{H_i} = \frac{ПДВ_i \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365}{10^6}, \quad (5.11)$$

где $ПДВ_i$ - предельно допустимый выброс i-го вещества из стационарного источника, г/с.

Масса i-го вещества, сбрасываемого в водоем при непрерывном сбросе стока в год, т:

$$M_i = \frac{q \cdot C_{cm_i} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365}{10^6}, \quad (5.12)$$

где $q$ – объем сброса стока в водоем, м$^3$/с;

$C_{cm_i}$ - концентрация i-го вещества в стоке, сбрасываемом в водоем, мг/л.

Предельно допустимый сброс в водоем i-го загрязняющего вещества (т/г) равен:

$$M_{H_i} = \frac{q \cdot C_{cm.np_i} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365}{10^6}, \quad (5.13)$$

где $C_{cm.np_i}$ - ПДК i-го загрязняющего вещества в стоке, сбрасываемом в водоем, мг/л.

## Исходные данные и порядок расчетов

В городе К проектируется промышленное предприятие. В соответствии с принятой технологией на предприятии предусмотрен сброс вредных веществ со сточными водами в водоем (реку) ниже границы города и выброс вредных веществ в атмосферу через трубу.

Необходимо определить размеры платежей за выбросы вредных веществ в атмосферу и сбросы в реку, которые должны осуществлять предприятие, и дать

рекомендации по охране воздушного бассейна и рациональному использованию водных ресурсов.

*Исходные данные для расчетов*

Наименование загрязняющего вещества в выбросе промышленного предприятия в атмосферу, его масса (г), предельно допустимый выброс (г/с) и его предельно допустимая концентрация принимаются из данных таблицы 16.3.

Загрязняющими веществами, сбрасываемыми в водоем со сточными водами промышленного предприятия, по которым осуществляется начисление платежей, являются: свинец, цинк, бензол, нитрохлорбензол. Расход сточных вод ($q$, м$^3$/с), концентрация в них загрязняющих веществ ($C_{ст_i}$, мг/л), максимально допустимая концентрация загрязняющих веществ в сточных водах ($C_{ст.пр_i}$, мг/л) и ПДК этих веществ в воде водных объектов принимаются из таблицы 5.4

Выброс (сброс) i-го загрязняющего вещества в пределах установленного лимита ($M_{л_i}$) принимается в процентах ($a$) от значения предельно допустимого выброса (сброса).

$$M_{л_i} = \frac{a \cdot M_{H_i}}{100}. \qquad (5.14)$$

Значение коэффициента $a$ принимается равным 30–50%. Значения $K_э$ приведены в таблице 5.2.

*Таблица 5.3*

Данные для расчета выброса загрязняющего вещества в атмосферу и платежей за этот выброс

| Номер варианта | Загрязнитель | Масса, М, г | ПДВ, г/с | ПДК, мг/м$^3$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Азота диоксид | 80 | 50 | 0,085 |
| 2 | Аммиак | 85 | 55 | 0,2 |
| 3 | Ангидрид сернистый | 90 | 60 | 0,05 |
| 4 | Анилин | 95 | 65 | 0,03 |
| 5 | Бензин | 100 | 70 | 1,3 |
| 6 | Бензол | 105 | 75 | 0,8 |
| 7 | Хлорид водорода | 110 | 80 | 0,2 |
| 8 | Диметиламин | 120 | 85 | 0,005 |
| 9 | Дихлорэтан | 125 | 90 | 1,0 |
| 10 | Капролактам | 130 | 95 | 0,06 |
| 11 | Кислота серная | 140 | 100 | 0,1 |
| 12 | Кислота уксусная | 145 | 105 | 0,06 |
| 13 | Ксилол | 150 | 110 | 0,2 |
| 14 | Нитробензол | 160 | 115 | 0,008 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 15 | Сероуглерод | 170 | 120 | 0,005 |
| 16 | Сероводород | 180 | 125 | 0,008 |
| 17 | Толуол | 190 | 130 | 0,6 |
| 18 | Фенол | 200 | 135 | 0,01 |
| 19 | Хлор | 82 | 140 | 0,03 |
| 20 | Хлорбензол | 80 | 145 | 0,01 |

*Таблица 5.4*

Данные для расчета сбросов загрязняющих веществ
в водоем со сточными водами и платежей за эти сбросы

| Номер варианта | Загрязнитель | Концентрация загрязняющих веществ ($C_{cm_i}$, мг/л) | Расход сточной воды ($q$, м³/с) | ПДК в сточных водах, $C_{cm.np_i}$, мг/л | ПДК в речной воде, мг/л |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Анилин | 34 | 0,30 | 0,1 | 0,05 |
| | Метанол | 36 | 0,32 | 3,0 | 0,1 |
| | Формальдегид | 38 | 0,34 | 0,05 | 0,01 |
| 2 | Капролактам | 40 | 0,36 | 1,0 | 0,01 |
| | Бутиловый спирт | 42 | 0,38 | 1,0 | 0,01 |
| | Бутилацетат | 44 | 0,40 | 0,1 | 0,01 |
| 3 | Кадмий | 46 | 0,42 | 0,01 | 0,01 |
| | Никель | 48 | 0,44 | 0,1 | 0,02 |
| | Свинец | 50 | 0,46 | 0,1 | 0,03 |
| 4 | Цинк | 48 | 0,48 | 1,0 | 0,1 |
| | Стирол | 46 | 0,50 | 0,1 | 0,01 |
| | Фенол | 44 | 0,52 | 0,01 | 0,001 |
| 5 | Медь | 42 | 0,54 | 1,0 | 0,1 |
| | Хром | 40 | 0,56 | 0,1 | 0,03 |
| | Железо | 38 | 0,58 | 0,5 | 0,2 |
| 6 | Анилин | 36 | 0,60 | 0,1 | 0,01 |
| | Капролактам | 34 | 0,62 | 1,0 | 0,01 |
| | Кадмий | 32 | 0,64 | 0,01 | 0,01 |
| 7 | Цинк | 30 | 0,66 | 1,0 | 0,1 |
| | Медь | 28 | 0,68 | 1,0 | 0,1 |
| | Анилин | 26 | 0,70 | 0,1 | 0,01 |
| 8 | Метанол | 24 | 0,62 | 3,0 | 0,1 |
| | Бутиловый спирт | 22 | 0,64 | 1,0 | 0,01 |
| | Никель | 20 | 0,66 | 0,1 | 0,02 |
| 9 | Стирол | 18 | 0,68 | 0,1 | 0,01 |
| | Хром | 16 | 0,70 | 0,1 | 0,03 |
| | Капролактам | 14 | 0,72 | 1,0 | 0,01 |
| 10 | Формальдегид | 12 | 0,74 | 0,05 | 0,01 |
| | Бутилацетат | 10 | 0,76 | 0,1 | 0,01 |
| | Свинец | 8 | 0,78 | 0,1 | 0,03 |
| 11 | Фенол | 6 | 0,80 | 0,01 | 0,001 |
| | Железо | 4 | 0,82 | 0,5 | 0,2 |
| | Кадмий | 2 | 0,84 | 0,01 | 0,01 |
| 12 | Бензол | 4 | 0,82 | 0,5 | 0,01 |
| | Бутиловый спирт | 6 | 0,80 | 1,0 | 0,01 |
| | Формальдегид | 8 | 0,78 | 0,05 | 0,01 |
| 13 | Нитрохлорбензол | 10 | 0,76 | 0,05 | 0,005 |
| | Никель | 12 | 0,74 | 0,1 | 0,02 |
| | Цинк | 14 | 0,72 | 1,0 | 0,1 |
| 14 | Метанол | 16 | 0,70 | 3,0 | 0,1 |
| | Свинец | 18 | 0,68 | 0,1 | 0,03 |
| | Хром | 20 | 0,66 | 0,1 | 0,03 |
| 15 | Железо | 22 | 0,64 | 0,5 | 0,2 |
| | Цинк | 24 | 0,62 | 1,0 | 0,1 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Медь | 26 | 0,60 | 1,0 | 0,1 |
| 16 | Фенол | 28 | 0,58 | 0,01 | 0,001 |
| | Стирол | 30 | 0,56 | 0,1 | 0,01 |
| | Железо | 32 | 0,54 | 0,5 | 0,2 |
| 17 | Бензол | 34 | 0,52 | 0,5 | 0,01 |
| | Метанол | 36 | 0,50 | 3,0 | 0,1 |
| | Кадмий | 38 | 0,48 | 0,01 | 0,01 |
| 18 | Никель | 40 | 0,46 | 0,1 | 0,02 |
| | Свинец | 42 | 0,44 | 0,1 | 0,03 |
| | Медь | 44 | 0,42 | 1,0 | 0,1 |
| 19 | Нитрохлорбензол | 46 | 0,40 | 0,05 | 0,005 |
| | Бутиловый спирт | 48 | 0,38 | 1,0 | 0,01 |
| | Формальдегид | 50 | 0,36 | 0,05 | 0,01 |
| 20 | Метанол | 48 | 0,34 | 3,0 | 0,1 |
| | Стирол | 46 | 0,32 | 0,1 | 0,01 |
| | Фенол | 44 | 0,30 | 0,01 | 0,001 |

## *Порядок расчета*

### *Расчет выброса одного загрязняющего вещества в атмосферу и платежей за этот выброс*

1. Определяется масса вещества, выбрасываемого в атмосферу в год ($M_i$, т) (5.10). Наименование вещества и масса его выброса (М, г/с) принимается из таблицы 5.3.

2. Определяется предельно допустимый выброс в атмосферу загрязняющего вещества в год ($M_{H_i}$, т) по уравнению (5.11).

Предельно допустимый выброс в атмосферу этого вещества (ПДВ, г/с) принимается из таблицы 5.3.

3. Определяется временно согласованный выброс в атмосферу загрязняющего вещества по выражению (5.14). Значение коэффициента ($a$) в уравнении принимается равным 50 %.

4. Определяется показатель относительной опасности загрязняющего вещества, выбрасываемого в атмосферу ($A_i$), по уравнению (5.9). Значение ПДК этого вещества приведены в табл. 5.3.

5. Определяется значение базового норматива платы за выброс загрязняющего вещества в атмосферу в размерах, не превышающих допустимые нормативы ($H_{бн_i}$, руб./т) по уравнению (5.7). Значение коэффициента индексации платы принимается соответствующим утвержденному на данный момент $K_{ин} = 1{,}19$.

6. Определяется значение базового норматива платы за выброс загрязняющего вещества в атмосферу в пределах установленных лимитов ($H_{бл_i}$, руб./т) по уравнению (5.8).

7. Определяется дифференцированная ставка платы за выброс в атмосферу загрязняющего вещества в пределах допустимых нормативов ($C_{H_i}$ , руб./т) по уравнению (5.5). Значение коэффициента экологической ситуации и экологической значимости атмосферы $К_э$ принимается по таблице 5.2.

8. Определяется дифференцированная ставка платы за выброс в атмосферу загрязняющего вещества в пределах установленных лимитов ($C_{Л_i}$, руб./т) по уравнению (5.6).

9. Определяются платежи за выброс загрязняющего вещества в размерах, не превышающих предельно допустимые нормативы выбросов ($П_н$, руб./г) по уравнению (5.2). Сначала проверяется условие $M_i \leq M_{H_i}$. Если это условие выполняется, то весь выброс в атмосферу не превышает предельно допустимых нормативов, а выброс в пределах установленных лимитов и сверхлимитный выброс равны нулю, т.е. $П_л = 0$ и $П_{сл} = 0$. Если $M_i > M_{H_i}$, то часть выброса находится в пределах допустимых нормативов, а часть превышает их. В этом случае значение $M_i$ в уравнении (5.2) принимается равным $M_i = M_{H_i}$

10. Определяются платежи за выброс загрязняющего вещества в атмосферу в пределах установленных лимитов по уравнению (5.3). Сначала проверяется условие $\left(M_i - M_{H_i}\right) \leq M_{Л_i}$. Если это условие выполняется, то выброс в атмосферу, превышающий предельно допустимые нормативы, является выбросом в пределах установленных лимитов, а сверхлимитный выброс равен нулю, т.е. $П_{сл} = 0$. Если $\left(M_i - M_{H_i}\right) > M_{Л_i}$, то часть общего выброса находится в пределах допустимых нормативов, часть – в пределах установленных лимитов, а часть выброса является сверхлимитной. В этом случае значение $M_i - M_{H_i}$ в выражении 16.3 принимается равным $\left(M_i - M_{H_i}\right) = M_{Л_i}$.

11. Определяются платежи за сверхлимитный выброс загрязняющего вещества в атмосферу по уравнению (5.4). Эти платежи определяются при выполнении условия $M_i > \left(M_{H_i} + M_{Л_i}\right)$.

12. Определяются суммарные платежи за выброс вредного вещества в атмосферу по уравнению (5.1).

### *Расчет сбросов нескольких загрязняющих веществ в водоем со сточными водами и платежей за эти сбросы*

1. Определяются массы загрязняющих веществ в год ($M_i$, т), сбрасываемых в водоем со сточной водой, по которым начисляются платежи по уравнению (5.12). Наименование веществ, расход сточной воды ($q$, м$^3$/с) и концентрация в ней загрязняющих веществ ($C_{ст_i}$, мг/л) приведены в таблице 5.4.

2. Определяются предельно допустимые сбросы в водоем загрязняющих веществ, ($M_{H_i}$, т/г) по уравнению (5.13). Максимально
допустимые концентрации загрязняющих веществ в стоке ($C_{ст.пр_i}$, мг/л) приведены в таблице 5.4.

3. Определяются временно согласованные сбросы в водоем загрязняющих веществ по уравнению (5.14). Значение коэффициента (*a)* в уравнении принимается равным 50%.

4. Определяются показатели относительной опасности загрязняющих веществ, сбрасываемых в водоем ($A_i$), по уравнению (5.9).

5. Определяются значения базового норматива платы за сбросы загрязняющих веществ в водоем в размерах, не превышающих допустимые нормативы ($H_{бн_i}$, руб./т), по уравнению (5.7).

6. Определяются значения базового норматива платы за сбросы загрязняющих веществ в водоем в пределах установленных лимитов ($H_{бл_i}$, руб./т) по уравнению (5.8).

7. Определяются дифференцированные ставки платы за сбросы в водоем загрязняющих веществ в пределах допустимых нормативов ($C_{H_i}$, руб./т) по уравнению (16.5). Значение $K_э$ водоема принимается по таблице 5.2.

8. Определяются дифференцированные ставки платы за сбросы в водоем загрязняющих веществ в пределах установленных лимитов ($C_{Л_i}$, руб./т) по уравнению (5.6).

9. Определяются платежи за сбросы в водоем загрязняющих веществ в размерах, не превышающих предельно допустимые нормативы сбросов ($П_н$, руб./год), по уравнению (5.2). Сначала для каждого загрязняющего вещества проверяется условие $M_i \leq M_{H_i}$. Если это условие выполняется, то весь сброс загрязняющего вещества в водоем не превышает предельно допустимых нормативов, а сброс его в пределах установленных лимитов и сверхлимитный сброс равны нулю, т.е. $П_л = 0$ и $П_{сл} = 0$. Если $M_i > M_{H_i}$, то часть сброса находится в пределах допустимых нормативов, а часть превышает их. В этом случае значение $M_i$ по уравнению (5.2) принимается равным $M_i = M_{H_i}$.

