

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ

В методических указаниях приводятся практические расчеты различных воздействий промышленных объектов на воздушную и водную среды и земельные ресурсы, а также рекомендуются соответствующие природоохранные мероприятия по сохранению и улучшению окружающей среды.

Техногенная нагрузка на компоненты окружающей среды (воздух, вода, почва и др.) регулируется соответствующими нормами и нормативами. Важнейшим понятием, связанным с охраной природной среды, является предельно-допустимая концентрация (ПДК) загрязняющего вещества. Под ПДК понимается такая концентрация загрязняющих веществ в единице объема природной среды, которая не оказывает на человека прямого или косвенного вредного и неприятного действия, не снижает его работоспособности и не влияет на самочувствие. ПДК измеряется в $\text{мг}/\text{м}^3$, $\text{г}/\text{м}^3$, $\text{мг}/\text{л}$ и $\text{мг}/\text{кг}$ почвы. В табл. 1-3 приведены ПДК загрязняющих веществ в различных компонентах окружающей среды. Величины ПДК всех загрязняющих веществ устанавливаются Министерством здравоохранения и медицинской промышленности РФ.

Под фоновой концентрацией загрязняющего вещества C_{ϕ} понимают количество вещества, содержащегося в единице объема природной среды, подверженной антропогенному воздействию (ГОСТ 27593-88). Фоновая концентрация измеряется в $\text{мг}/\text{м}^3$, $\text{г}/\text{м}^3$, $\text{мг}/\text{л}$ и $\text{мг}/\text{кг}$ почвы. Фоновые концентрации определяются как среднегодовые (среднемесячные) для данного региона и контролируются органами Минэкологии, Госкомгидромета, СЭС.

Охрана различных компонентов природной среды предусматривает установление нормативов предельно-допустимых выбросов (ПДВ) в атмосферу и предельно-допустимых сбросов (ПДС) в поверхностные водоемы. ПДВ - это выбросы такого количества вредных веществ в атмосферу в единицу времени, который не создает их приземную концентрацию большую, чем ПДК. Величина ПДВ

определяется с учетом ПДК и фоновой концентрации загрязняющего вещества при условии:

$$C_x \leq \text{ПДК}_x \text{ или } \frac{C_x}{\text{ПДК}_x} \leq 1,$$

где C_x - концентрация любого загрязняющего вещества в воздухе.

Величина ПДВ позволяет ограничить разовый выброс вредных веществ предприятия. Она определяется расчетом и утверждается органами санэпидемнадзора. ПДВ измеряется в $\text{г}/\text{с}$, $\text{т}/\text{год}$.

В соответствии с ГОСТ 17.1.01-77 (п. 39) под ПДС вещества в водный объект понимается масса вещества в сточных водах, максимально допустимая к отведению с установленным режимом в данном пункте водного объекта в единицу времени с целью обеспечения норм качества воды в контрольном створе. ПДС устанавливается с учетом ПДК и C_{ϕ} загрязняющих веществ в местах водопользования, а также разбавляющей способности водного объекта. ПДС измеряется в $\text{г}/\text{ч}$, $\text{кг}/\text{ч}$.

Ниже приведены условия задания и примеры решений по разделам курса "Охрана окружающей среды", а также перечень рефератов по природоохранной тематике для студентов инженерно-строительных специальностей института, изучающих данную дисциплину.

Студент готовит реферат на тему, номер которой по перечню тем контрольных заданий соответствует двум последним цифрам его учебного шифра, либо на тему, согласованную с преподавателем. Каждый реферат должен содержать разделы: введение (с обоснованием значимости темы), основную часть, где должно быть раскрыто современное состояние проблемы и описаны соответствующие мероприятия по предупреждению (профилактике) или ликвидации негативного воздействия на окружающую среду, и заключение. Объем реферата должен составлять не менее 24 машинописных страниц, оформление его - соответствовать принятому в институте стандарту (согласно ЕСКД).

Наименование	ПДК, г/м ³	
	Водоёмы коммунально-бытового, хозяйственно-питьевого назначения	Водоём рыбохозяйственного назначения
Общая минерализация	1000	1000
Азот аммонийный	2,0	0,39
Нитриты	1,0	0,02
Нитраты	10,2	9,1
Нефтепродукты	0,3	0,05
Фенолы	0,001	0,001
Хлориды	350	300
Сульфаты	500	100
Хром	0,05	0,001
Никель	0,1	0,01
Цинк	1,0	0,01
Железо	0,3	0,1
Свинец	0,03	0,01
СПАВ	0,5	0,2

Таблица 3

Предельно-допустимые концентрации основных загрязняющих веществ в почве [10]

Наименование ингридиента	ПДК, мг/кг почвы
Ацетальдегид	10,0
Бензол	0,3
Ванадий	150
Кобальт	5,0
Марганец	1000
Медь	3,0
Никель	4,0
Нитраты	130
Ртуть	2,1
Свинец	32,0
Толуол	0,3
Фтор	10,0
Хром (+3)	6,0
Хром (+6)	0,05
Цинк	+50 к фону

Таблица 1

Предельно-допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест [8]

Вещества	ПДК, мг/м ³		Класс опасности
	максимальная разовая	среднесуточная	
Азота двуокись	0,085	0,04	2
Аммиак	0,2	0,04	1
Антрид сернистый	0,5	0,05	3
Ацетон	0,35	0,35	4
Бенз(а) пирен	-	0,00001 или 3 0,1 мкг/100 м ³	1
Бензол	1,5	0,1	2
Ванадия пятиокись	-	0,002	1
Водород хлористый	0,2	0,2	2
Дихлорэтан	3	1	2
Кислота азотная	0,4	0,15	2
Кислота серная	0,3	0,1	2
Марганец и его соединения	0,1	0,001	2
Сапса (зола)	0,15 (0,5)	0,05	3
Свинец и его соединения	-	0,0003	1
Сероводород	0,008	-	2
Хлор	0,1	0,03	2
Хром шестивалентный	0,002	0,002	1
Окись углерода	5	3	4

