

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Методические указания к практическим занятиям

В двух частях

Часть 2

*Составители А. В. Кузьмичев, Е. А. Калюжина, Т. Б. Гадаборшева*

Волгоград ВолгГАСУ 2015



© Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Волгоградский государственный  
архитектурно-строительный университет», 2015

УДК 502.17(076.5)  
ББК 20.18я73  
Т11

Т11            **Теоретические основы защиты окружающей среды [Электронный ресурс] : методические указания к практическим занятиям : в 2-х ч. Ч. 2 /** М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т ; сост. А. В. Кузьмичев, Е. А. Калюжина, Т. Б. Гадаборшева. — Электронные текстовые и графические данные (263 Кбайт). — Волгоград : ВолгГАСУ, 2015. — Учебное электронное издание сетевого распространения. — Систем. требования: PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0. — Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> — Загл. с титул. экрана.

Рассмотрены способы очистки выбросов от вредных газов и паров, изложены вопросы разбавления загрязненных выбросов путем их рассеивания в атмосфере.

Для студентов-бакалавров, обучающихся по направлению «Техносферная безопасность».

**УДК 502.17(076.5)**  
**ББК 20.18я73**

## РАСЧЕТ И ОЦЕНКА ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА С АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

**Цель работы** - произвести расчет предельно допустимого сброса (ПДС) загрязняющих веществ в водоток, оценить величину фактического сброса и проанализировать различные варианты выпуска стоков.

**Задание.** 1. Определить параметры поверхностного стока и ПДС ЗВ (взвешенные вещества, нефтепродукты, свинец) в водоток с автодороги в Тверской области.

2. Оценить величину фактического сброса (ФС) этих веществ с поверхностными сточными водами по каждому ингредиенту.

3. Изобразить в виде гистограммы результаты расчета, провести их анализ для обоснования вариантов сброса сточных вод (СВ) в водоток без предварительной очистки или через очистные сооружения и предложить соответствующие инженерные решения.

Исходные данные: категория автомобильной дороги  $j$ , ее продольный уклон  $i$ , площадь участка водосбора  $F$ , глубина в русле водотока  $h$ , средняя скорость потока в русле  $g_n$ , расстояние от места выпуска СВ до контрольного створа по течению реки  $l_\phi$ , коэффициент извилистости  $f$  минимальный расход воды в водотоке  $Q_{\min}$ , -представлены в табл. 1.

**Методика расчета.** Оседающие на покрытии автомобильных дорог пыль, продукты износа покрытий, шин и износ колодок, выбросы от работы ДВС автомобилей, материалы, используемые для борьбы с гололедом и т.д., приводят (при смыве дождевыми и талыми водами) к насыщению вод поверхностного стока различными ЗВ, которые могут попасть в водотоки и водоемы.

Для оценки загрязнения поверхностного стока (сброса) с автомобильных дорог и необходимости его очистки рассчитывают следующие параметры:

1. Расход дождевых вод согласно СНиПу 2.04.03-85

$$Q_c^g = g_{yd} \cdot F \cdot K,$$

где  $g_{yd}$  - удельный расход дождевых вод, л/(с·га), для Тверской и окружающих ее областей и времени поверхностной концентрации 5 мин  $g_{yd} = 4$  л/ (с·га);

$F$  - площадь участка автодороги (моста), равная произведению длины участка на ширину части дороги, с которой вода будет поступать в водоток, или на расстояние в свету между перилами мостов (но не более 5 га), га;

$K$  - коэффициент, учитывающий изменение удельного расхода воды в зависимости от среднего продольного уклона участка дороги или моста.