10. Определяются платежи за сбросы загрязняющих веществ в водоем в пределах установленных лимитов по уравнению (5.3). Сначала для каждого загрязняющего вещества проверяется условие $\left(M_i - M_{H_i}\right) \leq M_{Л_i}$. Если это условие выполняется, то сброс его в водоем, превышающий предельно допустимые нормативы, является сбросом в пределах установленных лимитов, а сверхлимитный сброс равен нулю, т. е. $П_{сл} = 0$. Если $\left(M_i - M_{H_i}\right) > M_{Л_i}$, то часть общего сброса находится в пределах допустимых нормативов, часть – в пределах установленных лимитов, а часть сброса является сверхлимитной. В этом случае значение $M_i - M_{H_i}$ в выражении 5.3 принимается равным $\left(M_i - M_{H_i}\right) = M_{Л_i}$.

11. Определяются платежи за сверхлимитные сбросы загрязняющих веществ в водоем по уравнению (5.4). Эти платежи определяются при выполнении условия $M_i > \left(M_{H_i} + M_{Л_i}\right)$.

12. Определяются суммарные платежи за сбросы загрязняющих веществ в водоем по уравнению (5.1).

### *Требования к отчету*

Результаты практической работы должны быть оформлены в виде отчета, в котором должны быть изложены:

- наименование и вариант работы;
- исходные данные для расчетов;
- методика расчетов с результатами вычислений;

- результаты расчетов (табл. 5.5);
- общее заключение по результатам работы.

*Таблица 5.5*

***Результаты расчетов***

| Вредные вещества в выбросах | Платежи за выбросы, р./год | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $П_н$ | $П_л$ | $П_{сл}$ | П |
| I. Сбросы в водоем: | | | | |
| 1 вещество | | | | |
| 2 вещество | | | | |
| 3 вещество | | | | |
| II. Выбросы в атмосферу | | | | |
| Всего | | | | |

В общем заключении должно быть указано, из каких видов платежей складываются суммарные платежи за загрязнение окружающей среды. Если на предприятии имеются выбросы вредных веществ в пределах установленных лимитов или за сверхлимитные выбросы, то в заключении должны быть приведены мероприятия по снижению вредных выбросов до допустимых нормативов.

***Контрольные вопросы***

1. Что представляет собой плата за загрязнение окружающей среды и для каких целей она взимается с природопользователей?
2. За какие виды воздействия на окружающую природную среду взимается плата с природопользователей?
3. Из каких источников предприятия осуществляют платежи за загрязнение окружающей среды?
4. Из каких видов платежей складываются суммарные платежи за выбросы вредных веществ в атмосферу и сброс в водоемы?
5. С какой целью при расчете дифференцированных ставок платы применяют коэффициенты экологической ситуации и экологической значимости состояния атмосферного воздуха, почвы и водных объектов на территории Российской Федерации?
6. Как определяется коэффициент относительной опасности вещества?
7. На какие категории подразделяется масса выбросов вредных веществ в окружающую среду?
8. Какие природоохранные мероприятия необходимо проводить на предприятиях?

# Практическое занятие № 6

## Расчет категории опасности предприятия в зависимости от массы выбрасываемых в атмосферу веществ

***Цели и содержание работы***

Приобретение навыков расчета категории опасности предприятия в зависимости от массы выбросов и степени опасности загрязняющих атмосферу веществ.

### Теоретические положения

С развитием производственной деятельности человека все большая доля в загрязнении атмосферы приходится на антропогенные источники. Их разделяют на локальные и глобальные. Локальные загрязнения связаны с городами и промышленными регионами, глобальные распространяются на огромные расстояния и оказывают влияние на биосферные процессы в целом на Земле. Так как воздух находится в постоянном движении, вредные вещества переносятся на сотни и тысячи километров. Глобальное загрязнение атмосферы усиливается в связи с тем, что вредные вещества из нее выпадают на почву, в водоемы, а затем снова поступают в атмосферу.

Загрязнители атмосферы разделяют на:

1. Химические (загрязняющие вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии).

2. Физические:

- тепловые, возникающие в результате повышения температуры атмосферы (поступление в атмосферу нагретых газов);
- световые, происходящие при ухудшении естественного освещения местности под воздействием искусственных источников света;
- шумовые, являющиеся следствием возникновения антропогенных шумов;
- электромагнитные, вызванные изменением электромагнитных свойств среды (от линий электропередачи, радиотелевидения, работы некоторых видов промышленных установок);
- радиоактивные, связанные с повышением уровня поступления радиоактивных веществ в атмосферу.

3. Биологические - являются следствием размножения микроорганизмов и вирусов.

Источники загрязнения воздушного бассейна подразделяют на источники выделения и источники выбросов вредных веществ в атмосферу.

*Источником выделения загрязняющих веществ* называется технологический агрегат (установка, устройство, аппарат и т.п.), выделяющий в процессе эксплуатации вредные вещества.

*Источник выбросов* – устройство (труба, аэрационный фонарь, вентиляционная шахта и т.п.), посредством которого осуществляется выброс загрязняющих веществ в атмосферу.

Промышленные производства и технологическое оборудование, являющиеся источниками загрязнения атмосферы, делятся на 4 группы:

1. имеющие условно чистые выбросы, в которых концентрация загрязняющих веществ не превышает гигиенических норм (например, цеха переработки пластмасс, прядильные цехи и т.д.);
2. имеющие дурно пахнущие выбросы (например, производство азотной кислоты с каталитической очисткой и др.);
3. содержащие нетоксичные вещества (дробильно-помольные цехи, отделения сушки, обогатительные фабрики и др.);
4. имеющие выбросы, содержащие канцерогенные, токсичные или ядовитые вещества (производство фенола, полиэтилена, ацетилена и др.).

Источники загрязнения атмосферы бывают точечные (труба), линейные (газопровод) и поверхностные. Попадать в атмосферу вредные вещества могут на разных стадиях производства (добыча, транспортирование, дробление, измельчение, помол), различным образом: из-за негерметичности оборудования, при погрузочно-разгрузочных работах, с открытых складов, то есть специально неорганизованным способом. Такие выбросы соответственно называются неорганизованными. В то же время на многих предприятиях большинство удаляемых из помещений и технологического оборудования загрязняющих веществ выбрасываются в атмосферу через специально сооруженные газоходы, воздуховоды и трубы, что позволяет применить для их улавливания соответствующие установки. Такие выбросы называются организованными.

Для определения категории опасности предприятия используют данные о выбросах загрязняющих веществ в атмосферу. Категорию опасности предприятия (КОП) рассчитывают по формуле:

$$\text{КОП} = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{M_i}{\text{ПДК}_i}\right)^{a_i}, \qquad (6.1)$$

где $M_i$ - масса выброса *i−го* вещества, т/год;

$\text{ПДК}_i$ - среднесуточная предельно допустимая концентрация *i−го* вещества, мг/м$^3$;

*n* - количество загрязняющих веществ, выбрасываемых предприятием;

$a_i$ - безразмерная константа, позволяющая соотнести степень вредности *i−го* вещества с вредностью сернистого газа, определяется по таблице 6.1.

*Таблица 6.1*

Значение коэффициента $a_i$ для различных классов опасности

| Класс опасности вещества | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| Коэффициент $a_i$ | 1,7 | 1,3 | 1,0 | 0,9 |

Значения КОП рассчитывают при условии, когда $(M_i/\text{ПДК}) > 1$. При $(M_i/\text{ПДК}) < 1$ значения КОП не рассчитываются и приравниваются к нулю. Для расчета КОП при отсутствии среднесуточных значений предельно допустимых концентраций используют значения максимально- разовых ПДК, ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) или уменьшенные в 10 раз значения предельно допустимых концентраций веществ в воздухе рабочей зоны.

Для веществ, по которым отсутствует информация о ПДК или ОБУВ, значения КОП приравнивают к массе выбросов данного вещества.

По величине КОП предприятия делят на четыре категории опасности. Граничные условия для деления предприятий по категориям опасности приведены в таблице 6.2.

*Таблица 6.2*

Граничные условия для деления предприятий по категориям опасности в зависимости от значений КОП

| Значения | Категория опасности |
|---|---|
| КОП> $10^6$ | 1 |
| КОП = $10^4$ – $10^6$ | 2 |
| КОП = $10^3$ – $10^4$ | 3 |
| КОП <$10^3$ | 4 |

Предприятия первой и второй категории опасности представляют собой наибольшую опасность для окружающей среды, к ним необходимо применять особые требования при разработке нормативов ПДВ (ВСВ) и ежегодном контроле за их достижением.

Предприятия третьей категории опасности, как правило, самые многочисленные, и они могут иметь тома ПДВ, разработанные по сокращенной программе.

К четвертой категории опасности относят самые мелкие предприятия с небольшим количеством выбросов вредных веществ в атмосферу. Для таких предприятий устанавливают нормативы ПДВ на уровне фактических выбросов.

### *Требования к отчету*

Результаты практической работы оформляются в виде отчета, в котором должны быть изложены:

- наименование и вариант работы;
- исходные данные для расчетов;

- методика расчетов с результатами вычислений;
- сводная расчетная таблица;
- общее заключение по результатам работы.

### *Пример расчета*

Исходные данные для определения категории опасности завода железобетонных изделий, выбросы которого характеризуются данными, приведенными в таблице 6.3.

| Видовой состав выбросов | Масса выбросов, $M_i$, т/год | Класс опасности выбросов | $ПДК_i$ мг/м$^3$ |
|---|---|---|---|
| Пыль неорганическая (цемент, шамот) | 737,1 | 3 | 0,05 |
| Оксид азота | 41,87 | 3 | 0,06 |
| Оксид марганца | 0,001 | 2 | 0,001 |
| Оксид хрома | 0,001 | 1 | 0,0015 |

1. Определим значение КОП для каждого вещества, входящего в состав выбросов предприятия:

Неорганическая пыль

$$КОП_1 = \left(\frac{737,1}{0,05}\right)^1 = 14742.$$

Оксид азота

$$КОП_2 = \left(\frac{41,87}{0,06}\right)^1 = 697,8.$$

Оксид марганца

$$КОП_3 = \left(\frac{0,001}{0,001}\right)^{1,3} = 1,0.$$

Оксид хрома

$$КОП_3 = \left(\frac{0,001}{0,0015}\right)^{1,7} = 0,37.$$

2. Определим значение КОП для выброса в целом:

$$КОП = 14742 + 697,8 + 1,0 + 0,37 = 15441,17.$$

3. Определяем категорию опасности предприятия по табл. 6.2.

Завод железобетонных изделий имеет вторую категорию опасности.

Исходные данные для выполнения задания приведены в таблице 6.4.

*Таблица 6.4*

| Варианты | Параметры | Пыль цемента | Пыль шпата | Пыль шамота | Оксид магния | Оксид хрома | Оксид натрия | Оксид кальция |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $M_i$, *т/год* | 840 | 1560 | | 0,005 | | 0,05 | |
| | Класс | 3 | 3 | | 2 | | 1 | |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | 0,03 | | 0,001 | | 0,0012 | |
| 2 | $M_i$, *т/год* | 930 | | 1370 | | 0,005 | | 0,035 |
| | Класс | 3 | | 3 | | 2 | | 1 |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | | 0,04 | | 0,0015 | | 0,001 |
| 3 | $M_i$, *т/год* | 1020 | 6700 | | 0,009 | | 0,019 | |
| | Класс | 3 | 3 | | 2 | | 1 | |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | 0,03 | | 0,001 | | 0,0012 | |
| 4 | $M_i$, *т/год* | 5600 | | 6666 | | 0,015 | | 0,015 |
| | Класс | 3 | | 3 | | 2 | | 1 |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | | 0,04 | | 0,0015 | | 0,001 |
| 5 | $M_i$, *т/год* | 930 | 7800 | | 0,05 | | 0,015 | |
| | Класс | 3 | 3 | | 2 | | 1 | |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | 0,03 | | 0,001 | | 0,0012 | |
| 6 | $M_i$, *т/год* | 770 | | 676 | | 0,03 | | 0,003 |
| | Класс | 3 | | 3 | | 2 | | 1 |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | | 0,04 | | 0,0015 | | 0,001 |
| 7 | $M_i$, *т/год* | 567 | 899 | | 0,015 | | 0,015 | |
| | Класс | 3 | 3 | | 2 | | 1 | |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | 0,03 | | 0,001 | | 0,0012 | |
| 8 | $M_i$, *т/год* | 4580 | | 990 | | 0,085 | | 0,012 |
| | Класс | 3 | | 3 | | 2 | | 1 |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | | 0,04 | | 0,0015 | | 0,001 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | $M_i$, *т/год* | 1123 | 4488 | | 0,025 | | 0,08 | |
| | Класс | 3 | 3 | | 2 | | 1 | |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | 0,03 | | 0,001 | | 0,0012 | |
| 10 | $M_i$, *т/год* | 4900 | | 777 | | 0,033 | | 0,039 |
| | Класс | 3 | | 3 | | 2 | | 1 |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | | 0,04 | | 0,0015 | | 0,001 |
| 11 | $M_i$, *т/год* | 6600 | 990 | | 0,005 | | 0,095 | |
| | Класс | 3 | 3 | | 2 | | 1 | |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | 0,03 | | 0,001 | | 0,0012 | |
| 12 | $M_i$, *т/год* | 987 | | 590 | | 0,005 | | 0,105 |
| | Класс | 3 | | 3 | | 2 | | 1 |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | | 0,04 | | 0,0015 | | 0,001 |
| 13 | $M_i$, *т/год* | 765 | 5583 | | 0,07 | | 0,017 | |
| | Класс | 3 | 3 | | 2 | | 1 | |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | 0,03 | | 0,001 | | 0,0012 | |
| 14 | $M_i$, *т/год* | 928 | | 70 | | 0,111 | | 0,011 |
| | Класс | 3 | | 3 | | 2 | | 1 |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | | 0,04 | | 0,0015 | | 0,001 |
| 15 | $M_i$, *т/год* | 854 | 78 | | 0,005 | | 0,009 | |
| | Класс | 3 | 3 | | 2 | | 1 | |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | 0,03 | | 0,001 | | 0,0012 | |
| 16 | $M_i$, *т/год* | 788 | | 4569 | | 0,05 | | 0,015 |
| | Класс | 3 | | 3 | | 2 | | 1 |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | | 0,04 | | 0,0015 | | 0,001 |
| 17 | $M_i$, *т/год* | 888 | 3456 | | 0,011 | | 0,811 | |
| | Класс | 3 | 3 | | 2 | | 1 | |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | 0,03 | | 0,001 | | 0,0012 | |
| 18 | $M_i$, *т/год* | 569 | | 378 | | 0,013 | | 0,54 |
| | Класс | 3 | | 3 | | 2 | | 1 |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | | 0,04 | | 0,0015 | | 0,001 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 19 | $M_i$, *т/год* | 1239 | 70 | | 0,004 | | 0,033 | |
| | Класс | 3 | 3 | | 2 | | 1 | |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | 0,03 | | 0,001 | | 0,0012 | |
| 20 | $M_i$, *т/год* | 1560 | | 780 | | 0,205 | | 0,05 |
| | Класс | 3 | | 3 | | 2 | | 1 |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | | 0,04 | | 0,0015 | | 0,001 |
| 21 | $M_i$, *т/год* | 2020 | 9800 | | 0,013 | | 0,077 | |
| | Класс | 3 | 3 | | 2 | | 1 | |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | 0,03 | | 0,001 | | 0,0012 | |
| 22 | $M_i$, *т/год* | 676 | | 444 | | 0,05 | | 0,05 |
| | Класс | 3 | | 3 | | 2 | | 1 |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | | 0,04 | | 0,0015 | | 0,001 |
| 23 | $M_i$, *т/год* | 873 | 12000 | | 0,005 | | 0,035 | |
| | Класс | 3 | 3 | | 2 | | 1 | |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | 0,03 | | 0,001 | | 0,0012 | |
| 24 | $M_i$, *т/год* | 780 | | 1290 | | 0,049 | | 0,03 |
| | Класс | 3 | | 3 | | 2 | | 1 |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | | 0,04 | | 0,0015 | | 0,001 |
| 25 | $M_i$, *т/год* | 1000 | 10000 | | 0,045 | | 0,045 | |
| | Класс | 3 | 3 | | 2 | | 1 | |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | 0,03 | | 0,001 | | 0,0012 | |
| 26 | $M_i$, *т/год* | 569 | | 5550 | | 0,065 | | 0,007 |
| | Класс | 3 | | 3 | | 2 | | 1 |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | | 0,04 | | 0,0015 | | 0,001 |
| 27 | $M_i$, *т/год* | 452 | 446 | | 0,129 | | 0,019 | |
| | Класс | 3 | 3 | | 2 | | 1 | |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | 0,03 | | 0,001 | | 0,0012 | |
| 28 | $M_i$, *т/год* | 987 | | 490 | | 0,099 | | 0,09 |
| | Класс | 3 | | 3 | | 2 | | 1 |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | | 0,04 | | 0,0015 | | 0,001 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 29 | $M_i$, *т/год* | 670 | 99 | | 0,005 | | 0,075 | |
| | Класс | 3 | 3 | | 2 | | 1 | |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | 0,03 | | 0,001 | | 0,0012 | |
| 30 | *Mi, т/год* | 777 | | 1400 | | 0,08 | | 0,015 |
| | Класс | 3 | | 3 | | 2 | | 1 |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | | 0,04 | | 0,0015 | | 0,001 |
| 31 | $M_i$, *т/год* | 843 | 666 | | 0,014 | | 0,014 | |
| | Класс | 3 | 3 | | 2 | | 1 | |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | 0,03 | | 0,001 | | 0,0012 | |
| 32 | $M_i i$, *т/год* | 1180 | | 1190 | | 0,005 | | 0,043 |
| | Класс | 3 | | 3 | | 2 | | 1 |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | | 0,04 | | 0,0015 | | 0,001 |
| 33 | $M_i$, *т/год* | 390 | 890 | | 0,017 | | 0,019 | |
| | Класс | 3 | 3 | | 2 | | 1 | |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | 0,03 | | 0,001 | | 0,0012 | |
| 34 | $M_i$, *т/год* | 99 | | 6700 | | 0,072 | | 0,02 |
| | Класс | 3 | | 3 | | 2 | | 1 |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | | 0,04 | | 0,0015 | | 0,001 |
| 35 | $M_i$, *т/год* | 820 | 4590 | | 0,238 | | 0,01 | |
| | Класс | 3 | 3 | | 2 | | 1 | |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | 0,03 | | 0,001 | | 0,0012 | |
| 36 | $M_i$, *т/год* | 739 | | 1500 | | 0,091 | | 0,07 |
| | Класс | 3 | | 3 | | 2 | | 1 |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | | 0,04 | | 0,0015 | | 0,001 |
| 37 | $M_i$, *т/год* | 555 | 676 | | 0,095 | | 0,031 | |
| | Класс | 3 | 3 | | 2 | | 1 | |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | 0,03 | | 0,001 | | 0,0012 | |
| 38 | $M_i$, *т/год* | 718 | | 1000 | | 0,103 | | 0,77 |
| | Класс | 3 | | 3 | | 2 | | 1 |
| | ПДК, мг/м$^3$ | 0,05 | | 0,04 | | 0,0015 | | 0,001 |