Таблица 2

Предельно-допустимые концентрации загрязняющих веществ в воде водных объектов [9]

Наименование	ПДК, г/м ³	
	Водоёмы коммунально-бытового, хозяйственно-питьевого назначения	Водоём рыбохозяйственного назначения
Взвешенные вещества	+0,75+0,25 к фону	+0,25 к фону
Растворенный кислород (не менее)	4	6
БПК-полн	6/3	3
ХПК	30/15	15

Задание 1

Определить ПДВ загрязняющих веществ одиночного источника (котельной). Определить максимальную приземную (на высоте 1,5 м от земли) концентрацию загрязняющих веществ и расстояние, на котором она может наблюдаться, при наступлении неблагоприятных метеорологических условий (НМУ), то есть при скорости ветра $\leq 0,5$ м/с.

Построить кривую распределения приземных концентраций загрязнения по оси факела (для случая НМУ).

Уточнить размеры санитарно-защитной зоны (СЗЗ) в соответствии с розой ветров данного района.

Определение ПДВ загрязняющих веществ одиночного источника проводится по методике, принятой в ОНД-86 [11] (в г/с).

1. Величина ПДВ (г/с) по каждому из вредных веществ рассчитывается по формуле

$$ПДВ = \frac{(ПДК - C_{ф}) H^2}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \cdot \sqrt[3]{W_1 \Delta T},$$

где ПДК - предельно-допустимая концентрация загрязняющего вещества, мг/м³; $C_{ф}$ - фоновая концентрация вредного вещества, мг/м³; H - высота источника выброса, м; W_1 - расход газовой воздушной смеси, м³/с;

$$W_1 = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \omega_0,$$

ω_0 - скорость выхода газовой воздушной смеси, м/с; D - диаметр устья трубы, м.

За величину ΔT принимается разница температур выбрасываемого газовой воздушного потока T_c и окружающего воздуха T_a °С:

$$\Delta T = T_c - T_a.$$

За T_a принимается средняя температура самого жаркого месяца, а для котельных, работающих только для отопления, за T_a принимается средняя температура самого холодного месяца года:

A - коэффициент стратификации, учитывающий вертикальные перемещения воздуха в зависимости от степени расчлененности рельефа. Коэффициент A изменяется от 120 до 250, а для Московской области $A = 140$; F - безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ.

Для легких газов, у которых скорость упорядоченного осаждения в воздухе равна $0, F = 1$, а для мелкодисперсных аэрозолей и тяжелых газов:

$$F = 2 \text{ при степени очистки } 90\%;$$

$$F = 2,5 \text{ " " " } 75-90\%;$$

$$F = 3,0 \text{ " " " } < 75\%.$$

Для любых загрязняющих веществ в присутствии паров воды $F = 3,0$; m и n - безразмерные коэффициенты, определяемые условиями выхода газовой воздушной смеси и зависящие от соотношения высоты источника выброса, его диаметра, скорости и температуры отходящих газов.

Для круглых источников m и n рассчитываются по формулам

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

при параметре $f \leq 100$ (а это почти всегда в стандартных источниках)

$$f = 1000 \frac{\omega_0 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T};$$

$$n = 0,532 V_m^2 - 2,13 \cdot V_m + 3,13;$$

$$V_m = 0,65 \cdot 3 \sqrt{\frac{W_1 \cdot \Delta T}{H}} \text{ при скорости ветра, изменяющейся в пределах } 0,5 < V_{\text{ветра}} \leq 2 \text{ м/с};$$

η - коэффициент, учитывающий влияние рельефа. При перепаде высот менее 50 м $\eta = 1$, при перепаде высот более 50 м $\eta > 1$ и зависит от соотношения высоты трубы и высоты препятствия (H/h_0), а также от соотношения ширины и высоты препятствия (a_0/h_0).

2. Максимальная концентрация загрязняющего вещества при фиксированных выбросах из источника (M_x , г/с) рассчитывается по формуле

$$C_{\max} = \frac{A \cdot M_x \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot 3 \sqrt{W_1 \cdot \Delta T}}.$$

При этом замеренная (фиксированная) масса загрязняющего вещества M_x может быть любая: больше или меньше величины ПДВ.

Расстояние от источника загрязнения, на котором наблюдается максимальная концентрация вредного вещества, определяется по формуле

$$l_{\max} = \frac{5 - F}{4} \cdot d \cdot H,$$

где d - аэродинамический коэффициент.

При холодных выбросах, когда $\Delta T \approx 0^\circ\text{C}$, $d = 5,7$; при горячих выбросах, то есть $\Delta T \gg 5^\circ\text{C}$, коэффициент d определяется по формуле

$$d = 2,48 \cdot \left[1 + 0,28 \sqrt[3]{800 \frac{\omega \cdot D}{H}} \right]^3.$$

3. Построение кривой распределения приземных концентраций загрязнения по оси факела проводится следующим образом. Находим C_x по формуле

$$C_x = C_{\max} \cdot S_{0-l_x},$$

где C_x - концентрация загрязнения в любой точке по оси факела, $\text{мг}/\text{м}^3$; S_{0-l_x} - коэффициент пересчета от максимальной концентрации $C_{\max}$ к концентрации загрязнения в любой точке на расстоянии l_x от источника выброса.

Коэффициент S_{0-l_x} определяется:

$$\text{при } \frac{l_x}{l_{\max}} < 1 \quad S_{0-l_x} = 3 \left(\frac{l_x}{l_{\max}} \right)^4 - 8 \left(\frac{l_x}{l_{\max}} \right)^3 + 6 \left(\frac{l_x}{l_{\max}} \right)^2,$$

$$\text{при } 1 < \frac{l_x}{l_{\max}} \leq 8 \quad S_{0-l_x} = \frac{1,13}{0,13 \cdot \left(\frac{l_x}{l_{\max}} \right)^2 + 1}.$$

Кривая распределения приземных концентраций по оси факела строится по величине максимальной концентрации и как минимум четырем точкам на различных расстояниях от источника выброса.