Значения  $K$  связаны со средним продольным уклоном дороги  $i$  следующим образом:

$i, ‰$	0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,5	0,1	
$K$	0,56	0,8	0,87	0,94	1,0	1,05	1,18	1,35	0,56	
$i, ‰$	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	2,0	
$K$	1,48	1,59	1,69	1,77	2,2	1,85	1,92	1,99	2,12	1,48

Таблица 1

Исходные данные

Вариант	$F, \text{га}$	$j$	$i, ‰$	$\mathcal{G}_n, \text{м/с}$	$h, \text{м}$	$l_\phi, \text{м}$	$f$	$Q_{\min}, \text{м}^3/\text{с}$
1	1,92	I	1,2	0,8	1,7	300	1,01	62
2	1,98	II	1,5	1,0	2,0	320	1,03	65
3	2,51	III	1,1	0,7	3,0	350	1,05	80
4	1,35	IV	0,5	0,6	3,5	280	1,06	75
5	1,55	V	6,0	0,9	2,8	330	1,02	63
6	2,80	I	0,3	0,7	2,9	295	1,04	68
7	2,10	II	0,4	0,6	1,8	325	1,07	70
8	1,85	III	0,5	0,9	1,9	290	1,01	67
9	1,78	IV	0,6	0,5	2,1	310	1,02	64
10	2,75	V	0,8	0,6	2,2	287	1,03	69
11	2,01	I	0,9	0,7	2,4	299	1,04	71
12	1,96	II	1,0	0,8	2,5	301	1,05	72
13	1,87	III	1,3	0,9	2,6	310	1,06	74
14	1,75	IV	1,5	0,7	2,8	315	1,01	61
15	2,86	V	2,0	0,8	2,1	290	1,02	62
16	2,50	I	2,5	0,9	2,0	300	1,03	65
17	2,44	II	3,0	0,7	1,9	310	1,04	66
18	2,40	III	3,5	0,6	1,8	315	1,05	68
19	2,35	IV	4,0	0,5	1,7	320	1,06	69
20	2,25	V	4,5	0,6	1,8	330	1,05	70
21	2,15	I	5,0	0,7	1,9	340	1,04	71
22	2,10	II	0,1	0,8	1,7	350	1,03	72
23	2,00	III	0,3	0,9	1,8	340	1,02	73
24	1,99	IV	0,4	0,6	0,9	320	1,01	63

2. Расход талых вод

$$Q_c^r = 0,5F \cdot h_c \cdot K_c,$$

где  $h_c$  - слой стока за 10 дневных часов, мм, для Тверской и окружающих ее областей  $h_c = 20$  мм;

$K_c$  - коэффициент, учитывающий окучивание снега,  $K_c = 0,8$ .

3. Фактический сброс ЗВ с поверхностными сточными водами по каждому ингредиенту (взвешенные вещества, свинец, нефтепродукты) загрязнения

$$\Phi C = 3600 C_\phi Q_c,$$

где  $3600$  - переводной коэффициент;  
 $C_{\phi}$  - фактическая концентрация ЗВ в поверхностном стоке по каждому ингредиенту загрязнений (табл.2), мг/л;  
 $Q_c$  - расчетный расход поверхностных сточных вод (принимают наибольший из рассчитанных выше расходов дождевых и талых вод), л/с.

Таблица 2

Концентрации загрязнений в поверхностном стоке с покрытий с  
автодорог, мг/л

Категория автодорог $j$	Дождевые воды			Талые воды		
	Взвешенные вещества	Свинец	Нефтепро- дукты	Взвешенные вещества	Свинец	Нефтепро- дукты
I	1300	0,28	24	2700	0,3	26
II	1040	0,22	19,2	2160	0,24	20,8
III	780	0,17	14,4	1620	0,18	15,6
IV	520	0,11	9,6	1080	0,12	10,4
V	390	0,08	7,2	810	0,09	7,8

4. Коэффициент турбулентной диффузии при заданной скорости потока  $\mathcal{G}_n$

$$D = \mathcal{G}_n h / 200.$$

5. Коэффициент, учитывающий влияние гидравлических факторов смещения, при  $Q_{\max} = Q_c$

$$\alpha = \tau \sqrt[3]{D / Q_{\max}}.$$

6. Коэффициент смешения сточных вод с водой водотока

$$\gamma = \frac{1 - \exp(-\alpha \sqrt{l_{\phi}})}{1 + \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}} \exp(-\alpha \sqrt{l_{\phi}})}.$$

7. Предельно допустимое содержание ЗВ в поверхностном стоке с учетом смешения его с водами водотока по формуле Фролова - Родзиллера:

$$Q_{np.c} = \gamma Q_{\min} (C_{ПДК} - C_{\phi}) / (Q_c + C_{ПДК}),$$

где  $Q_{\min}$  - среднемесячный (минимальный) расход воды в водотоке 95-процентной обеспеченности, м<sup>3</sup>/с;  
 $C_{ПДК}$  - ПДК данного ЗВ в водотоке, мг/л.