### *Контрольные вопросы*

1. Как классифицируются химические вещества в зависимости от их практического использования?
2. Как классифицируются вредные вещества по степени опасности?
3. Дайте определение предельно допустимой, максимально разовой, среднесуточной концентрации.
4. Как классифицируются вредные вещества по воздействию на организм человека?
5. Какими принципами руководствуются при установлении ПДК и ПДУ?
6. По каким показателям происходит нормирование негативных факторов?
7. К каким профессиональным заболеваниям приводит воздействие аэрозолей?
8. Какие формы отравлений токсичными веществами Вы знаете?
9. Как осуществляется гигиеническое нормирование содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны?
10. В чем заключается комбинированное действие вредных веществ на человека, и каковы его виды?
11. Что такое эффект суммации и какие вредные вещества им обладают?

## Практическое занятие № 7

## Порядок расчета массы загрязняющих веществ, выносимых неорганизованным стоком и расчет платы за загрязнение окружающей среды

### *Цель и содержание работы*

Освоить порядок расчета массы загрязняющих веществ, выносимых неорганизованным поверхностным стоком и расчета платы за загрязнение окружающей среды.

Поверхностный сток с территории промышленных предприятий и организаций следует подвергать очистке в соответствии с «СП 32.13330.2012. Свод правил. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85» (утв. Приказом Минрегиона России от 29.12.2011 N 635/11) (ред. от 30.12.2015), и отводить через организованный выпуск. Сброс поверхностных сточных вод подлежит нормированию независимо от способа их отведения (организованно или неорганизованно) и типа водоприемника (водный объект, рельеф местности). Сброс загрязняющих веществ со сточными водами в водные объекты и на рельеф местности допускается в соответствии с Федеральным законом "Об охране окружающей среды" на основе "Разрешения на сброс загрязняющих веществ".

Объем, выносимых поверхностных стоков с территории промышленных предприятий, определяется согласно Приказа Минстроя РФ от 17.10.2014 №639/ПР «Об утверждении методических указаний по расчету объема принятых (отведенных) поверхностных сточных вод».

## Теоретические положения

Под неорганизованным сбросом загрязняющих веществ подразумевается вынос загрязняющих веществ с территории водосбора предприятий и организаций и прилегающей инфраструктуры, относящейся к промплощадкам, неорганизованным поверхностным стокам (отведение дождевых, талых и поливочных вод за пределы территорий предприятий по естественному уклону местности в кюветы дорог, овраги, непосредственно в реки, ручьи, пруды и иные водные объекты, либо в ливневую канализацию соседних предприятий и организаций).

Неорганизованный сброс загрязняющих веществ с территории предприятий и организаций и расчет платы за загрязнение окружающей среды осуществляется на основе разрешения, выдаваемого территориальным уполномоченным органом в области охраны окружающей среды Российской Федерации. При отсутствии у природопользователя разрешения на неорганизованный сброс загрязняющих веществ, оформленного в установленном порядке, размер платы за него рассчитывается как для условий сверхлимитного сброса.

Принадлежность предприятия или организации к числу загрязнителей окружающей среды поверхностным стоком с подведомственной территории определяется в индивидуальном порядке исходя из наличия передвижных или стационарных источников (включая эродированные поверхности) поступления в дождевые, талые и поливочные воды загрязняющих веществ производственного или хозяйственно-бытового происхождения по предъявлению технологического регламента, материального баланса или иных документов, характеризующих хозяйственную деятельность предприятия.

Масса сброса загрязняющего вещества с неорганизованным стоком с территории (водосбора) природопользователя определяется по формуле:

$$M_i = S \cdot \left(W_{\text{д}} \cdot m_{i\text{д}} + W_{\text{т}} \cdot m_{i\text{т}}\right) \cdot 10^{-6} + S_{\text{п}} \cdot W_{\text{п}} \cdot m_{i\text{п}} \cdot 10^{-6}, \qquad (7.1)$$

где: $S$ – площадь территории (водосбора) природопользователя, га;

$W_{\text{д}}$, $W_{\text{т}}$, $W_{\text{п}}$ – объем стока соответственно дождевых, талых и поливомоечных вод, м$^3$/га;

$m_{i\text{д}}$ , $m_{i\text{т}}$ , $m_{i\text{п}}$ – концентрация i-го загрязняющего вещества в стоке (соответственно дождевых, талых и поливомоечных вод, мг/л);

$S_{\text{п}}$ – площадь водонепроницаемых покрытий (асфальтобетонное покрытие), подвергающихся мокрой уборке, га.

Площади водонепроницаемых покрытий и общая площадь территории природопользователя, на которой формируется загрязненный поверхностный

сток, определяются по данным генерального плана землеустройства.

Объем стока дождевых вод определяется:

$$W_{д} = 2{,}5 \cdot H_{д} \cdot K_{q} \cdot K_{вн}, \quad (7.2)$$

где: $H_{д}$ – слой осадков за теплый период со средними температурами выше 0°С, определяется по данным метеорологических наблюдений территориального органа Гидрометеослужбы, мм. Для г. Казань $H_{д} = 373$ мм.

$K_{q}$ – коэффициент, учитывающий объем стока дождевых вод в зависимости от интенсивности дождя для данной местности продолжительностью 20 мин. При периоде однократного превышения расчетной интенсивности дождя равном 1 году ( $q_{20}$ ), определяется по данным нижеприведенной таблицы.

| $q_{20}$ | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 120 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $K_{q}$ | 0,96 | 0,91 | 0,87 | 0,82 | 0,78 | 0,75 | 0,71 | 0,68 | 0,65 | 0,60 |

Значение $K_{q}$ для Республики Татарстан принимается равным 0,71.

$K_{вн}$ – коэффициент, учитывающий интенсивность формирования дождевого стока в зависимости от степени распространения водонепроницаемых поверхностей $П_{вн}$ (кровли зданий, дороги, площадки, тротуары и т.н.) на площади водосбора, определяется по данным нижеприведенной таблицы.

| $П_{вн}$ | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $К_{вн}$ | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,2 |

Значение $П_{вн}$ (%) определяется как отношение площади водонепроницаемых поверхностей к общей площади территории природопользователя.

$$П_{вн} = \left(S_{п}/S_{общ}\right) \cdot 100\%. \quad (7.3)$$

При определении коэффициента $K_{вн}$ для промежуточных значений $П_{вн}$, не отраженных в данной таблице, к меньшему показателю границы диапазона за каждый дополнительный процент добавляется 0,02.

Объем стока талых вод определяется:

$$W_{т} = H_{т} \cdot K_{т} \cdot K_{п}, \quad (7.4)$$

где: $H_{т}$ – слой осадков за холодный период со средними температурами ниже 0°С, определяется по данным метеорологических наблюдений территориального органа Гидрометеослужбы, мм. Для г. Казань $H_{т} = 135$ мм.

$K_т$ – коэффициент, учитывающий объем стока талых вод в зависимости от условий снеготаяния, определяется по нижеприведенной таблице.

| Зоны по условиям весеннего стока талых вод | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| Значение коэффициента $K_т$ | 0,47 | 0,56 | 0,69 | 0,77 |

Значение $K_т$ для Республики Татарстан принимается равным 0,47.

$K_п$ – коэффициент, учитывающий вывоз снега с территории природопользователя. При отсутствии вывоза коэффициент принимается равным 10 с уменьшением его значения пропорционально объему вывоза снега.

Объем стока поливомоечных вод определяется:

$$W_п = 10 \cdot q \cdot N \cdot K_{пм}, \quad (7.5)$$

где $q$ – расход воды на одну поливку (мойку) твердых покрытий за отчетный период принимается по данным учета или в размере 1,2 л/кв.м.;

$N$ – количество поливок (моек) в год принимается по данным учета или в соответствии с нормативными документами, регламентирующими правила эксплуатации промплощадок. Для расчетов принять N=100.

$K_{пм}$ – коэффициент стока поливомоечных вод принимается равным 0,5.

При осуществлении природопользователем контроля и учета сброса поверхностного стока с территории его объем принимается на основе фактических данных.

При отсутствии учета расхода воды на полив (мойку) территорий, подвергающихся мокрой уборке, годовой объем стока поливомоечных вод устанавливается равным 200 м$^3$/га. При этом в расчете поливомоечных стоков для конкретного предприятия участвует вся территория с водонепроницаемым покрытием, т.е. покрытая асфальтом, бетоном и т.п.

Общий объем или составляющие поверхностного стока ($W_д$+$W_т$+$W_п$) уменьшаются на величину его использования природопользователем в системе технического водоснабжения.

***Предельно допустимую массу неорганизованного сброса загрязняющих веществ*** рекомендуется рассчитывать при уровне содержания в дождевых, талых и поливочных водах основных загрязняющих веществ (взвешенных веществ, нефтепродуктов, легкоокисляемых органических соединений по БПК и ХПК, сульфатов, хлоридов, общего и аммонийного азота, нитратов, нитритов, соединений калия, магния, железа, меди, никеля, цинка, фосфора), не превышающем их средние фоновые концентрации в поверхностном стоке на застроенных участках с высоким уровнем благоустройства.

***Массу неорганизованного сброса загрязняющих веществ в пределах установленных лимитов*** рекомендуется рассчитывать при уровне содержания в дождевых, талых и поливочных водах основных загрязняющих веществ,

превышающем их средние фоновые концентрации в поверхностном стоке на застроенных участках с высоким уровнем благоустройства, либо при наличии специфических загрязняющих веществ. При этом особое внимание рекомендуется уделять токсичным веществам, которые в значительных количествах содержатся в исходном сырье, используемом в производстве.

При наличии производственного или государственного аналитического контроля фактические концентрации загрязняющих веществ для определения массы их сброса в стоке дождевых, талых и поливомоечных вод принимаются по его результатам, а плановые (нормативные) концентрации загрязняющих веществ для определения предельно допустимой и в пределах лимита масс их сброса рекомендуется принимать на основании данных таблиц 7.1 и 7.2.

При отсутствии аналитическою контроля за поверхностным стоком плановые (нормативные) концентрации загрязняющих веществ, в обязательном порядке включаемые в расчет для всех природопользователей для определения предельно допустимой и в пределах лимита масс их сброса, принимаются на основании данных таблиц 7.1 и 7.2, а фактические концентрации загрязняющих веществ, на уровне принимаемых для определения массы их сброса в пределах лимита.

Для природопользователей, которые по условиям производства в полной мере не могут (обратное подтверждается данными аналитического контроля) исключить поступление в поверхностный сток специфических веществ с высокотоксичными свойствами (предприятия цветной металлургии, горнодобывающей, химической, лесохимической, целлюлозно-бумажной, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, кожевенные заводы, мясокомбинаты, электростанции, работающие на угле), в расчетах рекомендуется учитывать примеси, специфические для данного производства.