4. Размер санитарно-защитной зоны (СЗЗ) определяется по Санитарным нормам (СН-245-71) в соответствии с классом предприятия. Корректировка размера СЗЗ с учетом розы ветров, преобладающих в данном районе, выполняется по формуле:

$$l = L_0 \cdot \frac{P}{P_0},$$

где l - длина румба по СЗЗ; L_0 - размер СЗЗ по СН-245-71; P - среднегодовая повторяемость направления ветров рассматриваемого румба по действующей розе ветров, %; P_0 - среднегодовая повторяемость (в %) направления ветров одного румба при круговой розе ветров; при восьмирумбовой розе ветров $P_0 = 12,5\%$.

Пример выполнения задания 1

Рассмотрим котельную с одиночным источником выбросов.

Котельная, работающая на мазуте, производит вредные выбросы, представленные окислами углерода CO, азота NO₂, серы SO₂, ванадия V₂O₅ и золой. Котельная имеет одну дымовую трубу с диаметром D ее устья - 1,4 м и высотой $H = 35$ м. Скорость выхода газовой смеси ω составляет 7 м/с, ее температура $T_2 = 125^\circ\text{C}$. Средняя температура самого жаркого месяца года T_a равна $+25^\circ\text{C}$.

Фоновые концентрации C_{ϕ} вредных веществ по данным санитарно-эпидемиологической службы составляют: CO - 2 $\text{мг}/\text{м}^3$; NO₂ - 0,03 $\text{мг}/\text{м}^3$; SO₂ - 0,2 $\text{мг}/\text{м}^3$; V₂O₅ - 0,005 $\text{мг}/\text{м}^3$ и золы - 0,1 $\text{мг}/\text{м}^3$. ПДК вредных веществ (газовых) приведены в табл. 1.

Котельная расположена в Московской области, местность ровная, с перепадом высот менее 25 м. Степень очистки пылегазоочистного оборудования - 80%. В районе расположения котельной среднегодовая повторяемость направления ветров (при восьмирумбовой розе ветров) составляет С - 17%, СВ - 17%, В - 16%, ЮВ - 12%, Ю - 10%, ЮЗ - 7%, З - 9%, СЗ - 12%.

1. Определение величины ПДВ для окиси углерода CO:

$F = 1$, т.к. СО - легкий газ, у которого скорость упорядоченного осаднения в воздухе равна 0;
 $\eta = 1$, т.к. местность ровная, с перепадом высот менее 50 м, $A = 140$ (для Московской области)

$$T = 125 - 25 = 100^\circ\text{C};$$

$$W_1 = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \omega_0 = \frac{3,14 \cdot 1,4^2}{4} \cdot 7 = 10,8 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$f = 1000 \frac{7 \cdot 1,4}{35^2 \cdot 100} = \frac{7 \cdot 1,4}{1225} = 0,08;$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,08} + 0,34 \sqrt[3]{0,08}} =$$

$$= \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot 0,28 + 0,34 \cdot 0,43} = \frac{1}{0,85} = 1,18;$$

$$V_{\text{ж}} = 0,65 \sqrt[3]{\frac{10,8 \cdot 100}{35}} = 0,65 \sqrt[3]{\frac{1080}{35}} =$$

$$= 0,65 \sqrt[3]{30,8} = 0,65 \cdot 3,14 = 2,04;$$

$$n = 0,532 \cdot 2,04^2 - 2,13 \cdot 2,04 + 3,13 = 0,532 \cdot 4,16 -$$

$$- 2,13 \cdot 2,04 + 3,13 = 2,21 - 4,34 + 3,13 = 1,0;$$

$$ПДВ_{\text{СО}} = \frac{(5 - 2) \cdot 35^2}{140 \cdot 1,0 \cdot 1,18 \cdot 1,0 \cdot 1,0} \sqrt[3]{1080} = \frac{3 \cdot 35^2}{165,2} \cdot 10,25 =$$

$$= 227,86 = 227,9 \text{ г/с}.$$

2. Определение максимальной концентрации СО.

Примем, что замеренное количество выбрасываемой окиси углерода M_x составило 60% от величины ПДВ, т.е.

$$M_x = 0,6 \cdot 227,9 = 136,7 \text{ г/с}.$$

$$C_{\text{max}} = \frac{140 \cdot 136,7 \cdot 1,0 \cdot 1,18 \cdot 1,0 \cdot 1,0}{35^2 \cdot \sqrt[3]{1080}} = \frac{19138 \cdot 1,18}{1225 \cdot 1,02} = 1,85 \text{ мг/м}^3.$$

Проверим, соблюдается ли основное законодательное требование по охране воздуха: $C_x \leq \text{ПДК}$:

$$C_{\text{max}} + C_{\phi} = 1,85 + 2,0 = 3,85 \text{ мг/м}^3 < \text{ПДК} \quad (5 \text{ мг/м}^3).$$