ПДК загрязняющих веществ в воде водных объектов рыбохозяйственного назначения следующие: взвешенных веществ в водотоке в природных условиях  $C_B + 0,25$  мг/л, нефтепродуктов и свинца 0,05 и 0,1 мг/л соответственно.

8. Предельно допустимый сброс для каждого ингредиента загрязнения

$$ПДС = 3600 C_{ПДК} Q_c,$$

По вычисленным ПДС и ФС для каждого ингредиента загрязнения строят гистограмму.

Если  $ФС \leq ПДС$ , то может быть допущен сброс поверхностных СВ с автодороги без очистки непосредственно в водоток. Если  $ФС > ПДС$ , сброс поверхностных СВ без очистки не допускается. При очистке следует на выходе из очистного сооружения обеспечивать концентрацию ЗВ, не превышающую  $C_{ПДК}$ .

**Инженерный анализ.** Если при анализе результатов расчетов сделан вывод допустимости сброса поверхностных СВ без очистки, то при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов применяют обычные схемы водоотвода в соответствии с действующими нормами на проектирование и типовыми решениями [1, 8]. В противном случае следует применять схемы поверхностного водоотвода с покрытия автомобильных дорог и мостов, обеспечивающие сбор вод поверхностного стока и направляющие их на очистные сооружения. Конструкции очистных сооружений рекомендуется, как правило, принимать по действующим типовым проектам. Допускается применение индивидуальных очистных сооружений, например, камерных и тонкослойных отстойников.

В проектах автомобильных дорог и мостов не следует предусматривать устройство мойки автомобилей в пределах водоохранной зоны водотока и водоемов.

По результатам расчетов должно быть принято решение о целесообразности или нецелесообразности очистки сточных вод с автодороги. При необходимости очистки следует предложить конструкции очистных сооружений или отстойников.

## Практическая работа № 2

### РАСЧЕТ И ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ВДОЛЬ АВТОДОРОГ

**Цель работы** - оценить загрязнение придорожных земель выбросами свинца и выбрать защитные мероприятия, позволяющие уменьшить ширину их распространения.

**Задание.** Выполнить расчет и оценку, уровня загрязнения придорожных земель выбросами свинца по исходным данным (см. таблицу)

и выбрать мероприятия по уменьшению ширины распространения выбросов в следующих условиях:

1) при реконструкции дорог III категории по нормативам для дорог I категории;

2) при отказе от реконструкции.

Расчетный период эксплуатации автодороги 20 лет (7300 суток); угол направления ветра к оси трассы  $\varphi = 0,7$ ; фоновое загрязнение отсутствует; тип земель - пахота с параметрами  $h = 0,2$  м и  $p = 1600$  кг/м<sup>3</sup>. Легковые автомобили используют бензин АИ-93, а грузовые (карбюраторные) - А-76. Сельскохозяйственные угодья начинаются на расстоянии 50 м от внешней кромки проезжей части автодороги, а ширина проезжей части одного направления автодороги I категории составляет 11,25 м.

**Методика расчета.** При работе двигателей внутреннего сгорания (ДВС) автомобилей образуются «условно твердые» выбросы, состоящие из аэрозольных и пылевидных частиц. В небольших количествах выбрасываются соединения свинца и сажа. При интенсивности движения более 40 тыс. автомобилей в сутки существенными становятся выбросы кадмия и цинка. Наибольшую опасность для биосферы представляет накопление в почве соединений свинца, так как они хорошо усваиваются растениями и затем переходят по звеньям пищевой цепи в организмы животных, птиц и человека. Выбросы соединений свинца происходят при работе ДВС автомобилей на этилированном бензине (в бензине марок А-76 и АИ-93 содержится соответственно 0,17 и 0,37 г/кг соединений свинца). Около 20 % общего количества свинца разносится с отработавшими газами в виде аэрозолей, а 80 % выпадает в виде твердых частиц размером до 25 мкм и нерастворимых соединений на поверхности прилегающих к дороге земель. Они накапливаются в почве на глубине пахотного слоя при фильтрации атмосферных осадков вдоль автодорог.