*Таблица 7.1*

Концентрации основных загрязняющих веществ в поверхностном стоке на застроенных участках территории, принимаемые для расчета масс загрязнений в пределах допустимых нормативов (мг/л)

| | Дождевые воды | Талые воды | Поливочные воды |
|---|---|---|---|
| Взвешенные вещества | 250 | 3500 | 500 |
| Нефтепродукты | 10 | 30 | 30 |
| БПК | 30 | 90 | 100 |
| ХПК | 100 | 250 | 100 |
| Сульфаты | 100 | 500 | 100 |
| Хлориды | 200 | 1500 | 200 |
| Азот аммонийный | 2 | 4,3 | 2 |
| Азот общий | 4,9 | 10,5 | 4,9 |
| Нитраты | 0,08 | 0,17 | 0,08 |
| Нитриты | 0,08 | 0,17 | 0,08 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Кальций | 43 | 113 | 43 |
| Магний | 8 | 14 | 8 |
| Железо | 0,3 | 1,7 | 0,3 |
| Медь | 0,02 | 0,076 | 0,02 |
| Никель | 0,01 | 0,02 | 0,01 |
| Цинк | 0,3 | 0,55 | 0,3 |
| Фосфор общий | 1,08 | 1,08 | 1,08 |

Концентрации основных загрязняющих веществ и специфических примесей в поверхностном стоке с территорий предприятий некоторых отраслей промышленности для расчета масс загрязнений в пределах установленных лимитов

*Таблица 7.2*

| | Переработка полиметаллических руд | | Производство алюминия | Производство минеральных удобрений | Производство синтетического каучука | Электро-станции, работающие на угле |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Обогащение руд | Производство металлов | | | | |
| **Концентрации основных веществ, мг/л** | | | | | | |
| Взвешенные вещества | 6000 | 4500 | 4500 | - | 4500 | 6000 |
| Нефтепродукты | 50-60 | 50-60 | 50-60 | - | 50-60 | 50-60 |
| БПК | - | - | - | - | 500 | - |
| ХПК | - | - | - | - | 3700 | - |
| азот общий | - | - | - | 110 | - | - |
| фосфор общий | - | - | - | 50 | - | - |
| цинк | 15-38 | 0,8-3,0 | - | - | - | - |
| медь | 0,6-2,3 | - | - | - | - | - |
| магний | 38-73 | 45-64 | 38-220 | - | - | - |
| хлориды | - | 5000-6000 | 3300-4100 | - | - | - |
| **Концентрации специфических примесей, мг/л** | | | | | | |
| фенолы | - | - | - | - | 21,5-22,0 | 0,006-0,03 |
| диметилсульфид | - | - | - | - | - | - |
| сульфиты | - | - | - | - | - | - |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| смолы | - | - | - | - | - | - |
| скипидар | - | - | - | - | - | - |
| СПАВ | - | - | - | - | - | - |
| формальдегид | - | - | - | - | - | - |
| бензол | - | - | - | - | - | - |
| толуол | - | - | - | - | до 0,2 | - |
| стирол | - | - | - | - | до 0,6 | - |
| ацетальдегид | - | - | - | - | до 26,7 | - |
| ацетон | - | - | - | - | до 8,0 | - |
| этилбензол | - | - | - | - | до 0,2 | - |
| аммиак | - | - | - | 100 | - | - |
| жиры, масла | - | - | - | - | - | - |
| фтор | - | 18-445 | 90-550 | 10 | - | 3,1-5,0 |
| мышьяк | - | до 37,5 | - | - | - | 0,03-0,05 |
| хром | - | - | - | - | 0,01 | - |
| свинец | 1,5-1,7 | 0,4-0,6 | - | - | - | - |
| титан | 1,5 | 1,5 | - | - | - | - |
| ванадий | - | - | - | - | - | 0,8-0,95 |
| тетраэтилсвинец | - | - | - | - | - | - |

Продолжение таблицы 7.2

| | Лесохимические заводы | Целлюлозно-бумажные комбинаты | Нефтехимические комбинаты | Кожевенные заводы | Мясокомбинаты |
|---|---|---|---|---|---|
| **Концентрации основных веществ, мг/л** | | | | | |
| Взвешенные вещества | 4500 | 4500 | 4500 | 6000 | 6000 |
| Нефтепродукты | 50-60 | 50-60 | 50-60 | 50-60 | 50-60 |
| БПК | 600 | 135 | 300 | 390 | 150-1100 |
| ХПК | 1000 | 350 | 920 | 1500 | 2830 |
| азот общий | - | - | - | - | 200 |
| фосфор общий | - | - | - | - | 60 |
| цинк | - | - | - | - | - |
| медь | - | - | - | - | - |
| магний | - | - | - | - | - |
| хлориды | - | - | - | - | - |
| **Концентрации специфических примесей, мг/л** | | | | | |
| фенолы | 0,08-15,0 | 0,06 | до 0,3 | до 0,5 | - |
| диметилсульфид | 0,4 | 13-15 | - | - | - |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| сульфиты | - | до 100 | - | - | - |
| смолы | 150-300 | - | - | - | - |
| скипидар | 0,5-5 | - | - | - | - |
| СПАВ | - | - | 0,2-0,7 | 43 | - |
| формальдегид | - | - | 0,3-0,6 | - | - |
| бензол | - | - | до 200 | - | - |
| толуол | - | - | до 20 | - | - |
| стирол | - | - | до 0,5 | - | - |
| ацетальдегид | - | - | - | - | - |
| ацетон | - | - | - | - | - |
| этилбензол | - | - | - | - | - |
| аммиак | - | - | - | - | 27-34 |
| жиры, масла | - | - | - | 270 | 100-453 |
| фтор | - | - | - | - | - |
| мышьяк | - | - | - | - | - |
| хром | - | - | - | 30 | - |
| свинец | - | - | - | - | - |
| титан | - | - | - | - | - |
| ванадий | - | - | - | - | - |
| тетраэтилсвинец | - | - | - | - | - |

Окончание таблицы 7.2

| | Предприятия прочих отраслей промышленности | Строительные площади | Автотранспортные и торгово-складские организации |
|---|---|---|---|
| **Концентрации основных веществ, мг/л** | | | |
| Взвешенные вещества | 2000 | 6000 | 2000 |
| Нефтепродукты | 50-60 | 90 | 90 |
| БПК | 210 | 210 | 210 |
| ХПК | 500 | 500 | 500 |
| азот общий | - | - | - |
| фосфор общий | - | - | - |
| цинк | - | - | - |
| медь | - | - | - |
| магний | - | - | - |
| хлориды | - | - | - |
| **Концентрации специфических примесей, мг/л** | | | |
| фенолы | - | - | - |
| диметилсульфид | - | - | - |
| сульфиты | - | - | - |

| | | | |
|---|---|---|---|
| смолы | - | - | - |
| скипидар | - | - | - |
| СПАВ | - | - | - |
| формальдегид | - | - | - |
| бензол | - | - | - |
| толуол | - | - | - |
| стирол | - | - | - |
| ацетальдегид | - | - | - |
| ацетон | - | - | - |
| этилбензол | - | - | - |
| аммиак | - | - | - |
| жиры, масла | - | - | - |
| фтор | - | - | - |
| мышьяк | - | - | - |
| хром | - | - | - |
| свинец | - | - | - |
| титан | - | - | - |
| ванадий | - | - | - |

### *Требования к отчету*

Результаты практической работы оформляются в виде отчета, в котором должны быть изложены:

- наименование и вариант работы;
- исходные данные для расчетов;
- методика расчетов с результатами вычислений;
- общее заключение по результатам работы.

### *Пример расчета*

Пример расчета массы сброса загрязняющих веществ с дождевыми, талыми и поливомоечными водами для урбанизированных территорий.

Общая площадь территории природопользователя (г. Казань), S=2 га. Общая площадь водонепроницаемых покрытий составляет 1,04 га. Площадь водонепроницаемых покрытий, подвергающихся мокрой уборке ($S_п$) составляет 0,3 га (асфальт).

Рассчитаем объем стока дождевых и талых вод с 1 га территории (формулы 7.2, 7.4)

$H_д$ = 373 мм; $H_т$ = 135 мм,

$K_{вн} = 1{,}24$, (т.к. согласно табл. 7.1 при $П_{вн} = 1{,}04 : 2 \cdot 100 = 52\%$, $K_{вн} = 1{,}2 + (0{,}02 \cdot 2) = 1{,}24$);

$$W_д = 2{,}5 \cdot H_д \cdot K_q \cdot K_{вн} = 2{,}5 \cdot 373 \cdot 0{,}71 \cdot 1{,}24 = 820{,}97 \text{ м}^3/\text{га};$$

$$W_т = H_т \cdot K_т \cdot K_п = 135 \cdot 0{,}47 \cdot 10 = 634{,}5\ м^3/га.$$

Т.к. учет количества поливов и расхода воды на полив не производился, принимаем объем поливомоечных стоков равным: $W_п = 200\ м^3/га$.

Производим расчет сброса каждого загрязняющего вещества со всей территории предприятия по формуле 7.1. Для взвешенных веществ:

$$M_1 = S \cdot \left(W_д \cdot m_{iд} + W_т \cdot m_{iт}\right) \cdot 10^{-6} + S_п \cdot W_п \cdot m_{iп} \cdot 10^{-6} =$$

$$= 2 \cdot (820{,}97 \cdot 250 + 634{,}5 \cdot 3500) \cdot 10^{-6} + 0{,}3 \cdot 200 \cdot 500 \cdot 10^{-6} = 4{,}882\ т/год.$$

Расчет массы сброса остальных загрязняющих веществ произведен аналогично приведенному выше расчету и представлен в таблице 7.3.

*Таблица 7.3*

| Наименование загрязняющего вещества | Концентрация вещества, мг/л | | | Масса сброса, т/год |
|---|---|---|---|---|
| | Дождевые воды | Талые воды | Полив. Воды | |
| | $W_д = 820{,}97$ $м^3/га$ | $W_т = 634{,}5$ $м^3/га$ | $W_п = 200$ $м^3/га$ | |
| Взв.вещества | 250 | 3500 | 500 | 4,882 |
| БПКп | 30 | 90 | 100 | 0,169 |
| Нефтепродукты | 10 | 30 | 30 | 0,056 |
| Сульфаты | 100 | 500 | 100 | 0,805 |
| Хлориды | 200 | 1500 | 200 | 2,224 |
| Азот аммонийный | 2 | 4,3 | 2 | 0,009 |
| Нитраты | 0,08 | 0,17 | 0,08 | 0,0004 |
| Нитриты | 0,08 | 0,17 | 0,08 | 0,0004 |
| Кальций | 43 | 113 | 43 | 0,217 |
| Магний | 8 | 14 | 8 | 0,032 |
| Железо | 0,3 | 1,7 | 0,3 | 0,003 |
| Медь | 0,02 | 0,076 | 0,02 | 0,0001 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Никель | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,00004 |
| Цинк | 0,3 | 0,55 | 0,3 | 0,001 |
| фосфор | 1,08 | 1,08 | 1,08 | 0,003 |

Нормативы предельно допустимого сброса для данной территории устанавливаются на уровне показателей, указанных в графе 5.

## Практическая часть

Рассчитать массу загрязняющих веществ, выносимых с территории предприятия (по вариантам из таблицы 7.4), используя формулы 7.1-7.5.

*Таблица 7.4*

Исходные данные

| № | Отрасль промышленности | Общая площадь предприятия (S), га | Площадь кровли, га | Площадь асфальто-бетонных покрытий, га | Площадь грунтовых покрытий, га | Площадь газонов, га |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Банк №1 | 0,0968 | 0,0780 | 0,0038 | 0,0000 | 0,0150 |
| 2 | Стройплощадка №1 | 1,1100 | 0,0600 | 0,0000 | 1,0500 | 0,0000 |
| 3 | АЗС-1 | 0,4000 | 0,0670 | 0,3100 | 0,0000 | 0,0230 |
| 4 | Магазин №1 | 0,7480 | 0,6730 | 0,0750 | 0,0000 | 0,0000 |
| 5 | Авторынок | 0,4970 | 0,0840 | 0,3760 | 0,0370 | 0,0000 |
| 6 | Автостоянка | 2,3590 | 0,0090 | 2,3500 | 0,0000 | 0,0000 |
| 7 | ТЭЦ-1 | 5,8589 | 1,4760 | 2,5697 | 0,9567 | 0,8565 |
| 8 | Вертолетный завод | 5,8925 | 1,5400 | 3,8700 | 0,4760 | 0,0065 |
| 9 | АЗС-2 | 0,5120 | 0,0560 | 0,4500 | 0,0000 | 0,0060 |
| 10 | Оптовый рынок | 2,4290 | 1,0750 | 1,3540 | 0,0000 | 0,0000 |
| 11 | Овощебаза | 0,9600 | 0,9000 | 0,0600 | 0,0000 | 0,0000 |
| 12 | Автохозяйство | 0,0695 | 0,0485 | 0,0190 | 0,0020 | 0,0000 |
| 13 | Банк №2 | 0,0120 | 0,0090 | 0,0030 | 0,0000 | 0,0000 |
| 14 | ТЭЦ-2 | 2,1908 | 0,1320 | 2,0040 | 0,0078 | 0,0470 |
| 15 | Магазин №2 | 0,0255 | 0,0165 | 0,0040 | 0,0000 | 0,0050 |
| 16 | Котельная | 0,0135 | 0,0080 | 0,0050 | 0,0000 | 0,0005 |
| 17 | Автосервис | 0,1794 | 0,0044 | 0,0900 | 0,0850 | 0,0000 |
| 18 | Офисное здание | 0,4560 | 0,3890 | 0,0630 | 0,0000 | 0,0040 |
| 19 | Автомойка | 0,0620 | 0,0120 | 0,0500 | 0,0000 | 0,0000 |
| 20 | Издательство | 0,0870 | 0,0540 | 0,0290 | 0,0000 | 0,0040 |
| 21 | Банк №3 | 0,0617 | 0,0187 | 0,0400 | 0,0000 | 0,0030 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 22 | Стройплощадка №2 | 0,4900 | 0,0030 | 0,0050 | 0,4820 | 0,0000 |
| 23 | Офис-продаж | 0,0330 | 0,0270 | 0,0060 | 0,0000 | 0,0000 |
| 24 | Электромеханический завод | 2,3785 | 1,0360 | 1,2860 | 0,0285 | 0,0280 |
| 25 | Асфальтобетонный завод | 2,4220 | 0,0280 | 2,3940 | 0,0000 | 0,0000 |
| 26 | Склад ГСМ | 0,0380 | 0,0000 | 0,0340 | 0,0040 | 0,0000 |
| 27 | Офис-центр | 0,2055 | 0,1900 | 0,0070 | 0,0000 | 0,0085 |
| 28 | Банк №4 | 0,0915 | 0,0837 | 0,0070 | 0,0000 | 0,0008 |
| 29 | Автовокзал | 1,8845 | 0,1940 | 1,6830 | 0,0000 | 0,0075 |
| 30 | Ипподром | 4,6007 | 0,0987 | 0,1380 | 2,8640 | 1,5000 |

***Контрольные вопросы***

1. Что следует понимать под неорганизованным сбросом загрязняющих веществ?
2. На основе какого документа природопользователем осуществляется неорганизованный сброс загрязняющих веществ с территории предприятия?
3. Как определяется принадлежность предприятия к числу загрязнителей окружающей среды поверхностным стоком?
4. Как определяется предельно допустимая масса неорганизованного сброса загрязняющих веществ?
5. Природопользователям каких предприятий в расчетах массы загрязняющих веществ необходимо учитывать примеси, специфические для данного производства?

## Практическое занятие № 8

## Расчет объема выброса загрязняющих веществ в литосферу в период строительства

***Цель и содержание работы***

Освоить порядок расчета объема образования твердых отходов, образующихся на строительной площадке в период строительств

Согласно требованиям статьи 19 Федерального закона от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» (ред. 03.07.2016) закон обязывает юрлиц и индивидуальных предпринимателей, осуществляющих деятельность в области обращения с отходами, вести в установленном порядке учёт образовавшихся отходов. Порядок учёта в области обращения с отходами утвержден приказом Минприроды России от 08.12.2020 № 1028. Он устанавливает требования к организации и ведению учёта образовавшихся,

обработанных, утилизированных, обезвреженных, переданных другим лицам или полученных от других лиц, а также размещённых отходов.

## Теоретические положения

Строительство оказывает существенное негативное влияние и на почву, т.е. на литосферу. Негативное влияние выражается прежде всего в виде образования отходов строительства, ремонта или бытовых отходов существования объекта.