Расстояние от источника загрязнения, на котором наблюдается максимальная концентрация окиси углерода, равна:

$$L_{\text{max}} = \frac{5 - 1}{4} \cdot d \cdot 35;$$

$$d = 2,48 \left[1 + 0,28 \cdot 9,23 \cdot \left(1,3 \sqrt[3]{\frac{7 \cdot 1,4}{35}} \right) \right] =$$

$$= 2,48 \left[1 + 2,58 \left(\frac{1,3 \cdot 9,8}{35} \right) \right] = 2,48 \cdot [1 + 2,58 \cdot 0,36] =$$

$$= 2,48 \cdot 1,92 = 4,72;$$

$$L_{\text{max}} = \frac{5 - 1}{4} \cdot 4,72 \cdot 35 \approx 165 \text{ м}.$$

3. Построение кривой распределения концентрации СО по оси факела. Для упрощения расчетов величину L_x принимаем равной $1/3$, $2/3$, $1,33$ и $1,66$ от L_{max} . Таким образом, определим концентрацию окиси углерода на расстояниях 55, 110, 220 и 275 м от источника загрязнения (котельной) (рис. 1):

$$S_{0-55} = 3 \cdot \left(\frac{55}{165} \right)^4 - 8 \cdot \left(\frac{55}{165} \right)^3 + 6 \cdot \left(\frac{55}{165} \right)^2 =$$

$$= 3 \left(\frac{1}{3} \right)^4 - 8 \left(\frac{1}{3} \right)^3 + 6 \left(\frac{1}{3} \right)^2 = 0,41;$$

$$C_1 = 1,85 \cdot 0,41 = 0,76 \text{ мг/м}^3;$$

$$S_{0-110} = 3 \cdot \left(\frac{110}{165} \right)^4 - 8 \left(\frac{110}{165} \right)^3 + 6 \left(\frac{110}{165} \right)^2 =$$

$$= 3 \left(\frac{2}{3} \right)^4 - 8 \left(\frac{2}{3} \right)^3 + 6 \left(\frac{2}{3} \right)^2 = 0,89;$$

$$C_2 = 1,85 \cdot 0,89 = 1,65 \text{ мг/м}^3;$$

$$S_{0-220} = \frac{1,13}{0,13 \left(\frac{220}{165} \right)^2 + 1} = 0,96;$$

$$C_3 = 1,85 \cdot 0,96 = 1,78 \text{ мг/м}^3;$$

$$S_{0-275} = \frac{1,13}{0,13 \left(\frac{275}{165} \right)^2 + 1} = \frac{1,13}{1,36} = 0,83;$$

$$C_4 = 1,85 \cdot 0,83 = 1,54 \text{ мг/м}^3.$$

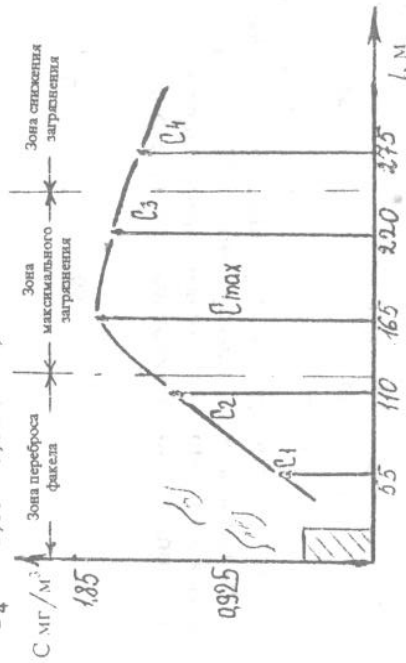


Рис. 1. Кривая распределения концентраций загрязнения СО по оси факела

4. Определение размеров СЗЗ и ее корректировка с учетом розы ветров. Для котельной, относящейся по СН-245-71 к V классу предприятий, нормативный размер СЗЗ равен 50 м от центра дымовой трубы. В том случае, когда расчет показывает, что $C_{max} + C_{\phi} \geq \text{ПДК}$, за размер СЗЗ принимается расстояние от источника выброса до дальней границы зоны максимального задымления, где величина загрязнения равняется 0,8 от C_{max} .

В данном случае $C_{max} + C_{\phi} < \text{ПДК}$.

Размеры СЗЗ по различным румбам составляют:

$$C \rightarrow l = 50 \cdot \frac{17}{12,5} = 68 \text{ м};$$

$$CB \rightarrow l = 50 \cdot \frac{17}{12,5} = 68 \text{ м};$$

$$B \rightarrow l = 50 \cdot \frac{16}{12,5} = 64 \text{ м};$$

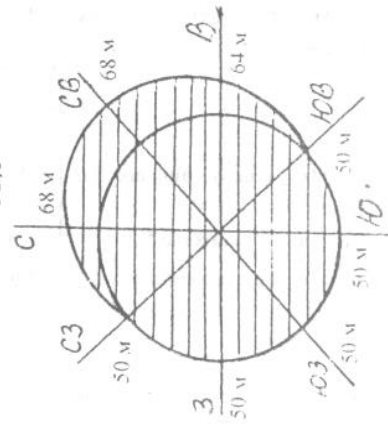
$$\text{ЮВ} \rightarrow l = 50 \cdot \frac{12}{12,5} = 48 \text{ м};$$

$$\text{Ю} \rightarrow l = 50 \cdot \frac{10}{12,5} = 40 \text{ м};$$

$$\text{ЮЗ} \rightarrow l = 50 \cdot \frac{7}{12,5} = 28 \text{ м};$$

$$З \rightarrow l = 50 \cdot \frac{9}{12,5} = 36 \text{ м};$$

$$\text{СЗ} \rightarrow l = 50 \cdot \frac{12}{12,5} = 48 \text{ м}.$$



Если расчетная величина L_0 СЗЗ оказалась менее 50 м, то L_0 принимается равной минимальному значению по СЗЗ, т.е. 50 м (рис. 2).

Ниже в табл. 4 приведены различные варианты задания.

Рис. 2. Размер СЗЗ с учетом розы ветров района расположения котельной

* Значения П/К для загрязняющих веществ приведены в табл. 1.