### Исходные данные

Вариант	$N_a$	Распределение автомобилей по типам, %					$\mathcal{G}_1$ , км/ч	$\mathcal{G}_2$ , км/ч
		1	2	3	4	5		
1	6200	40	5	30	20	5	30	70
2	6000	35	10	30	20	5	35	90
3	5000	35	10	30	15	10	40	80
4	4000	40	5	25	20	10	30	75
5	3000	35	10	20	30	5	35	80
6	3500	45	2	28	22	3	45	85
7	4000	50	5	5	30	10	50	90
8	4500	35	15	25	25	0	45	80
9	5000	25	15	25	25	10	40	75
10	5500	20	20	20	20	20	35	70
11	6100	40	5	30	20	5	30	75
12	6300	35	10	30	10	5	35	90

13	6500	40	5	30	15	10	40	80
14	6700	35	5	30	30	0	30	75
15	6900	35	10	20	30	5	35	80
16	3500	45	10	30	15	0	60	90
17	4000	50	5	5	30	10	50	90
18	4500	35	15	25	20	5	45	80
19	5000	25	15	258	25	10	40	75
20	5500	20	20	20	20	20	30	70
21	6200	35	10	25	25	5	35	75
22	3000	35	10	30	20	5	50	90
23	6100	40	10	30	20	0	30	80
24	6600	45	5	20	25	5	35	75
25	6800	30	15	25	30	0	40	90

**Примечание,**  $\mathcal{G}_1$  и  $\mathcal{G}_2$  - средняя скорость движения транспортного потока до и после реконструкции соответственно.  $N_a$  – интенсивность движения.

Оценку загрязнения придорожных земель следует вести на основе расчета уровня загрязнения поверхностного слоя почвы (УЗП). Параметры расчета следующие:

1. Мощность эмиссии свинца при односуточной интенсивности движения за расчетный период (в миллиграммах)

$$P_{\mathcal{G}} = K_n m_p K_T K_o \left( \sum_1^i G_i P_i N_i \right),$$

где  $K_n = 0,74$  - коэффициент пересчета;

$m$  - коэффициент, учитывающий дорожные условия (см. рис. 1)

$K_T$  - коэффициент, учитывающий долю выбрасываемого свинца в виде твердых частиц в общем объеме выбросов;

$K_o = 0,8$  - коэффициент, учитывающий оседание свинца в системе выпуска отработавших газов автомобиля;

$G_i$  - средний эксплуатационный расход топлива для данного типа автомобиля, л/км;

Группа	1	2	3	4	5	6
$G_i, л/км$	0,11	0,16	0,33	0,34	0,37	0,28

$N_i$  - среднесуточная интенсивность движения автомобилей данного типа, автомобилей в сутки;

$P_i$  - содержание добавки свинца в топливе, применяемом в автомобиле данного типа, г/кг.

2. Эмиссия отложений свинца на поверхности земли

$$P_n = (0,4K_l \varphi T_p P_{\mathcal{G}}) + F,$$

где  $K_l$  - коэффициент, учитывающий расстояние  $l$  от края проезжей части;



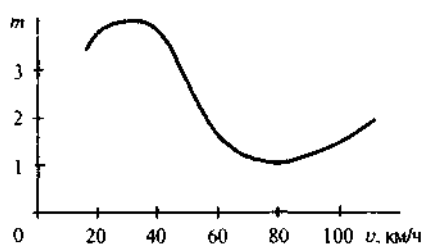
$\varphi$  - коэффициент, зависящий от силы и направления ветра, принимается равным отношению площади розы ветров со стороны дороги, противоположной рассматриваемой зоне, к общей ее площади;

$T_p$  - расчетный срок эксплуатации автодороги в сутках,  $T_p = 7300$  суток, что соответствует 20-летнему перспективному сроку;

$F$  - фоновое загрязнение поверхности земли,  $\text{мг/м}^2$ .