В строительном производстве есть такие понятия как отходы и потери строительных материалов.

Отходы – это остатки материалов, которые не могут быть использованы при изготовлении данной продукции, но могут использоваться при производстве какой-либо другой продукции, как вторичный ресурс.

К потерям относится часть строительных материалов, утрачиваемая безвозвратно.

Строительство занимает второе место по объему твердых отходов, образующихся из остатков стройматериалов. В строительстве ежегодно теряется свыше тысячи тонн металла, треть стекла, до 10 % цемента, треть отходов древесины и огромный объем каменных материалов.

Большие потери вяжущих материалов возникают из-за плохой организации их перевозки, разгрузки и хранения.

Много теряется раствора и бетонной смеси при перевозке в неплотных кузовах, разгрузке непосредственно на землю, а также при плохой организации поставки и использования. Не израсходованные своевременно материалы «схватываются» и их выбрасывают, иногда даже вместе с емкостями.

Потери кирпича связаны с транспортировкой его без поддонов (17 % кирпича превращается в бой и идет в отходы, а 40 % из оставшейся части в той или иной степени повреждается). Перевозка кирпича на поддонах полностью его сохраняет.

На стройках образуется много битого стекла. Главная причина этого – несовершенство тары, значительны отходы стекла при его резке.

Большие потери древесины связаны с ее переработкой.

Таким образом, основными видами строительных отходов могут быть:

- вяжущие и заполнители (цемент, известь, песок, щебень и др.);
- бетонные смеси и строительные растворы;
- битые кирпич, стекло, фундаментные блоки и другие конструкции;
- продукты переработки пиломатериалов (опилки, щепа, стружка);
- металл - в виде отходов переработки арматуры;
- неиспользованный асфальтобетон;
- остатки и неиспользуемые материалы при отделочных работах.

Потоки строительных отходов оседают в окрестности городов на свалках. Другая часть отходов "погребается" прямо на месте строительства, а горючая часть здесь же сжигается в кострах, загрязняя атмосферу. Сваленные и погребенные отходы постепенно растворяются под воздействием атмосферных

осадков и грунтовых вод и загрязняют водные ресурсы. Строительные отходы также сокращают фитоценоз и нарушают условия жизнедеятельности, нарушают экологию подстилающей поверхности.

Отходы и потери стройматериалов по месту своего возникновения подразделяются на четыре основные группы:

1. Транспортные.
2. Складские.
3. Возникающие при переработке материалов.
4. Монтажные.

Важнейшими направлениями сокращения отходов стройматериалов в строительстве и предотвращения загрязнения окружающей среды являются следующие технические и организационные решения.

1. Безотходная технология, которая предусматривает максимальное использование вторичных ресурсов.
2. Повышение уровня сборности строительства. Достижение повышенной заводской готовности сборных конструкций, приводящей к минимальным объемам отделочных работ на строительной площадке.
3. Повышение качества строительных работ, которое в большой степени обеспечивается поставкой на стройплощадку качественных материалов, конструкций, полуфабрикатов. Соблюдение правил транспортировки, загрузки, разгрузки и хранения материалов и конструкций. При погрузке и разгрузке должны использоваться специализированные погрузочно-разгрузочные средства и механизмы (пневмоперегружатели, автопогрузчики, автобетононасосы и т.д.). При перевозке материалов и конструкций необходимо использовать специализированные транспортные средства (автобетоносмесители, панелевозы, цементовозы, плитовозы и т.д.).
4. Внедрение комплексной системы контейнеризации доставки, хранения и использования материалов (кирпич, стекло, пиломатериалы, цемент и т.д.).

Наряду с контейнеризацией поставки и хранения стройматериалов, важно применять контейнеры и для строительных отходов. Обычно эти отходы и остатки материалов бросают на пол, устраивают свалки на стройплощадке, запыляют территорию вокруг стройплощадки и т.д. Потом весь этот строительный мусор убирают, затрачивая много труда. Поэтому контейнеризация строительных отходов упрощает и удешевляет их сбор для вывоза или для вторичного использования. Это повышает культуру производства, сохраняет вторичные ресурсы от уничтожения и предотвращает загрязнение ими окружающей природной среды.

Образующиеся на стройках отходы могут являться ценным вторичным ресурсом. Вторичные ресурсы – это материалы, которые не добываются из недр земли, а получают путем специальной переработки из отходов строительства.

Строительство – крупнейший потребитель древесины в стране. При ее переработке отходы составляют треть используемого сырья (кора, стружка, щепа, опилки). Поэтому образующиеся на стройках отходы древесины

целесообразно сохранять и перерабатывать для производства древесноволокнистых плит, древесностружечных плит, арболита и т.д.

Битое стекло – ценное вторичное сырье для производства стеклянного листа, посуды, стеклопрофилита, стекловаты и т.д.

Ценным вторичным материалом являются отработанные автомобильные покрышки, которые выбрасывают или, в лучшем случае, сжигают, используя как топливо. А это ценное сырье для производства различных стройматериалов – небьющийся шифер, релин – вид линолеума, резинокордовые плиты и т.д.

Битый кирпич, как вторичное сырье, годен на щебень для основания под бетонные полы, как заполнитель некоторых видов бетонов и т.д.

Ценное сырье образуется от замены и ремонта асфальтобетонных покрытий. По данным исследований в год в стране направляется на свалки более миллиона тонн асфальтобетона, содержащего не менее 3-5 тыс. т. битума, песка, гравия и других материалов. При дроблении асфальтобетона вместе с другими каменными материалами (известняком, гранитом, старым бетоном) получается новый ценный материал. Его можно использовать для оснований новых дорог, плит тротуаров, дворовых площадок и т. д.

Методика расчета нормативов образования отходов, принятая Департаментом природопользования и охраны окружающей среды «Об утверждении Методических указаний по разработке проектов нормативов образования отходов и лимитов на их размещение» Приказ от 29.06.2016 №05-09-137/16 позволяет рассчитать количество образующихся отходов при строительстве жилых и общественных зданий, проведении капитальных и текущих ремонтных работ, а также позволяет выявить полный перечень образующихся основных отходов при проведении этих работ.

***Воздействия в период строительства***

Количество образующихся отходов определяется по видам выполненных работ за отчетный период по следующей формуле:

$$M_{oi} = P_{\text{м}i} \cdot H_{oi}, \tag{8.1}$$

где $M_{oi}$ – количество образующихся отходов $i$-го вида, т;

$P_{\text{м}i}$ – расход материала одного вида, т (определяется по смете расходов),

$$P_{\text{м}i} = 0{,}01 \cdot V_{\text{м}} \cdot x_{pi}, \tag{8.2}$$

где $V_{\text{м}}$ – количество используемого материала, м$^3$;

$x_{pi}$ – плотность материала, кг/м$^3$ (табл. 8.1)

$H_{oi}$ – нормы отходов и потерь материалов %, принимаются по отдельным видам работ (табл. 8.2). При определении норм образования отходов

по готовому объекту коэффициенты образования отходов строительных материалов принимаются также по табл. 8.2.

*Таблица 8.1*

Ориентировочная средняя плотность строительных материалов

| Материалы | Плотность, кг/м$^3$ | |
|---|---|---|
| | Пределы колебаний | Средняя расчетная величина |
| Асфальт | 1200-1540 | 1350 |
| Асфальтобетон | 2000-2450 | 2200 |
| Асбофанера | 11 | 11 |
| Бетонная смесь: | | |
| с гравием | 2000-2400 | 2200 |
| шлаковая | 1000-1700 | 1500 |
| с керамзитовым гравием | 1000-1400 | 1200 |
| Битум | 1000 | 1000 |
| Брусчатка (камень) | 1700-2900 | 1900 |
| Войлок минеральный | 150-300 | 250 |
| Гипсовые плиты | 1100-1400 | 1200 |
| Гипсобетон | 400-1900 | 750 |
| Глина: | | |
| свежая комоватая | 1100-2700 | 2000 |
| сухая, куски | 1000-1800 | 1500 |
| Раствор строительный на шлаковом песке | 1600-2000 | 1800 |
| Портландцемент | 1100-1300 | 1250 |
| Цемент пуццалановый | 850-1150 | 950 |
| Шлак: | | |
| гранулированный | 500-900 | 750 |
| доменный (щебень) | 1200-2900 | 1600 |
| котельный | 700-1000 | 750 |
| Щебень: | | |
| кирпичный | 1200-1350 | 1270 |
| гранитовый | 1500-1800 | 1600 |
| бутовый | 1400-1700 | 1600 |
| из легкого ракушечника | 600-700 | 650 |
| из известнякового туфа | 650-850 | 700 |
| Гравий: | | |
| гранитный | 1600-1850 | 1600-1700 |
| речной и галька | 1500-1800 | |
| Доски: | | |
| дубовые | 710-870 | 850 |

| | | |
|---|---|---|
| сосновые и еловые | 470-650 | 600 |
| Железо: | | |
| листовое, кровельное | 3000-4500 | 4000 |
| полосовое | 1750-2440 | 2150 |
| Земля: | | |
| рыхлая влажная | 1620-1780 | 1700 |
| сухая | 1120-1280 | 1200 |
| смерзшаяся | 1300-1500 | 1400 |
| утрамбованная | 1450-1600 | 1400 |
| Известь: | | |
| гашеная, порошок | 500-550 | 500 |
| комовая | 800-1100 | 950 |
| гидравлическая в рыхлом состоянии | 450-800 | 600 |
| негашеная молотая | 800-950 | 850 |
| известковое тесто | 1300-1700 | 1400 |
| Камень (в штабеле) | | |
| базальт | 2200-2800 | 2600 |
| бордюрный | 2300-2700 | 2600 |
| булыжный | 1700-2200 | 1800 |
| бутовый | 1600-1900 | 1700 |
| ракушечный | 1100-1400 | 1200 |
| Керамзитобетон | 350-1800 | 1000 |
| Керамзитовый гравий | 500-900 | 700 |
| Лес: | | |
| круглый хвойных пород сырой | 7500-850 | 820 |
| то же, сухой | 600-800 | 700 |
| брусья и бруски хвойных пород | 550-630 | 600 |
| Линолеум | 1100 | 1100 |
| Мел: | | |
| молотый | 950-1200 | 1000 |
| кусковой | 1200-1350 | 1300 |
| Мраморная крошка | 1500-1900 | 1700 |
| Мрамор | 2800 | 2800 |
| Паркет | 150-350 | 250 |
| Опилки | 250 | 250 |
| Оргалит | 300 | 300 |
| Пемза | 500-1400 | 950 |
| Пенобетон | 300-1000 | 650 |
| Пенопласт | 100-200 | 150 |
| Песок: | | |
| сухой | 1400-1700 | 1650 |

| | | |
|---|---|---|
| сырой<br>шлаковый | 1900-2000<br>700-900 | 1950<br>800 |
| Плиты древесноволокнистые | 150-600 | 500 |
| Плиты и плитки кислотоупорные | 2100-2350 | 2200 |
| Плитки:<br>метлахские<br>ксилолитовые | <br>1500-1700<br>1500-1700 | <br>1600<br>1600 |
| Раствор строительный на обыкновенном песке | 2000-2200 | 2100 |
| Сталь | 7850 | 7850 |
| Стекло | 2500 | 2500 |
| Фанера | 600 | 600 |
| Шлаковая вата | 200-300 | 250 |
| Бутовый камень | 1300-1900 | 1600 |
| Арматура | 7800 | 7800 |
| Силикатный кирпич | 1800-1950 | 1850 |
| Керамический кирпич | 1600-1900 | 1800 |
| Рубероид, толь | 600 | 600 |
| Изоляционная мастика | 999 | 999 |
| Гипсокартон | 800 | 800 |

*Таблица 8.2*

Сводная таблица норм образования отходов по готовому объекту

| Перечень строительных материалов и изделий | Единица измерения | Нормы отходов строительных материалов, % | Коэффициент образования отходов строительных материалов |
|---|---|---|---|
| Асфальтобетон монолитный | $м^3$ | 2 | 0,02 |
| Бетон монолитный | $м^3$ | 2 | 0,02 |
| Раствор строительный | $м^3$ | 2 | 0,02 |
| Песок строительный | $м^3$ | 3 | 0,03 |
| Щебень | $м^3$ | 1 | 0,01 |
| Арматура (сталь) классов AI, AIII, Вр-1 | кг | 1 | 0,01 |
| Кирпич строительный керамический | $м^3$ | 1,5 | 0,015 |
| Кирпич строительный силикатный<br>- при кладке стен и перегородок | $м^3$ | 1 | 0,01 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| -при кладке стен с простым и средним оформлением<br>- при кладке стен со сложным оформлением | | 1,5<br>2 | 0,015<br>0,02 |
| Кирпич строительный облицовочный<br>- при кладке стен и перегородок<br>-при кладке стен с простым и средним оформлением<br>- при кладке стен со сложным оформлением | $м^3$ | 1<br>1,5<br>2 | 0,01<br>0,015<br>0,02 |
| Блоки стеновые бетонные | $м^3$ | 1-2 | 0,01-0,02 |
| Блоки стеновые из ячеистого бетона | $м^3$ | 1-2 | 0,01-0,02 |
| Блоки стеновые гипсобетонные | | 1 | 0,01 |
| Пиломатериалы | $м^3$ | 1,5 | 0,015 |
| Лес | $м^3$ | 3 | 0,03 |
| Плиты древесноволокнистые | $м^3$ | 3 | 0,03 |
| Плиты цементностружечные | $м^3$ | 3 | 0,03 |
| Плиты гипсокартонные | $м^3$ | стены 6<br>потолок 3 | 0,06<br>0,03 |
| Блоки гипсобетонные | $м^3$ | 1 | 0,01 |
| Стекло листовое | $м^2$, кг | 5 | 0,05 |
| Линолеум | $м^2$ | 2 | 0,02 |
| Плитка керамическая для полов и стен | кг | 2 | 0,02 |
| Плитка из естественных материалов | кг | 2 | 0,02 |
| Плитка из искусственных материалов | кг | 2 | 0,02 |
| Мастика битумная | кг | 3 | 0,03 |
| Толь, рубероид, гидроизол | $м^2$ | 2 | 0,02 |
| Пенополистирол | $м^3$ | 3 | 0,03 |
| Асбестоцементные плиты | $м^2$ | 2 | 0,02 |
| Оцинкованное железо | кг | 2 | 0,02 |
| Краски полимерцементные | кг | 3 | 0,03 |
| Краски масляные | кг | 3 | 0,03 |
| Эмали | кг | 3 | 0,03 |
| Олифа | кг | 3 | 0,03 |
| Известь | кг | 3 | 0,03 |
| Мел | кг | 3 | 0,03 |
| Обои | $м^2$, рулон | 3 | 0,03 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Клей | кг | 3 | 0,03 |
| Мастики изоляционные | кг | 3 | 0,03 |
| Прокладки, уплотняющие | шт. | 3 | 0,03 |
| Бензин | л | 3 | 0,03 |
| Ацетон | л | | |
| Керосин | л | | |
| Сваи железобетонные | $м^3$ | 1 | 0,01 |
| Гравий керамзитовый | $м^3$ | 2 | 0,02 |
| Болты, гвозди строительные | кг | 1 | 0,01 |
| Плиты минераловатные | $м^3$ | 3 | 0,03 |
| Краски сухие | кг | 3 | 0,03 |
| Пакля | кг | 3 | 0,03 |
| Войлок строительный | $м^2$ | 3 | 0,03 |
| Наличники, плинтусы, поручни | п.м | 1 | 0,01 |