Перечень данных		Препосчитанная цифра шифра																	
Эффективность очистки Э, %	Повторяемость ветров, %	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10								
		С-17	С-10	С-9	С-12	С-12	СВ-10	СВ-12	С-5	С-12	С-16	СВ-10	СВ-12	СВ-16	С-15	С-8	С-16	С-11	С-17
90	90	80	80	80	75	75	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
СВ-17	СВ-15	СВ-10	СВ-10	СВ-10	СВ-12	СВ-12	СВ-10	СВ-12	СВ-10	СВ-12	СВ-10	СВ-12	СВ-10	СВ-12	СВ-16	СВ-15	СВ-10	СВ-13	СВ-17
В-16	В-17	В-11	В-12	В-12	В-12	В-12	В-8	В-12	В-8	В-12	В-12	В-12	В-12	В-15	В-15	В-12	В-10	В-13	В-18
ЮВ-12	ЮВ-17	ЮВ-14	ЮВ-12	ЮВ-12	ЮВ-12	ЮВ-10	ЮВ-10	ЮВ-12	ЮВ-10	ЮВ-12	ЮВ-10	ЮВ-12	ЮВ-10	ЮВ-12	ЮВ-8	ЮВ-15	ЮВ-9	ЮВ-11	ЮВ-17
Ю-10	Ю-14	Ю-16	Ю-11	Ю-11	Ю-12	Ю-16	Ю-10	Ю-12	Ю-16	Ю-10	Ю-12	Ю-10	Ю-12	Ю-10	Ю-12	Ю-16	Ю-7	Ю-11	Ю-18
3-9	3-7	3-15	3-15	3-15	3-16	3-17	3-16	3-17	3-16	3-17	3-16	3-17	3-16	3-17	3-11	3-13	3-18	3-11	3-18
СЗ-12	СЗ-8	СЗ-9	СЗ-14	СЗ-14	СЗ-12	СЗ-17	СЗ-14	СЗ-12	СЗ-17	СЗ-14	СЗ-17	СЗ-14	СЗ-12	СЗ-17	СЗ-13	СЗ-11	СЗ-18	СЗ-11	СЗ-18

Окончание табл. 4

Перечень данных										Посчитанная цифра шифра									
Высота трубы Н, м	Диаметр устья трубы D, м	Скорость выхода газовой смеси ω, м/с	Температура газовой смеси в Т, °С	Препосчитанная цифра шифра															
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	25	30	40	0,01	0,01
35	1,5	8	120	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	25	30	40	Золы	Золы
45	1,1	6	90	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	25	30	40	50	SO ₂	SO ₂
45	1,2	6	95	3	4	5	6	7	8	9	10	20	25	30	40	50	60	NO ₂	NO ₂
45	1,3	6	100	4	5	6	7	8	9	10	20	25	30	40	50	60	70	CO	CO
45	1,4	6	110	5	6	7	8	9	10	20	25	30	40	50	60	70	80	SO ₂	SO ₂
45	1,5	6	120	6	7	8	9	10	20	25	30	40	50	60	70	80	90	V ₂ O ₅	V ₂ O ₅
45	1,6	6	130	7	8	9	10	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	Золы	Золы
45	1,7	6	140	8	9	10	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	110	CO	CO
45	1,8	6	150	9	10	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	NO ₂	NO ₂
45	1,9	6	160	10	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	SO ₂	SO ₂
45	2,0	6	170	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	V ₂ O ₅	V ₂ O ₅
45	2,1	6	180	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	Золы	Золы
45	2,2	6	190	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	CO	CO
45	2,3	6	200	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	NO ₂	NO ₂
45	2,4	6	210	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	SO ₂	SO ₂
45	2,5	6	220	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	V ₂ O ₅	V ₂ O ₅
45	2,6	6	230	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	Золы	Золы
45	2,7	6	240	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	CO	CO
45	2,8	6	250	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	NO ₂	NO ₂
45	2,9	6	260	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	SO ₂	SO ₂
45	3,0	6	270	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	V ₂ O ₅	V ₂ O ₅
45	3,1	6	280	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	Золы	Золы
45	3,2	6	290	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	CO	CO
45	3,3	6	300	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	NO ₂	NO ₂
45	3,4	6	310	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	SO ₂	SO ₂
45	3,5	6	320	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	V ₂ O ₅	V ₂ O ₅
45	3,6	6	330	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	Золы	Золы
45	3,7	6	340	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	CO	CO
45	3,8	6	350	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	NO ₂	NO ₂
45	3,9	6	360	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	SO ₂	SO ₂
45	4,0	6	370	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	V ₂ O ₅	V ₂ O ₅
45	4,1	6	380	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	Золы	Золы
45	4,2	6	390	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	CO	CO
45	4,3	6	400	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	NO ₂	NO ₂
45	4,4	6	410	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	SO ₂	SO ₂
45	4,5	6	420	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	V ₂ O ₅	V ₂ O ₅
45	4,6	6	430	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	Золы	Золы
45	4,7	6	440	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	CO	CO
45	4,8	6	450	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	NO ₂	NO ₂
45	4,9	6	460	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	SO ₂	SO ₂
45	5,0	6	470	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	V ₂ O ₅	V ₂ O ₅
45	5,1	6	480	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	Золы	Золы
45	5,2	6	490	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	CO	CO
45	5,3	6	500	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	NO ₂	NO ₂
45	5,4	6	510	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	SO ₂	SO ₂
45	5,5	6	520	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	V ₂ O ₅	V ₂ O ₅
45	5,6	6	530	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	Золы	Золы
45	5,7	6	540	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	CO	CO
45	5,8	6	550	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	NO ₂	NO ₂
45	5,9	6	560	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	SO ₂	SO ₂
45	6,0	6	570	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	V ₂ O ₅	V ₂ O ₅
45	6,1	6	580	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	Золы	Золы
45	6,2	6	590	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	CO	CO
45	6,3	6	600	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	NO ₂	NO ₂
45	6,4	6	610	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	SO ₂	SO ₂
45	6,5	6	620	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	V ₂ O ₅	V ₂ O ₅
45	6,6	6	630	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	Золы	Золы
45	6,7	6	640	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	CO	CO
45	6,8	6	650	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	NO ₂	NO ₂
45	6,9	6	660	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	SO ₂	SO ₂
45	7,0	6	670	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	V ₂ O ₅	V ₂ O ₅
45	7,1	6	680	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	Золы	Золы
45	7,2	6	690	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	CO	CO
45	7,3	6	700	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	NO ₂	NO ₂
45	7,4	6	710	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	SO ₂	SO ₂
45	7,5	6	720	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	V ₂ O ₅	V ₂ O ₅
45	7,6	6	730	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	Золы	Золы
45	7,7	6	740	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	CO	CO
45	7,8	6	750	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	NO ₂	NO ₂
45	7,9	6	760	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	SO ₂	SO ₂
45	8,0	6	770	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	V ₂ O ₅	V ₂ O ₅
45	8,1	6	780	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	Золы	Золы
45	8,2	6	790	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	CO	CO
45	8,3	6	800	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	NO ₂	NO ₂
45	8,4	6	810	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	SO ₂	SO ₂
45	8,5	6	820	40	50														

Задание 2

Определить ПДС сточных вод в реку, которая используется в качестве источника централизованного водоснабжения.