Коэффициент  $K_i$  принимают по следующим данным:

$l, \text{ м}$	10	20	30	40	50	60	80	100	150	200
$K_i$	0,50	0,10	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,005	0,001	0,0002



Зависимость коэффициента  $m$  от средней скорости транспортного потока  $v$

Рис.1

Поскольку на автодорогах I категории транспорт разделен на два потока, противоположных по направлению движения и отделенных друг от друга разделительной полосой шириной не менее 5 м, расчет следует вести отдельно для каждого потока при интенсивности движения, равной половине общей, т.е. сначала определяют эмиссию свинца от транспортного потока каждого направления, затем рассчитывают величину  $P_{n1}$  на заданном расстоянии  $l$  от края проезжей части, ближайшего к расчетной точке  $A$  потока движения. После этого вычисляют  $P_{n2}$  в точке  $A$  в противоположном направлении от потока движения, увеличив расстояние  $l$  на ширину проезжей части одного направления плюс 5 м и суммируют  $P_{n1}$  и  $P_{n2}$ .

УЗП свинцом на различном расстоянии от края проезжей части автодороги:

$$P_c = P_n / h \rho,$$

где  $h$  - толщина верхнего слоя, в котором распределяются выбросы свинца, м, на пахотных землях  $h = 0,2$  м, на остальных видах угодий, в том числе и на целине,  $h = 0,1$  м;

$\rho$  - плотность почвы,  $\text{мг/м}^3$ .

**Графические построения.** Итоговые результаты расчета как для варианта реконструкции автодороги, так и в случае отказа от него следует представить графически в координатах  $P_c$  и  $l$  и сопоставить с ПДК свинца в почве по общесанитарному показателю, равному 32  $\text{мг/кг}$ . С помощью построенного графика определяют ширину полосы от кромки проезжей части автодороги, в которой превышает ПДК, для обоих вариантов, и оценивают

влияние реконструкции автодороги на этот экологический показатель. Если ширина полосы опасного УЗП пересекает границу сельхозугодий, то следует предусмотреть защитные мероприятия.

**Инженерный анализ.** На первом этапе принятия инженерных решений по результатам расчета проверяется экологическая обоснованность проведения реконструкции автодороги по нормативам I категории. В случае ухудшения показателей УЗП в природной полосе от нее следует отказаться.

Если установлена необходимость уменьшения ширины загрязнения придорожной полосы свинцом, нужно предложить защитные мероприятия: зеленые насаждения, экраны, валы, прокладку автомобильной дороги в выемке. Следует стремиться к достижению безопасного УЗП в расчетной точке на границе сельскохозяйственных угодий, но с наименьшими затратами.

### Практическая работа № 3

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

**Цель работы** - познакомиться с анаэробным сбраживанием, которое является одним из распространенных методов обезвреживания осадков сточных вод. Оно осуществляется микроорганизмами (бактериями), способными в ходе жизнедеятельности окислять органические вещества осадков. Этот процесс происходит в метантенках (рис. 2) и сопровождается выделением большого количества метансодержащего газа брожения, который используется в тепло- энергетическом хозяйстве очистной станции и близрасположенных объектов. Допускается подача в метантенки и других сбраживаемых органических веществ (домового мусора, отбросов с решеток, производственных отходов органического происхождения и т.п.) после их дробления.

Сбраживание осадков в метантенках возможно в двух режимах: мезофильном (33 °С) и термофильном (53 °С). Выбор режима сбраживания производится с учетом методов последующей обработки и утилизации осадков, а также санитарных требований.

Термофильный процесс протекает примерно в 2 раза быстрее мезофильного (10-8 дней против 25-20) и обеспечивает полную дегельминтизацию осадка, что отвечает санитарным требованиям. Но с другой стороны, такое сбраживание требует дополнительного расхода топлива на подогрев метантенков. К тому же, осадок, сброженный в термофильных условиях, труднее отдает воду для его промывки.