Исходные данные для расчета выброса загрязняющих веществ, образующихся от строительной деятельности представлены в табл. 8.3

*Таблица 8.3*

Исходные данные

| № варианта | Количество используемого материала, $V_м$, $м^3$ | Строительный материал | Нормы отходов строительных материалов, % |
|---|---|---|---|
| 1 | 42 | Бетон монолитный | 1,5 |
| | 15 | Бутовый камень | 1 |
| | 26 | Кирпич керамический | 1 |
| | 34 | Раствор строительный | 2 |
| 2 | 41 | Бетон монолитный | 1,5 |
| | 12 | Кирпич керамический | 1 |
| | 36 | Раствор строительный | 2 |
| | 11 | Известь порошок | 3 |
| 3 | 123 | Бетон монолитный | 1,5 |
| | 45 | Раствор строительный | 1 |
| | 23 | Бутовый камень | 1 |
| | 12 | Портландцемент | 0,9 |
| 4 | 9 | Битум | 3 |
| | 14 | Пенопласт | 3 |
| | 65 | Кирпич керамический | 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 39 | Раствор строительный | 2 |
| | 24 | Бетон монолитный | 1,5 |
| | 21 | Щебень кирпичный | 1 |
| 5 | 8 | Асфальтобетон | 2 |
| | 16 | Бетон монолитный | 1,5 |
| | 31 | Щебень | 1 |
| | 8 | Песок | 1 |
| 6 | 12 | Кирпич керамический | 1,5 |
| | 17 | Кирпич силикатный | 1 |
| | 11 | Раствор строительный | 2 |
| | 5 | Арматура | 1 |
| 7 | 120 | Раствор строительный | 2 |
| | 20 | Плитка из каменных, керамических материалов | 2 |
| | 16 | Арматура | 1 |
| | 9 | Мастика изоляционная | 3 |
| 8 | 12 | Доски сосновые | 3 |
| | 11 | Железо листовое кровельное | 2 |
| | 76 | Рубероид | 3 |
| | 43 | Мастика изоляционная | 3 |
| | 68 | Раствор строительный | 2 |
| 9 | 87 | Бетон монолитный | 2 |
| | 21 | Арматура | 1 |
| | 43 | Доски сосновые | 3 |
| | 65 | Раствор строительный | 2 |
| 10 | 41 | Кирпич силикатный | 1 |
| | 13 | Раствор строительный | 2 |
| | 45 | Доски сосновые | 3 |
| | 23 | Гипсокартон | 8 |
| | 16 | Пенопласт | 3 |
| 11 | 56 | Асфальтобетон | 2 |
| | 89 | Песок строительный | 3 |
| | 46 | Бетонная смесь с гравием | 1,8 |
| | 18 | Брусчатка (камень) | 1,5 |
| 12 | 12 | Щебень | 1 |
| | 15 | Линолеум | 2 |
| | 5 | Пенопласт | 3 |
| | 14 | Доски сосновые | 3 |
| 13 | 42 | Бетонная смесь | 1,8 |
| | 13 | Доски сосновые | 3 |
| | 47 | Рубероид | 3 |
| | 29 | Плиты древесноволокнистые | 3 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 14 | 125 | Раствор строительный | 2 |
| | 31 | Плитка из каменных, керамических материалов | 2 |
| | 16 | Арматура | 1 |
| | 34 | Линолеум | 2 |
| 15 | 67 | Бетон монолитный | 1,5 |
| | 78 | Кирпич керамический | 1 |
| | 132 | Раствор строительный | 2 |
| | 20 | Асфальтобетон | 2 |
| | 9 | Известь гашеная | 3 |

### *Требования к отчету*

Результаты практической работы должны быть оформлены в виде отчета, в котором должны быть изложены:

- наименование и вариант работы;
- исходные данные для расчетов;
- методика расчетов с результатами вычислений;
- общее заключение по результатам работы.

### *Контрольные вопросы*

1. Дайте определения понятиям «отходы» и «потери» строительных материалов.
2. Какие виды отходов образуются в строительном производстве?
3. На какие группы подразделяются отходы и потери стройматериалов по месту своего воздействия?
4. Охарактеризуйте основные направления сокращения отходов стройматериалов в строительстве.
5. Какой нормативный документ определяет методику расчета нормативов образования отходов?

## Практическое занятие № 9

## Расчет рукавного фильтра

***Цели работы***

Приобретение навыков и знаний по расчету и выбору рукавных фильтров.

### Теоретические положения

Рукавные тканевые фильтры применяются для очистки больших объемов воздуха (газов) со значительной концентрацией пыли. Фильтрующими элементами в этих аппаратах являются рукава из специальной фильтровальной ткани.

Рукавные фильтры обеспечивают тонкую очистку воздуха от пылевых частиц, имеющих размер менее 1 мкм. Наряду с циклонами рукавные фильтры являются одним из основных видов пылеулавливающего оборудования и широко применяются на предприятиях черной и цветной металлургии, химической промышленности, промышленности строительных материалов, пищевой промышленности, в энергетических установках и др.

Известны всасывающие и нагнетательные рукавные фильтры.

Всасывающие фильтры устанавливаются до вентилятора, т. е. на его всасывающей линии. Нагнетательные рукавные фильтры устанавливаются на нагнетательной линии. Воздух, очищенный в рукавах нагнетательных фильтров, поступает непосредственно в помещение, где установлены фильтры. Недостатком нагнетательных фильтров, из-за которого не может быть рекомендовано их применение, является поступление воздуха после фильтров в помещение. При наличии неплотностей в рукавах происходит выбивание пыли в помещение. Запыленный воздух проходит через вентилятор, что вызывает более быстрый износ вентилятора, а при перемещении воздуха, содержащего пожаро- и взрывоопасную пыль, это недопустимо.

Недостатком всасывающих фильтров является наличие значительных подсосов воздуха.

В эксплуатации находятся многие конструкции рукавных фильтров, отличающиеся формой корпуса, диаметром и длиной рукавов, видом применяемой фильтровальной ткани, способом регенерации и др. Конструктивно гибкая фильтрующая перегородка выполняется в виде рукава, поэтому и фильтры с гибкими фильтрующими перегородками получили название «рукавные».

В нормально работающих рукавных фильтрах концентрация пыли на выходе из аппарата обычно не превышает 20 мг/м$^3$. При использовании высокоэффективных фильтровальных материалов и улавливании волокнистых пылей концентрация на выходе может снижаться до 1 мг/м$^3$ и менее.

Различают матерчатые фильтры (рис. 9.1) рамного или рукавного типов. В рамных ткань натягивается на рамки. Рукавные фильтры более совершенны по конструкции и надежности в работе.

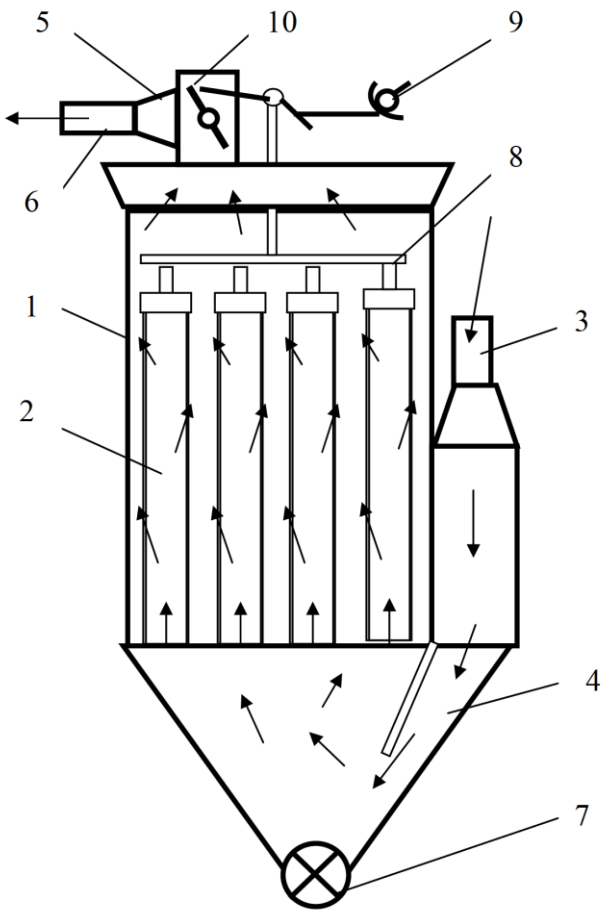


Рис. 9.1. Схема рукавного фильтра:
1 – металлический корпус; 2 – матерчатые рукава; 3 – трубопровод; 4 – нижняя часть фильтра; 5 – труба; 6 – общий трубопровод; 7 – винтовой транспортер; 8 – планка; 9 – встряхивающий механизм; 10 – заслонка

В закрытом металлическом корпусе 1 фильтра подвешиваются матерчатые рукава 2 цилиндрической формы. Рукава собраны в секции по 8…12 штук.

Секции разделены перегородками на отдельные камеры. Нижние концы рукавов открыты для входа газов. Запыленный газ по трубопроводу 3 подводится в нижнюю часть 4 фильтра, откуда направляется в нижние открытые отверстия рукавов. Проходя через поры ткани, газ очищается, оставляя пыль на внутренних стенках рукавов. Очищенный газ собирается в верхней части металлического кожуха, затем отводится через трубу 5 в общий трубопровод 6. Через матерчатые фильтры газ просасывается с помощью вентиляторов, которые могут нагнетать их в фильтр или отсасывать.

В первом случае установка работает под давлением, во втором – под разрежением. Фильтр на нашем рисунке работает под разрежением.

Для того чтобы частицы пыли, оседающие на внутренней поверхности рукавов, не загрязняли ткани, рукава периодически встряхивают. Пыль при этом падает в нижнюю часть кожуха, из которого отводится винтовым транспортером 7. Рукава каждой секции подвешены к планке 8, которая соединена со встряхивающим механизмом 9, работающим от электродвигателя. В момент

встряхивания рукавов камера отсоединяется от сборного трубопровода 6 заслонкой 10 (иногда применяют клапан), действующей от механизма встряхивания. Для лучшей очистки ткань продувают воздухом в направлении, противоположном основному движению газов. Рукава каждой секции встряхивают в течение 18…20 с, затем клапаны продувочного воздуха закрывают, а заслонку 10 открывают, и секция вновь включается в работу.

Диаметр рукавов обычно равен 180…210 мм, длина 2…3,5 м. Степень очистки газа 97…99 %. Сопротивление рукавного фильтра в среднем составляет 250…350 Па, но при увеличении остаточной запыленности ткани может возрасти в 2…3 раза.

### *Методика расчета фильтров*

Технологические расчеты фильтровальных аппаратов сводятся к определению площади фильтровальной перегородки, гидравлического сопротивления фильтровальной перегородки и аппарата в целом, частоты и продолжительности циклов регенерации фильтровальных элементов.

Фильтрующая поверхность аппарата или группы аппаратов $F_в$ , м$^2$, определяется из выражения:

$$F_в = \frac{V_п + V_р}{60q} + F_р, \tag{9.1}$$

где $V_п$ - объем газа, поступающего на очистку, м$^3$/ч;

$V_р$ - объем газа или воздуха, расходуемого на обратную продувку, м$^3$/ч;

$q$ - удельная газовая нагрузка при фильтровании, м$^3$/(м$^2$·мин);

$F_р$ - фильтрующая поверхность, отключаемая на регенерации в течение 1 ч, м$^2$, определяется из выражения:

$$F_р = \frac{N_c \cdot F_c \cdot \tau_р \cdot m_р}{3600}, \tag{9.2}$$

где $N_c$ – число секций;

$F_c$ – фильтрующая поверхность секции, м$^2$;

$\tau_р$ – время отключения секции на регенерацию, с;

$m_р$ – число регенераций в течение 1 ч.

Для фильтров с импульсной продувкой, в связи с кратковременностью процесса регенерации, поверхностью фильтра, выводимой из процесса фильтрации на время регенерации, и объемом газа, расходуемого на обратную продувку, можно пренебречь.

Удельная газовая нагрузка на фильтровальную перегородку колеблется для рукавных фильтров от 0,3 до 6 м$^3$/(м$^2$·мин). Внутри этого диапазона выбор оптимального значения зависит от многих факторов, к которым в первую очередь относятся свойства улавливаемой пыли, способ регенерации

фильтровальных элементов, концентрация пыли в газе, структура фильтровального материала, температура очищаемого газа, требуемая степень очистки. Зависимости, характеризующие процесс фильтрования с качественной стороны, не в состоянии учесть всего многообразия действующих факторов, и поэтому при расчетах приходится прибегать к зависимостям, выведенным на основании долголетнего опыта эксплуатации фильтровальных аппаратов.

С достаточной для практических расчетов точностью удельная газовая нагрузка в рукавных фильтрах может определяться из следующего выражения:

$$q = q_{\text{н}} \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5, \qquad (9.3)$$

где $q_{\text{н}}$ – нормативная удельная нагрузка, зависящая от вида пыли и ее склонности к агломерации, м$^3$/(м$^2$·мин);

$q_{\text{н}}$ = 3,5 – комбикорн, мука, зерно, пыль кожи, опилки, табак, картонная пыль;

$q_{\text{н}}$ = 2,6 – асбест, волокнистые и целлюлозные материалы, гипс, известь, соль, песок, тальк, сода;

$q_{\text{н}}$ = 2 – глинозем, цемент, уголь, резина, каолин, известняк, сахар, пыль горных пород;

$q_{\text{н}}$ = 1,7 – кокс, летучая зола, металлопорошки, пластмассы, красители, силикаты, крахмал, химикаты из нефтесырья;

$q_{\text{н}}$ = 1,2 – активированный уголь, технический углерод, моющие вещества, возгоны цветных и черных металлов;

$C_1$ – коэффициент, характеризующий особенность регенерации фильтровальных элементов. Для коэффициента, учитывающего влияние особенностей регенерации фильтровальных элементов, в качестве базового варианта принимается фильтр с импульсной продувкой сжатым воздухом с рукавами из ткани.

Для этого аппарата коэффициент $C_1$ = 1. При использовании рукавов из нетканых материалов значение коэффициента может увеличиваться на 5…10 %.

Для фильтров с регенерацией путем обратной продувки и одновременного встряхивания или покачивания рукавов принимается коэффициент $C_1$ = 0,70… …0,85. Меньшее значение принимается для фильтров с рукавами из плотной ткани и с элементами, выполненными в виде конвертов.

Для фильтров с регенерацией путем обратной продувки коэффициент $C_1$ = 0,55…0,70. Меньшее из этих значений принимается для рукавов из стеклоткани и фильтров, снабженных фильтровальными элементами, выполненными в виде конвертов;

$C_2$ – коэффициент, учитывающий влияние концентрации пыли на удельную газовую нагрузку (рис. 9.2). Концентрация пыли сказывается на продолжительности цикла фильтрования. При увеличении концентрации пыли возрастает частота регенераций, а удельная нагрузка снижается. Однако зависимость удельной нагрузки от концентрации пыли не является линейной функцией.