Определение ПДС сточных вод проводится согласно методике, изложенной в работе [12].

1. Для расчета ПДС сточных вод предварительно необходимо определить коэффициент смешения сточных и речных вод γ и кратность разбавления n .

Согласно методу В.А.Фролова-И.Д.Родзиллера [13] коэффициент смешения стоков с водой реки определяется по формуле

$$\gamma = \frac{1 - e^{-\alpha \cdot \sqrt{L}}}{1 + \frac{Q}{q} \cdot e^{-\alpha \cdot \sqrt{L}}},$$

где e - основание натурального логарифма, $e = 2,7$; α - коэффициент, учитывающий влияние гидрологических факторов смешения сточных вод:

$$\alpha = \xi \cdot \varphi \cdot 3 \sqrt{\frac{E}{q}},$$

ξ - коэффициент, зависящий от вида выпуска:

при береговом сосредоточенном выпуске $\xi = 1,0$,

при русловом " $\xi = 1,5$;

φ - коэффициент извилистости русла, равный отношению длины русла по фарватеру (середине реки) к длине по прямой, соединяющей точки выпуска и контрольного створа (при прямом русле $\varphi = 1$); E - коэффициент турбулентной диффузии, равный отношению:

$$\frac{V_{cp} \cdot H_{cp}}{200},$$

V_{cp} - средняя скорость течения реки на всем участке смешения, м/с; H_{cp} - средняя глубина реки на этом участке, м; L - расстояние от места выпуска сточных вод до расчетного створа, м; Q - расход воды в створе реки у места выпуска, м³/с; q - расход сточных вод, м³/с.

Краткость разбавления стоков в расчетном створе составляет:

$$n = \frac{\gamma \cdot Q + q}{q}.$$

2. Величина ПДС определяется для всех категорий водопользования как произведение расхода сточных вод q^i , м³/ч на допустимую концентрацию загрязняющего вещества $C_{ПДС}$, г/м³ в сбрасываемых стоках:

$$ПДС = q^i \cdot C_{ПДС}.$$

При расчете условий сброса сточных вод сначала определяется значение $C_{ПДС}$, обеспечивающее нормативное качество воды в контрольном (расчетном) створе. Величина $C_{ПДС}$ определяется по разным формулам для консервативных, взвешенных веществ и неконсервативных преимущественно органических веществ, в том числе по биохимической потребности в кислороде ($БПК_{полн}$).

Для определения $C_{ПДС}$ консервативных веществ составляем уравнение материального баланса:

$$\gamma \cdot Q \cdot C_{\phi}^i + q \cdot C_{ПДС}^i = (\gamma \cdot Q + q) \cdot C_{см}^i,$$

учитывая, что

$$\frac{C_{см}^i}{C_{ПДС}^i} = 1; \quad n = \frac{\gamma \cdot Q + q}{q},$$

где $C_{см}^i$ - концентрация i -вещества в контрольном створе; $C_{ПДС}^i$ - предельно-допустимая концентрация i -вещества.

Вышеприведенное уравнение может быть преобразовано в следующем виде:

$$C_{ПДС} = n \cdot (C_{ПДС} - C_{\phi}) + C_{\phi}.$$

Это и есть основная расчетная формула для определения $C_{ПДС}$ консервативных веществ.

Величина $C_{ПДС}$ для взвешенных веществ согласно "Правилам охраны поверхностных вод от загрязнений сточными водами" определяется исходя из условия, что содержание взвешенных веществ по сравнению с природным C_{ϕ} не должно увеличиваться более, чем на

$$\Delta C = 0,25 \text{ мг/л, при условии, что } \frac{C_{см}}{C_{ПДС}} = 1 \text{ или } C_{см} = C_{ПДС},$$

$$\text{т.е. } C_{ПДС}^{взв.в} = n \cdot (C_{см} - C_{\phi}) + C_{\phi} = n \cdot \Delta C + C_{\phi}.$$

При установлении $C_{ПДС}$ с учетом неконсервативности загрязняющего вещества расчетная формула имеет вид:

$$C_{ПДС} = n \cdot (C_{ПДС} \cdot e^{K_1 t} - C_{\phi}) + C_{\phi},$$

где K_1 - коэффициент неконсервативности для нефтепродуктов; $K_1 = 0,006 \text{ 1/сут.}$ (для всех вариантов).

Определение $C_{ПДС}$ стоков по $BPK_{полн}$

Биохимическая потребность в кислороде ($BPK_{полн}$, мг/л или г/м³) - показатель, характеризующий степень загрязненности сточных вод органическими веществами, $BPK_{полн}$ определяется количеством кислорода, потребляемого на биохимическое окисление органических веществ в процессе жизнедеятельности аэробных бактерий.

При установлении $C_{ПДС}$ по $BPK_{полн}$ расчетная формула имеет вид:

$$C_{ПДС} = n \cdot [(C_{ПДС} - C_{n.в}) \cdot e^{K_1 t} - C_{\phi}] + C_{\phi},$$

где $C_{n.в} = BPK_{полн}$ - концентрация, обусловленная органическими веществами, смытыми в водоток атмосферными осадками с площади водосбора на последнем участке пути перед контрольным створом длиной 0,5 суточного пробега.