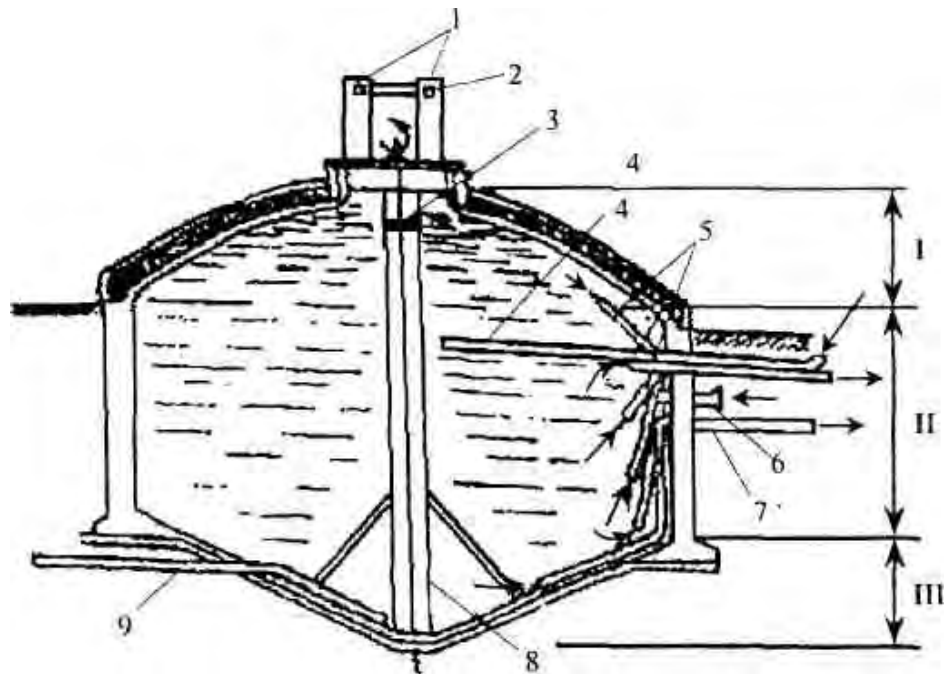


Рис. 2. Метантенк

1 - газовый колпак для сбора газа; 2 - газопровод от газового колпака; 3 - пропеллерная мешалка; 4 - трубопровод для загрузки (например, сырого осадка и активного ила); 5 - фубопроводы для удаления иловой воды или выгрузки сброженного осадка с разных уровней; 6 - инжектор подачи острого пара для подогрева содержимого метантенка и перемешивания; 7 - трубопровод выгрузки суспензии твердофазных продуктов сбраживания (например, сброженного осадка); 8 - циркуляционная труба; 9 - трубопровод для опорожнения метантенка. I - верхний конус; II - цилиндрическая часть; III - нижний конус

Если проектом предусматривается механическое обезвреживание сброженной смеси с последующей ее термической сушкой (т.е. дополнительной тепловой обработкой), то принимается мезофильный режим, которому достаточно тепла, получаемого от сжигания собственных газоброжений. Если сброженный осадок предполагается подсушивать на иловых площадках, то целесообразно выбрать термофильный режим. Мезофильный процесс в этом случае должен сопровождаться дегельминтизацией осадка. Окончательное решение принимается на основании технико-экономических расчетов.

**Задание.** Выполнить расчет метантенков для очистной станции. Исходные данные представлены в табл. 3. Эффект осветления в первичных отстойниках 50 %, концентрация загрязнений БПК снижается на 20 %. Предел распада смеси  $r_{см}$  подсчитать по известному содержанию белков, жиров и углеводов в 1 г сбраживаемого субстрата (табл. 4). Вынос активного ила из вторичного отстойника 15 мг/л. Влажность осадка из первичных отстойников 94 %, уплотненного активного ила 97 %; гигроскопическая влажность осадка 5 %, ила 5 %, сброженной смеси 6 %; плотность осадка и ила 1 т/м .