Наиболее заметно изменение концентрации проявляет себя в интервале концентраций 1…30 г/мз. При более высоких значениях усиливается влияние коагуляции частиц пыли. Часть пыли в виде агломератов падает в бункер до ее осаждения на фильтровальных элементах;

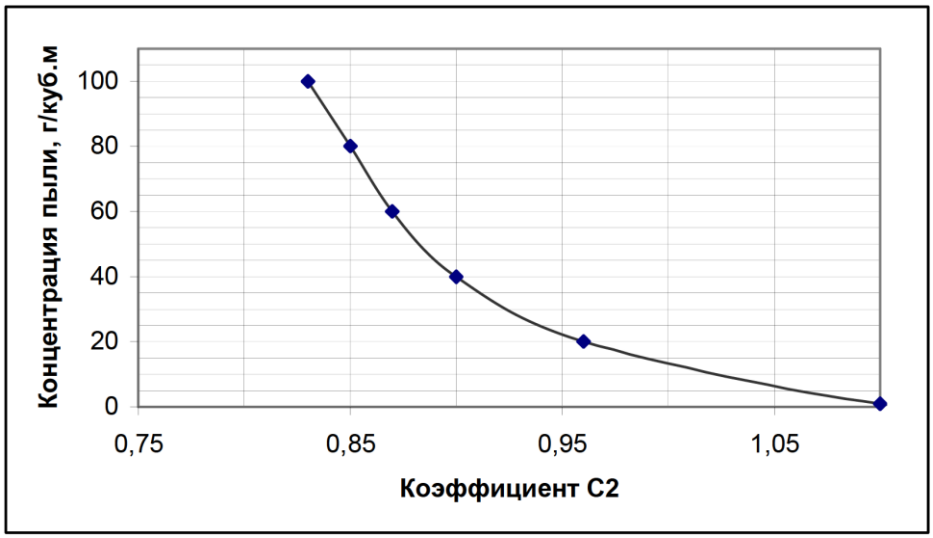


Рис. 9.2 Зависимость коэффициента $C_2$ от концентрации пыли

$C_3$ – коэффициент, учитывающий влияние дисперсного состава пыли в газе. Оценка влияния дисперсного состава пыли на выбор удельной нагрузки должна проводиться на основе анализа пробы, взятой во взвешенном состоянии. Пыль, осажденная из потока в виде слоя, укрупняется, из-за чего в процессе жидкостной седиментации получаются искаженные результаты. Особенно заметно это явление при анализе субмикронных частиц. Экспериментальные значения коэффициента зависят от медианного размера частиц пыли:

$C_3$ = 1,2…1,4, при $d_m$ > 100 мкм;

$C_3$ = 1,1, при $d_m$ = 50…100 мкм;

$C_3$ = 1,0, при $d_m$ = 10…50 мкм;

$C_3$ = 0,9, при $d_m$ = 3…10 мкм;

$C_3$ = 0,7…0,9, при $d_m$ < 3 мкм;

*Таблица 9.2*

Зависимость коэффициента $C_3$ от диаметра частиц $d_m$

| $d_m$, мкм | < 3 | 3 - 10 | 10 - 50 | 50 - 100 | >100 |
|---|---|---|---|---|---|
| $C_3$ | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,3 |
| $N_c$ | 1 - 5 | 6 - 10 | 11 - 15 | 16 - 20 | >20 |

$C_4$ – коэффициент, учитывающий влияние температуры газа. Температура оказывает непосредственное влияние на вязкость газов, от которой, в свою очередь, зависит удельная нагрузка.

*Таблица 9.3*

Зависимость коэффициента $C_4$ от температуры газа

| t, $^0$C | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_4$ | 1 | 0,9 | 0,84 | 0,78 | 0,75 | 0,73 | 0,72 | 0,7 |
| $N_c$ | 1 - 3 | 4 - 7 | 8 - 10 | 11 - 14 | 15 - 18 | 19 - 22 | 23 - 27 | >28 |

$C_5$ – коэффициент, учитывающий требования к качеству очистки оценивается по концентрации пыли в очищенном газе. Как показывают эксперименты, с увеличением скорости фильтрования концентрация пыли в очищенных газах увеличивается. Принято считать, что в исправно действующем фильтре концентрация пыли на выходе из фильтра не должна превышать 30 мг/м$^3$; для этих условий принимается значение $C_5$ = 1. Если к качеству очистки предъявляются более жесткие требования, коэффициент $C_5$ снижается. В случае, если концентрация пыли в очищенных газах не должна превышать 10 мг/м$^3$, коэффициент принимается равным 0,95.

При подборе рукавных фильтров важным является оценка ожидаемого гидравлического сопротивления, определяющего энергетические затраты на фильтрование. Гидравлическое сопротивление рукавных фильтров $\Delta P_{\text{ф}}$ складывается из сопротивления корпуса аппаратов $\Delta P_{\text{к}}$ и сопротивления фильтровальной перегородки $\Delta P_{\text{п}}$:

$$\Delta P_{\text{ф}} = \Delta P_{\text{к}} + \Delta P_{\text{п}}, \tag{9.4}$$

Гидравлическое сопротивление корпуса аппарата определяется величиной местных сопротивлений, возникающих на входе и выходе из аппарата и при раздаче потока по фильтровальным элементам. В общем виде гидравлическое сопротивление корпуса аппарата может быть оценено коэффициентом сопротивления корпуса аппарата, отнесенным к скорости газа во входном патрубке:

$$\xi = \frac{\Delta P_{\text{к}} \cdot 2}{v_{\text{вх}}^2 \cdot \rho_{\text{г}}}, \tag{9.5}$$

где $v_{\text{вх}}$ – скорость газового потока во входном патрубке, м/с.

Для правильно сконструированных рукавных фильтров коэффициент гидравлического сопротивления корпуса $\xi$ обычно составляет 1,5…2,0. Для рукавных фильтров с обратной продувкой, снабженных тарельчатыми клапанами на входе и выходе газа из каждой секции, коэффициенты

гидравлического сопротивления принимают более высокие значения. Гидравлическое сопротивление фильтровальной перегородки $\Delta P_п$ в значительной степени зависит от массы и свойств осевшей на ней пыли и образуется двумя составляющими: постоянной $\Delta P_п'$ и переменной $\Delta P_п''$:

$$\Delta P_п = \Delta P_п' + \Delta P_п'', \tag{9.6}$$

Постоянная составляющая гидравлического сопротивления $\Delta P_п'$ создается самой фильтровальной перегородкой и оставшимся на ней после регенерации слоем пыли. Постоянную составляющую удобно вычислить по выражению:

$$\Delta P_п' = K_п \cdot \mu \cdot v^n, \tag{9.7}$$

где $K_п$ – коэффициент, характеризующий сопротивление фильтровальной перегородки с оставшимся на ней слоем пыли, м$^{-1}$;

$v$ – скорость фильтрования, м/с;

$n$ – показатель степени, зависящий от режима течения потока (для расчетов можно принимать $n$ = 1; при турбулентном течении $n$ > 1);

$\mu$ – вязкость газа, Па·с.

Исследования показывают, что чем мельче частицы улавливаемой пыли и меньше размер пор фильтровального материала, тем выше коэффициент $K_п$.

Коэффициент $K_п$ зависит от толщины и проницаемости фильтровальной перегородки, количества пыли, оставшейся на перегородке после регенерации, свойств пыли. Поэтому этот коэффициент определяют экспериментально. Например, для фильтровальных тканей из лавсана, улавливающих цементную или кварцевую пыль с медианным диаметром в пределах 10…20 мкм, $K_п$ = (1100…1500)·10$^9$ м$^{-1}$, для тех же материалов при улавливании возгонов от сталеплавильных дуговых печей с медианным диаметром частиц 2,5…3,0 мкм $K_п$ = (2300…2400)·10$^9$ м$^{-1}$. Для более плотных тканей (лавсан, стеклоткань) на тех же пылях коэффициент $K_п$ увеличивается в 1,2…1,3 раза.

При улавливании пылей с медианным размером частиц меньше 1 мкм коэффициент $K_п$ увеличивается в несколько раз и для лавсана. При улавливании возгонов кремния с медианным диаметром 0,6 мкм он составляет (13000…15 000)·10$^9$ м$^{-1}$.

Приведенные значения коэффициентов не учитывают возможное увеличение его в присутствии влаги.

Сопротивление в Па, вызванное осевшей на перегородку пылью, рассчитывается по уравнению:

$$\Delta P_п'' = \mu \cdot \tau \cdot c_{вх} \cdot v^2 \cdot K_1, \tag{9.8}$$

где τ – продолжительность фильтровального цикла, с;

$c_{вх}$ – концентрация пыли на входе в фильтр, кг/м$^3$;

$K_1$ – параметр сопротивления слоя пыли и порозности слоя пыли на перегородке, м/кг.

Величина $K_1$ зависит от свойств пыли на перегородке. Например, для цемента с медианным диаметром частиц $d_m$ = 12…20 мкм $K_1$ = (6,5 – 16)·$10^9$ м/кг, для частиц кремния $d_m$ = 0,7 мкм $K_1$ = 330·$10^9$ м/кг, для возгонов сталеплавильной дуговой печи $d_m$ = 3 мкм $K_1$ = 80·$10^9$ м/кг.

Пользуясь формулой (20.8), при известном или заданном гидравлическом сопротивлении слоя пыли можно найти продолжительность фильтровального цикла:

$$\tau = \frac{\Delta P_{\text{п}}''}{\mu \cdot c_{\text{вх}} \cdot v^2 \cdot K_1}. \qquad (9.9)$$

Следует иметь в виду, что общее сопротивление рукавных фильтров не должна превышать 2800 Па, а сопротивление слоя пыли на перегородке – 600-800 Па.

### *Порядок выполнения работы*

*Пример расчета.*

*Исходные данные:*

Объем газа, поступающего на очистку $V_{\text{п}}$ = 55000 м$^3$/ч;

температура выбросов t = 40 $^0$С;

концентрация пыли на входе в аппарат очистки $c_{\text{вх}}$ = 10 г/м$^3$;

медианный диаметр частиц пыли $d_m$ = 10 мкм;

содержание пыли после фильтра не должно превышать 5 мг/м$^3$.

В качестве фильтровальной ткани рекомендуется лавсан.

В соответствии с таблицей 20.4 это пыль кожи с коэффициентом $q_{\text{н}}$ = 3,5.

Коэффициент $C_1$ = 1; $C_2$ = 1,02; $C_3$ = 0,8; $C_4$ = 0,9; $C_5$ = 0,9.

1. Определяем удельную газовую нагрузку по формуле (9.3):

$$q = q_{\text{н}} \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 = 3{,}5 \cdot 1 \cdot 1{,}02 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}9 = 2{,}3 \ \text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{мин}).$$

2. Определяем фильтрующую поверхность аппарата по формуле (9.1):

$$F_{\text{в}} = \frac{V_{\text{п}} + V_{\text{р}}}{60q} + F_{\text{р}} = \frac{V_{\text{п}}}{60q} = \frac{55000}{60 \cdot 2{,}3} = 398{,}6 \ \text{м}^2.$$

По таблице 9.5 находим наиболее подходящий фильтр марки ФРКИ-550 с площадью фильтрующей поверхности 550 м.

3. Определяем гидравлическое сопротивление фильтровальной перегородки по формуле (9.6):

$$\Delta P_{\text{п}} = \Delta P'_{\text{п}} + \Delta P''_{\text{п}} = K_{\text{п}} \cdot \mu \cdot v^n + \mu \cdot \tau \cdot c_{\text{вх}} \cdot v^2 \cdot K_1 =$$

$$= 2800 \cdot 10^9 \cdot 19 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}015^1 + 19 \cdot 10^{-6} \cdot 600 \cdot 10 \cdot 0{,}000225 \cdot 20 \cdot 10^9 =$$

$$= 798 + 513 = 1311 \text{ Па.}$$

принимаем $K_{\text{п}}$ и $K_1$ в зависимости от типа пыли; $v$ = 0,015 м/с; $\tau$ = 600 с; $\mu = 19 \cdot 10^{-6}$ Па·с; $n$ = 1.

4. Определяем гидравлическое сопротивление фильтра в целом по формуле (9.4), задаваясь коэффициентом гидравлического сопротивления корпуса $\xi$ = 2, приведенным к скорости во входном патрубке:

$$\Delta P_{\text{ф}} = \Delta P_{\text{к}} + \Delta P_{\text{п}}$$

$$v_{\text{вх}} = \frac{V_{\text{п}}}{3600 \cdot S_{\text{вх}}} = \frac{55000}{3600 \cdot 2{,}4 \cdot 0{,}55} = \frac{55000}{4752} = 11{,}6 \text{ м/с.}$$

где площадь входного отверстия $S_{\text{вх}}$ рассчитывают по табличным данным табл. 9.5 для выбранного типа фильтра.

Определяем гидравлическое сопротивление корпуса фильтра по формуле (9.5):

$$\xi = \frac{\Delta P_{\text{к}} \cdot 2}{v_{\text{вх}}^2 \cdot \rho_{\text{г}}}$$

$$\Delta P_{\text{к}} = \xi \cdot v_{\text{вх}}^2 \cdot \rho_{\text{г}}/2 = 2 \cdot 11{,}6^2 \cdot 0{,}998/2 = 134 \text{ Па.}$$

$$\Delta P_{\text{ф}} = \Delta P_{\text{к}} + \Delta P_{\text{п}} = 1311 + 134 = 1445 \text{ Па.}$$

5. Определяем фильтрующую поверхность, отключаемую на регенерацию по формуле (9.2):

$$F_{\text{р}} = N_c \cdot F_c \cdot \tau_{\text{р}} \cdot m_{\text{р}} = 6 \cdot 550 \cdot 0{,}0014 \cdot 5 = 23 \text{ м}^2.$$

6. Поскольку общая площадь фильтра с учетом поверхности для регенерации составляет:

$$F_{\text{в}} + F_{\text{р}} = 398{,}6 + 23 = 421 \text{ м}^2,$$

т.е. величину меньшую, чем стандартная поверхность фильтра марки ФРКИ-550 с площадью фильтрующей поверхности 550 м, то нет необходимости повторного расчета гидравлического сопротивления рукавного фильтра.

В случае превышения общего гидравлического сопротивления фильтра, с учетом площади поверхности на регенерацию, допустимой величины (2800 Па), необходимо изменить марку фильтра с большей площадью поверхности фильтрования и произвести повторные расчеты.