Величина $C_{n.в}$ принимается для горных рек равной $0,6 \div 0,8 \text{ г/м}^3$, для равнинных рек, протекающих по территории, почва которых содержит небольшое количество органики, $C_{n.в} = 1,7 \div 2,0 \text{ г/м}^3$ для рек болотного питания или протекающих по территории, с которой смывается повышенное количество органических веществ, $C_{n.в}$ изменяется в пределах от 2,3 до $2,5 \text{ г/м}^3$. Если расстояние от выпуска сточных вод до

контрольного створа меньше 0,5 суточного пробега, то величина $C_{n.в}$ принимается равной нулю;

k_d - осредненное значение коэффициента неконсервативности органических веществ, $k_d = 0,065 \text{ 1/сут.}$

Время добегания t , с от места выпуска сточных вод до расчетного створа определяется по формуле

$$t = \frac{L}{V_0}.$$

Для расчета по формуле, определяющей величину $C_{ПДС}$, время t переводится в сутки. Коэффициент перевода составляет $\frac{1}{86400}$.

Полученные значения $C_{ПДС}$ для каждого типа загрязняющего вещества подставляются в вышеприведенную формулу ($C_{ПДС} = q \cdot C_{ПДС}$), откуда и определяется величина $ПДС$.

3. Необходимая степень очистки для очистных сооружений находится по формуле:

$$\Theta = \frac{(C_{пост} - C_{ПДС})}{C_{пост}} \cdot 100\%,$$

где $C_{пост}$ - концентрация вещества, поступающая на очистные сооружения; $C_{ПДС}$ - концентрация вещества в спускаемых в водоем очищенных сточных водах, обеспечивающая нормативное качество воды в контрольном створе.

Пример выполнения задания 2

Сброс сточных вод осуществляется в реку, среднемесячный расход Q которой при 95% обеспеченности составляет по данным гидрометеорологической службы $30 \text{ м}^3/\text{с}$. Средняя скорость течения реки V_{cp} на участке от выпуска до расчетного створа равна $0,64 \text{ м/с}$.

Средняя глубина реки H_{cp} равна 1,2 м. Участок реки прямой, извилистость выражена слабо.

Выпуск сточных вод производится с расходом q 0,6 м³/с. Выпуск береговой. Расстояние от места выпуска до расчетного створа по фарватеру L_{ϕ} равна 3,5 км.

Река используется в качестве источника централизованного водоснабжения и содержит фоновые концентрации взвешенных веществ $C_{взв.ф}^I = 5$ мг/л, БПК_ф = 1,8 мг/л, железа $C_{Fe}^{Fe} = 0,01$ г/м³, хлоридов $C_{Cl}^{Cl} = 100$ г/м³. Концентрация взвешенных веществ C в сточных водах, поступающих на очистную станцию, равна 200 мг/л, содержание органических веществ, выраженных БПК_{полн}, равно 250 мг/л.

Требуется определить (рис. 3):

1. Коэффициент смешения сточных вод с водой реки и кратность разбавления стоков в расчетном створе.
 2. ПДС веществ, поступающих в водный объект со сточными водами.
 3. Необходимую степень очистки по взвешенным веществам и БПК для проектируемых очистных сооружений.
1. Определение коэффициента смешения сточных вод с водой реки и кратности разбавления стоков в расчетном створе:

$$E = \frac{0,64 \cdot 1,2}{200} = 0,00384;$$

очистные сооружения
города А

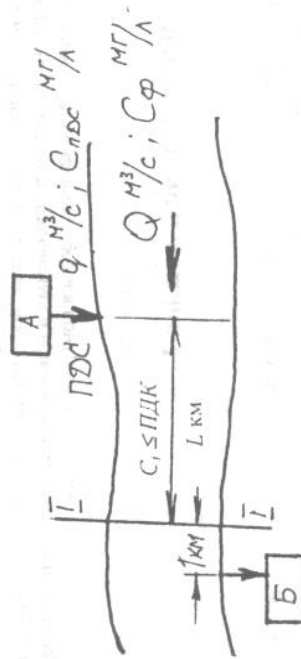


Рис. 3. Схема сброса сточных вод в реку

$$\alpha = 1 \cdot 1 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,00384}{0,6}} = 0,185;$$

$$e^{-\alpha \cdot \sqrt[3]{L}} = 2,7^{-0,185} \sqrt[3]{3500} = 0,061;$$

$$\gamma = \frac{1 - 0,061}{1 + \frac{30}{0,6} \cdot 0,061} = 0,232;$$

$$n = \frac{0,232 \cdot 30 + 0,6}{0,6} = 12,6.$$

2. Определение ПДС веществ, поступающих в водный объект со сточными водами.

Величина ПДС для железа при $C_{ПДС}^{Fe} = 0,3$ г/м³ равна:

$$C_{ПДС}^{Fe} = 12,6 (0,3 - 0,01) + 0,01 = 3,664 \text{ г/м}^3;$$

$$ПДС^{Fe} = 0,6 \cdot 3600 \cdot 3,664 = 7914 \text{ г/ч} = 7,9 \text{ кг/ч}.$$

Величина ПДС для хлоридов при $C_{ПДС}^{Cl} = 350$ г/м³ равна:

$$C_{ПДС}^{Cl} = 12,6 (350 - 100) + 100 = 3250 \text{ г/м}^3;$$

$$ПДС^{Cl} = 0,6 \cdot 3600 \cdot 3250 = 7020000 \text{ г/ч} = 7020 \text{ кг/ч}.$$

Величина ПДС для взвешенных веществ составит

$$C_{ПДС}^{взв.в} = 12,6 \cdot 0,25 + 5 = 8,15 \text{ мг/л} = 8,15 \text{ г/м}^3.$$

$$ПДС_{взв.в} = 8,15 \cdot 0,6 \cdot 3600 = 17604 \text{ г/ч} = 17,6 \text{ кг/ч}.$$

Время добегания от места выпуска сточных вод до расчетного створа равно:

$$t = \frac{3500}{0,64} = 5468,75 \text{ с} = 0,06 \text{ сут.} < 0,5 \text{ сут.}$$

Поскольку время добегания меньше 0,5 сут, $C_{н.в} = 0$.