Таблица 3

## Исходные данные

Вариант	Производительность очистной станции $q_{ст}$ , м <sup>3</sup> /сут	Концентрация взвешенных веществ С, мг/л	Биохимическое потребление кислорода, мг/л	Режим сбраживания *	Зольность, %		Содержание белков, жиров, углеводов **	
					осадка	ила	в осадке	в иле
1	90000	200	350	М	30	28	1	1
2	24000	290	220	Т	32	30	1	2
3	150000	150	220	М	28	26	2	1
4	23500	200	180	Т	30	27	2	3
5	120000	150	240	М	28	25	3	3
6	14000	190	120	Т	29	27	1	4
7	13000	300	220	М	33	26	2	4
8	150000	150	500	Т	28	28	2	2
9	36000	180	140	М	29	25	2	5
10	11000	300	250	Т	33	29	3	2
11	25000	170	300	М	29	27	4	1
12	9000	260	180	Т	31	30	3	5
13	44000	140	380	М	29	29	4	2
14	18500	250	240	М	28	25	5	1
15	67000	300	290	Т	33	27	1	5
16	10000	220	200	М	32	31	5	3
17	130000	300	150	М	30	28	3	1
18	8000	200	180	Т	33	27	4	3
19	7500	290	200	Т	28	25	5	4
20	30000	240	190	Т	32	30	4	4

\* М - мезофильный режим, Т - термофильный.

\*\* Указан номер варианта в табл.4.

Таблица 4

**Содержание белков, жиров и углеводов в осадке из первичных отстойников (в числителе) и уплотненном активном иле (в знаменателе), г/г**

Вариант	Углеводы	Жиры	Белки
1	0,168/0,065	0,356/0,323	0,306/0,494
2	0,201/0,094	0,349/0,340	0,280/0,448
3	0,196/0,078	0,344/0,313	0,290/0,489
4	0,182/0,071	0,340/0,359	0,308/0,450
5	0,177/0,083	0,320/0,334	0,333/0,463

**Методика расчета.** Расчет метантенков заключается в подсчете количества образующихся на очистной станции осадков, выборе режима сбраживания, определении требуемого объема сооружений и степени распада беззольного (органического) вещества осадков.

Расчет параметров процесса ведется в следующем порядке:

1. Масса сухого вещества и активного ила в тоннах соответственно

$$Q_{\text{сух}} = \frac{C \cdot \mathcal{E} \cdot k}{1000 \cdot 1000} q_{\text{см}}, \quad (1)$$

$$I_{\text{сух}} = \frac{0,8C(1 - \mathcal{E}) + K_{\text{пр}} L_a - b}{1000 \cdot 1000} q_{\text{см}}, \quad (2)$$

- где  $C$  - концентрация взвешенных веществ в воде, поступающей на первичные отстойники, мг/л;  
 $L_a$  - биохимическое потребление кислорода (БПК) поступающей в аэротенк сточной воды, мг/л;  
 $\mathcal{E}$  - эффективность задержания взвешенных веществ в первичных отстойниках, доли единицы;  
 $q_{\text{см}}$  - средний расход сточных вод, м<sup>3</sup>/сут;  
 $k$  - коэффициент, учитывающий увеличение объема осадка за счет крупных фракций взвешенных веществ, не улавливаемых при отборе проб для анализов,  $k = 1,1 \div 1,2$ ;  
 $b$  - вынос вторичного ила из вторичных отстойников, мг/л;  
 $K_{\text{пр}}$  - коэффициент прироста активного ила,  $K_{\text{пр}} = 0,3 \div 0,5$ .

2. Масса беззольного вещества осадка и активного ила в тоннах в сутки

$$Q_{\text{без}} = \frac{Q_{\text{сух}}(100 - B_z)(100 - Z_{\text{ос}})}{100 \cdot 100}, \quad (3)$$

$$I_{\text{без}} = \frac{I_{\text{сух}}(100 - B'_z)(100 - Z_{\text{ил}})}{100 \cdot 100},$$

- где  $B_z$  и  $B'_z$  - гигроскопическая влажность сырого осадка и активного ила соответственно, %;  
 $Z_{\text{ос}}$  и  $Z_{\text{ил}}$  - зольность сухого вещества осадка и ила, %.