*Таблица 9.4*

Нормативная удельная газовая нагрузка $q_н$

| №п/п | Вид пыли | $q_н$ | №п/п | Вид пыли | $q_н$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Комбикорм | 3,5 | 17 | Глинозем | 2,0 |
| 2 | Мука | | 18 | Цемент | 2,0 |
| 3 | Зерно | | 19 | Керамические красители | |
| 4 | Жмыховая смесь | | 20 | Уголь | |
| 5 | Пыль кожи | | 21 | Резина | |
| 6 | Опилки | | 22 | Каолин | |
| 7 | Табак | | 23 | Известняк | |
| 8 | Картонная пыль | | 24 | Сахар | |
| 9 | Асбест | 2,6 | 25 | Кокс | 1,7 |
| 10 | Волокнистые целлюлозные материалы | | 26 | Летучая зола | |
| 11 | Известь гашеная | | 27 | Окислы металлов | |
| 12 | Гипс | | 28 | Крахмал | |
| 13 | Пыль при выбивке отливок из форм | | 29 | Пластмассы | |
| 14 | Пыль от полировки | | 30 | Активированный уголь | 1,5 |
| 15 | Соль | | 31 | Моющие средства | |
| 16 | Песок | | 32 | Порошковое молоко | |

*Таблица 9.5*

Технические характеристики рукавных фильтров

| Марка фильтра | Площадь фильтр. поверхности, м | Кол-во секций, шт. | Кол-во рукавов в секции, шт. | Диаметр рукава, мм | Высота рукава, м |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| ФР-6П | 18 | 1 | 6 | 390 | 2,5 |
| ФТ-2М | 20 | 1 | 12 | 300 | 1,8 |
| ФТНС-4М | 12,4 | 1 | 4 | 386 | 2,6 |
| ФТНС-8М | 24,8 | 2 | 4 | 386 | 2,0 |
| ФТНС-12М | 37,2 | 3 | 4 | 386 | 2,6 |
| ЦА-3804 | 4140 | 3 | - | - | - |
| ФРУ | 2,5 - 50 | 1 - 4 | 14; 28; 42; 56 | 125 | 0,9; 1; 2; 2,5 |
| ФРН-20 | 20 | 2 | 32 | 130 | 1,63 |
| ФРН-30 | 30 | 2 | 48 | 130 | 1,63 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ФР-250 | 281 | 4 | 288 | 135 | 2,3 |
| СМЦ-101А | 50;55;110; 115;205 | 2 | 36 | 200 | 2,2; 2,45; 4,9; 5,1; 9,1 |
| РФГ | 112;168; 224:280 | 4; 6; 8;10 | 56; 84; 112; 140 | 220 | 3,1 |
| УРФМ | 1610;2300 | 14; 20 | 588;840 | 220 | 4,0 |
| Г4-1БФМ | 30; 45; 60; 90 | 2; 3; 4; 6 | 36; 54; 72; 108 | 135 | 2,09 |
| Г4-2БМФ | 60; 90 | 4; 6 | 72;108 | 135 | 2,09 |
| ФР-518 (650) | 518 (650) | 6 | 72 (90) | 127 | 3,0 |
| ФР-5000 | 5000 | 8 | 504 | 127 | 3,09 |
| ФРДО-6500 | 6500 | 10 | 212 | 130 | 7,85 |
| ФРО-2400-1 | 2400 | 8 | 42 | 200 | 8 |
| ФРО-6000-2 | 6000 | 10 | 54 | 300 | 10 |
| ФРО-20300-3 | 20300 | 10 | 216 | 300 | 10 |
| РФОСП | 1,9 - 136 | - | 2 - 24 | - | 1 - 6 |
| РФСП-П | 370 | 4 | 22 | 300 | 4,8 |
| РФСП-1580 | 1580 | 20 | 24 | - | - |
| ФРКИ-30 | 30 | 1 | 36 | 135 | 2 |
| ФРКИ-В-30 | 30 | 1 | 36 | 135 | 2 |
| ФРКИ-60 | 60 | 2 | 36 | 135 | 2 |
| ФРКИ-В-60 | 60 | 2 | 36 | 135 | 2 |
| ФРКИ-90 | 90 | 3 | 36 | 135 | 2 |
| ФРКИ-В-90 | 90 | 3 | 36 | 135 | 2 |
| ФРКИ-180 | 180 | 4 | 36 | 135 | 3 |
| ФРКИ-360 | 360 | 8 | 36 | 135 | 3 |
| ФРКИ-550 | 550 | 6 | 36 | 135 | 6 |
| ФРКДИ | 720 | 8 | 36 | 135 | 6 |
| ФРКДИ-1100 | 1100 | 12 | 36 | 135 | 6 |

***Выводы***

По результатам выполненного расчета выбран рукавный фильтр марки ФРКИ-550. Удельная газовая нагрузка составила $2{,}3\ м^3/(м^2 \cdot мин)$ , поверхность фильтрования $398{,}6\ м^2$ , гидравлическое сопротивление фильтровальной перегородки 1311 Па, гидравлическое сопротивление корпуса фильтра 134 Па, общее гидравлическое сопротивление фильтра 1445 Па.

### *Исходные данный по расчету и выбору рукавного фильтра*

По исходным данным (варианты в таблице 9.6 ) объем газа, поступающего на очистку $V_п$, м$^3$/ч; температура выбросов 50 – 90 °С; концентрация пыли на входе в аппарат очистки $c_{вх}$, г/м$^3$ ; медианный диаметр частиц пыли $d_m$, мкм; содержание пыли после фильтра не должно превышать $С_{кон}$, мг/м$^3$ ; рассчитать необходимые технологические параметры рукавного фильтра с импульсной продувкой для его эффективной работы. Фильтровальная ткань – лавсан.

*Ход работы:*

1 Внимательно прочитать вводную часть

2 По таблице 9.4 выбрать соответствующий коэффициент $q_н$ по виду пыли.

3 Рассчитать удельную газовую нагрузку фильтра:

$$q = q_н \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5$$

значение коэффициента $C_1$ принимается равным 1; коэффициент $C_2$ определяется по рисунку 9.2; коэффициенты $C_3$ и $C_4$ выбираются по таблицам 9.2 и 9.3; с учетом требований к качеству очистки коэффициент $C_5$ во всех вариантах одинаков и принят 0,9.

4 Определить поверхность фильтрования по формуле:

$$F_в = \frac{V_п}{60q},$$

где $V_п$ – объем газа, поступивший на очистку, м$^3$/ч; $q$ - удельная газовая нагрузка фильтра; (расчет без учета показателей регенерации фильтров).

5 По таблице 9.5 для рассчитанных условий поверхности фильтрования выбрать тип и марку фильтра и его характеристики.

6 Рассчитать гидравлическое сопротивление рукавного фильтра:

$$\Delta P_ф = \Delta P_к + \Delta P_п,$$

где $\Delta P_п$ - гидравлическое сопротивление фильтровальной перегородки, Па;
$\Delta P_к$ - гидравлическое сопротивление корпуса фильтра, Па.

6.1 Гидравлическое сопротивление фильтровальной перегородки:

$$\Delta P_п = K_п \cdot \mu \cdot v^n + \mu \cdot \tau \cdot c_{вх} \cdot v^2 \cdot K_1$$

где $K_п$ - коэффициент , характеризующий сопротивление фильтровальной перегородки, м$^{-1}$ (зависит от толщины и проницаемости фильтровальной перегородки, количества пыли, оставшейся на перегородке после регенерации, свойств пыли; определяется экспериментально: для фильтровальных тканей из лавсана, улавливающих цементную или кварцевую пыль с медианным диаметром в пределах 10...20 мкм, $К_П$ = (1100... 1500)·10$^9$ м$^{-1}$, для тех же материалов при улавливании возгонов от сталеплавильных дуговых печей с медианным диаметром частиц 2,5...3,0 мкм $К_П$ = (2300...2400)·10$^9$ м$^{-1}$. Для более плотных тканей (лавсан, стеклоткань) на тех же пылях коэффициент $K_п$ увеличивается в 1,2... 1,3 раза. Для легких пылей он (1,5 – 10)·10$^9$ м$^{-1}$;

$\mu$ – динамическая вязкость газа, Па·с (для заданного интервала температур μ = 19·10$^{-6}$ Па·с);

$v$ – скорость фильтрования, м/с (принята $v$ = 0,015 м/с);

$n$ – показатель степени, зависящий от режима течения газа сквозь перегородку (для ламинарного режима $n$ = 1);

τ – продолжительность фильтровального цикла, с (принимаем τ = 600 с);

$c_{вх}$ – концентрация пыли на входе в фильтр, кг/м$^3$;

$K_1$ – параметр сопротивления слоя пыли м/кг, (1,5 – 80 ·10$^9$ м/кг).

6.2 Гидравлическое сопротивление корпуса фильтра:

$$\Delta P_к = \xi \cdot v_{вх}^2 \cdot \rho_г / 2$$

где $\xi$ – коэффициент сопротивления корпуса (принимается 1,5 – 2);

$v_{вх}$ – скорость газа во входном патрубке, м/с (принять 5 – 10 м/с);

$\rho_г$ – плотность запыленного газового потока (принять 0,998 кг/м$^3$).

*Таблица 9.6*

Исходные данные

| Вариант | $V_п$, м$^3$/ч | $c_{вх}$, г/м$^3$ | $d_m$, мкм | $C_{кон}$, г/м$^3$ | Вид пыли | ткань |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 60000 | 8 | 5 | 5 | Комбикорм | лавсан |
| 2 | 65000 | 6 | 5,5 | 5 | Мука | |
| 3 | 70000 | 7 | 6 | 5 | Зерно | |
| 4 | 75000 | 8 | 6,5 | 5 | Жмыховая смесь | |
| 5 | 80000 | 9 | 7 | 5 | Пыль кожи | |
| 6 | 85000 | 10 | 7,5 | 5 | Опилки | |
| 7 | 90000 | 11 | 8 | 6 | Табак | |
| 8 | 95000 | 12 | 8,5 | 6 | Картонная пыль | |
| 9 | 100000 | 13 | 9 | 6 | Асбест | |
| 10 | 105000 | 14 | 9,5 | 6 | Волокнистые целлюлозные материалы | |
| 11 | 110000 | 15 | 10 | 6 | Пыль при выбивке отливок из форм | |
| 12 | 115000 | 16 | 10,5 | 6 | Гипс | |
| 13 | 120000 | 17 | 11 | 6 | Известь гашеная | |
| 14 | 125000 | 18 | 11,5 | 6 | Пыль от полировки | |
| 15 | 130000 | 19 | 12 | 6 | Соль | |
| 16 | 135000 | 20 | 12,5 | 7 | Песок | |
| 17 | 140000 | 21 | 13 | 7 | Глинозем | |
| 18 | 145000 | 22 | 13,5 | 7 | Цемент | |
| 19 | 150000 | 23 | 14 | 7 | Керамические красители | |
| 20 | 155000 | 24 | 14,5 | 7 | Уголь | |
| 21 | 160000 | 25 | 15 | 7 | Резина | |
| 22 | 165000 | 26 | 15,5 | 7 | Каолин | |
| 23 | 170000 | 27 | 16 | 5,5 | Известняк | |
| 24 | 175000 | 28 | 16,5 | 5,5 | Сахар | |
| 25 | 180000 | 29 | 17 | 5,5 | Кокс | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 26 | 185000 | 30 | 17,5 | 5,5 | Летучая зола | |
| 27 | 190000 | 31 | 18 | 5,5 | Окислы металлов | |
| 28 | 195000 | 32 | 18,5 | 5,5 | Крахмал | |
| 29 | 200000 | 33 | 19 | 6,5 | Пластмассы | |
| 30 | 50000 | 34 | 10 | 7 | | |

### *Требования к отчету*

Результаты практической работы должны быть оформлены в виде отчета, в котором должны быть изложены:

- наименование и вариант работы;
- исходные данные для расчетов;
- методика расчетов с результатами вычислений;
- общее заключение по результатам работы.

### *Контрольные вопросы*

1. Чем отличаются типы фильтровальных тканей друг от друга?
2. Какие существуют способы регенерации рукавных фильтров?
3. Какие виды рукавных фильтров применяются в основных отраслях промышленности Российской Федерации?
4. Какие факторы необходимо учитывать при выборе конструкции фильтра с гибкой фильтровальной перегородкой?

## Библиографический список

1. Источники загрязнения атмосферы. Нормирование качества атмосферного воздуха. Промышленные выбросы: методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Промышленная экология» / сост. О.А. Федяева. – Омск, 2002. – 32 с.

2. Определение условий спуска сточных вод в водоёмы и прогнозирование их санитарного состояния: методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Техника защиты окружающей среды» / сост. О.А. Федяева. – Омск, 2002. – 36 с.

3. Оценка воздействия вредных веществ на окружающую среду и экологическая экспертиза: методические указания / сост. Л.В. Новгородцева. – Омск, 2003. – 40 с.

4. Приказ Минприроды РФ от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе».

5. Оценка воздействия на компоненты природной среды: лабораторный практикум / сост.: А.В. Таловская, Л.В. Жорняк, Е.Г. Язиков; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд. Томского политехнического университета, 2014. – 88 с.

6. Расчеты экологических показателей природоохранных мероприятий.Ч. 1.: методические указания и контрольные задания по экологии городской среды/ СибАДИ; сост.: В.А. Хомич, О.В. Плешакова. – Омск: СибАДИ, 2009. – 16 с.

7. Дончева А. В. Экологическое проектирование и экспертиза: Практика: учебное пособие/ А. В. Дончева. – М.: Аспект Пресс, 2002. – 86 с.

8. Экологическая экспертиза: учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений / В. К. Донченко, В. М. Питулько, В. В. Растоскуев и др.; под ред.В. М. Питулько. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 480 с.

9. Макаров С. В. / Сборник задач по курсу «Основы проектирования и экологическая экспертиза». Ч 1: Основы расчетов и условия задач: учебное пособие / С. В. Макаров, Д. В. Жаворонков. – М.: Изд-во Дели, 2000.

10. Макаров С. В. / Сборник задач по курсу «Основы проектирования и экологическая экспертиза». Ч 2: Ответы и решения: учебное пособие / С.В. Макаров, Д. В. Жаворонков. – М.: Изд-во Дели, 2000.

11. Экологическая экспертиза и оценка воздействия на окружающую среду планируемой деятельности: Методические указания к практическим занятиям Часть 1 / сост. М.В. Бузаева, В.В. Савиных, О.В. Чемаева – Ульяновск, 2005. – 32 с.

12. Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном

воздухе. Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух населенных мест: гигиенические нормативы 2.1.6.12-46-2005.

13. Бойко М.Л. Экологические расчеты в управлении недвижимостью: учебное пособие / М.Л. Бойко, В.Д. Черенов. – Йошкар-Ола: Поволжский технологический университет. 2012. – 164 с.

14. Алиев Г.М.-А. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов: справочник / Г.М.-А. Алиев. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.

15. Родионов А.И., Клушин В.Н., Систер В.Г. Технологические процессы экологической безопасности (Основы энвайронменталистики). – Калуга: Изд-во Бочкаревой, 2000. – 477 с.

16. Штокман Е.А. Очистка воздуха. – М.: Изд-во АСВ, 1999. – 456 с.

17. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты пылеочистки. Учебное пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. – 210 с.

18. Ровенский А.И. Защита атмосферы от пылегазовых выбросов при производстве основных видов огнеупоров / А.И. Ровенский, А.М. Касимов, А.Н. Почтман. М.: Металлургия, 1992. – 80 с.

19. Балтренас П.Б. Обеспыливание воздуха на предприятиях стройматериалов / П.Б. Балтренас. – М.: Стройиздат, 1990. –180 с.

20. Очистка промышленных газов от пыли / В. Н. Ужов [и др.]. – М.: Химия, 1981. 392 с.

21. Старк С.Б. Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве: учебник для вузов / С.Б. Старк. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. – 400 с.

22. Справочник по пыле- и золоулавливанию / под общ. ред. А.А. Русанова. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.

23. Минко В.А. Обеспыливание технологических процессов производства строительных материалов / В.А. Минко. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1981. – 176 с.

24. Мазус М.Г. Фильтры для улавливания промышленных пылей / М.Г. Мазус, А.Д. Малыгин, М.Л. Моргулис. – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.

Мухаметшина Румия Мугаллимовна

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**

**к практическим занятиям по дисциплине**
**«Экологическое проектирование и экспертиза»**
по направлению подготовки 20.03.01
Техносферная безопасность

Редактор

Издательство
Казанского государственного архитектурно-строительного университета

| | | |
|---|---|---|
| Подписано в печать | | Формат 60×84/16 |
| Заказ № | Печать ризографическая | Усл.-печ.л. |
| Тираж | Бумага офсетная №1 | Уч.-изд.л. |

Отпечатано в полиграфическом секторе
Издательства КГАСУ.
420043, г. Казань, ул. Зеленая, д.1