Величина ПДС для органических веществ (по БПК_{полн}) составит:

$$C_{ПДС}^{БПК} = n \cdot [(3 - 0) e^{k_0 t} - C_{\phi}] + C_{\phi} =$$

Исходные данные

Перечень данных	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Расход воды в реке, м ³ /с	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48
Расход сточных вод, м ³ /с	0,5	0,54	0,6	0,62	0,64	0,66	0,7	0,75	0,8	0,85
Скорость потока воды в реке, м/с	0,5	0,52	0,54	0,56	0,58	0,64	0,62	0,64	0,66	0,68
Глубина реки при паводке, м	1,2	1,25	1,30	1,32	1,34	1,36	1,38	1,40	1,42	1,44
Расстояние от выпуска до расчетного створа, L, км	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
Вид выпуска	береговой					русловой				
Расстояние по фарватеру до расчетного створа, км	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
Предпоследняя цифра шифра										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Количество загрязнений в воде водоема по БПК ₅ , С _ф , мг/л	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	1,2	1,4	1,8	2,0	2,8
Количество взвешенных веществ в воде водоема С _ф , мг/л	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6
Фоновые концентрации загрязняющих веществ* в воде водоема, мг/л:										
Cl ⁻	300	150	200	300	150	200	300	150	200	300
SO ₄	500	200	300	500	200	300	500	200	300	500
нефтепродукты	0,02	0,05	0,01	0,08	0,04	0,02	0,05	0,01	0,08	0,005

$$= 12,6 \cdot (3 \cdot 0,065 \cdot 0,06 - 1,8) + 1,8 = 12,6 (3 \cdot 1,005 - 1,8) + 1,8 = 17,1 \text{ г/м}^3,$$

где $S_{\text{БПК}} = 17,1 \text{ мг/л}$ - предельно-допускаемое содержание органических веществ (по БПК_{полн}) в спускаемых в водоем сточных водах.

$$\text{ПДС}_{\text{БПК}} = 0,6 \cdot 3600 \cdot 17,1 = 36936 \text{ г/ч} = 36,9 \text{ кг/ч}.$$

3. Необходимая степень очистки по БПК составляет:

$$\Theta = \frac{250 - 17,1}{250} \cdot 100 = 93,16\% \approx 93,2\%.$$

Необходимая степень очистки по взвешенным веществам составит:

$$\Theta = \frac{200 - 8,15}{200} \cdot 100 = 95,92\% \approx 96\%.$$

ПДС поступающих в водный объект со сточными водами загрязняющих веществ и необходимая степень очистки по взвешенным веществам и БПК представлены в табл. 5.

Таблица 5

Данные расчета ПДС

Показатели состава сточных вод	Концентрация веществ, г/м ³	ПДС, кг/ч	Необходимая степень очистки, %
Взвешенные вещества	8,15	17,6	96,0
Органические вещества (БПК _{полн})	17,1	36,9	93,2
Железо Fe	3,65	7,9	-
Хлориды Cl	3250	7020	-

Ниже в табл. 6 приведены исходные данные для задания 2.

Перечень данных	Препослания цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Концентрация взвешенных веществ в сточных водах, поступающих на очистную станцию, мг/л	200	250	240	300	200	250	240	300	250	300
Концентрация загрязнений в сточных водах, поступающих на очистную станцию, по БПК ₅ , мг/л	250	300	280	350	250	300	300	350	300	350

*Значения ПДК для загрязняющих веществ приведены в табл. 2.

ОХРАНА ПОЧВ

Задание 3

Определить массу и объем осадка, образовавшегося после очистки бытовых сточных вод, который допустимо использовать в качестве удобрения для сельскохозяйственного объекта.

Расчет количества осадка, который возможно использовать в качестве удобрения, проводится по методике, разработанной авторами.

1. Составляем уравнение материального баланса, исходя из условия равномерного смешивания осадка с плодородным слоем почвы

$$C_{\text{ф}} \cdot M + C_{\text{ос}} \cdot m = C_{\text{см}} (M + m),$$

где $C_{\text{ф}}$ - фоновая концентрация i -вещества в почве, мг/кг почвы; M - масса плодородного слоя почвы, кг; $C_{\text{ос}}$ - концентрация i -вещества в осадке, мг/кг осадка; m - масса осадка, кг; $C_{\text{см}}$ - концентрация i -вещества в почве после смешивания ее с осадком, мг/кг почвы.

Для того, чтобы осадок можно было использовать в качестве удобрения, необходимо соблюдение следующего основного условия:

$$C_{\text{см}} \leq \text{ПДК},$$

где ПДК - предельно-допустимая концентрация i -вещества в почве, мг/кг почвы.

2. Определение объема W и массы M плодородного слоя почвы на участке проводится по формулам

$$W = H \cdot S,$$

где H - мощность почвенного слоя, м; S - площадь s/x объекта (участка), м²,

$$M = W \cdot \rho_{\text{п}},$$

$\rho_{\text{п}}$ - плотность почвы, т/м³.

3. Масса осадка m , подлежащего размещению на участке, определяется по вышеприведенной формуле материального баланса:

$$m = \frac{M \cdot (C_{\text{см}} - C_{\text{ф}})}{C_{\text{ос}} - C_{\text{см}}}.$$

4. Максимальный объем осадка V , предназначенного для размещения на участке, составит:

$$V = \frac{m}{\rho_{\text{ос}}},$$

где $\rho_{\text{ос}}$ - плотность осадка, т/м³.

Высота осадка будет равна: $h = \frac{V}{S}.$