3. Общий расход осадков на станции по сухому и беззольному веществу соответственно

$$M_{\text{сух}} = O_{\text{сух}} + I_{\text{сух}}; \quad M_{\text{без}} = O_{\text{без}} + I_{\text{без}}. \quad (4)$$

4. Расход сырого осадка и избыточно активного ила в метрах кубических в сутки соответственно

$$q_{\text{ос}} = \frac{100 O_{\text{сух}}}{(100 - p_{\text{ос}}) \gamma_{\text{ос}}};$$

(5)

$$q_{ил} = \frac{100 I_{сух}}{(100 - p_{ил}) \gamma_{ил}},$$

где  $p_{ос}$  и  $p_{ил}$  - влажность сырого осадка и избыточно активного ила соответственно, %;

$\gamma_{ос}$  и  $\gamma_{ил}$  - плотность осадка и активного ила, т/м<sup>3</sup>.

5. Общий расход осадков по объему смеси фактической влажности

$$M_{общ} = q_{ос} + q_{ил}. \quad (6)$$

6. Средние значения соответственно влажности и зольности смеси в процентах

$$B_{см} = 100(1 - M_{сух} / M_{общ}) \quad (7)$$

$$Z_{см} = 100 \left[ 1 - \frac{M_{без}}{\frac{O_{сух}(100 - B_z)}{100} + \frac{I_{сух}(100 - B_z)}{100}} \right].$$

7. Требуемый объем метантенка в кубических метрах

$$W = 100 M_{общ} / D, \quad (8)$$

где  $D$  - суточная доза загрузки осадка в метантенк, % от объема метантенка.

8. Выход газа в кубических метрах на килограмм загруженного беззольного вещества

$$\Gamma = (r - n D) / 100, \quad (9)$$

где  $r$  - предел сбраживания осадка, %;

$n$  - эмпирический коэффициент, зависящий от влажности осадка и температурного режима сбраживания.

9. Предел сбраживания (распада) для смеси осадка и активного ила

$$r_{см} = \frac{(r_o O_{без} + r_{ил} I_{без})}{M_{без}}, \quad (10)$$

где  $r_o$  и  $r_{ил}$  - пределы распада соответственно осадка и ила, %.

Эти показатели могут быть рассчитаны, если известно содержание жиров (ж), белков (б) и углеводов (у) в 1 г сбраживаемого субстрата по формуле

$$r = (0,92ж + 0,62у + 0,34б) \cdot 100.$$

В случае, когда данные по химическому осадку отсутствуют, можно принять  $r_o = 53 \%$ ,  $r_{ил} = 44 \%$ .

#### 10. Суммарный выход газа

Расчет и проектирование метантенков следует вести для типовых конструкций метантенков.

Суточная доза загрузки осадка в метантенки и значение коэффициента  $n$  принимаются по следующим данным:

$P_{oc}$	93	94	95	96	97
Д, % объема метантенка	$\frac{7}{14}$	$\frac{8}{16}$	$\frac{8}{17}$	$\frac{9}{18}$	$\frac{10}{19}$
$n$	$\frac{1,05}{0,455}$	$\frac{0,89}{0,385}$	$\frac{0,72}{0,31}$	$\frac{0,56}{0,24}$	$\frac{0,40}{0,17}$

**Примечание.** В числителе - для мезофильного режима; в знаменателе - для термофильного.

**Пример.** Выполнить расчет метантенков для станции биологической очистки производительностью  $50000 \text{ м}^3/\text{сут}$ , если в поступающей на станцию воде концентрация взвешенных веществ составляет  $200 \text{ мг/л}$ ,  $L = 180 \text{ мг/л}$ , эффект осветления в первичных отстойниках  $50 \%$ . Проектом предусмотрено механическое обезвоживание сброженного осадка с последующей термической сушкой.

**Решение.** Расход осадка по сухому веществу по формуле (1)

$$O_{сух} = \frac{200 \cdot 0,5 \cdot 1,1}{1000 \cdot 1000} \cdot 50000 = 5,5 \text{ т/сут}.$$

В процессе осветления воды в первичных отстойниках происходят снижение концентрации загрязнений, фиксируемых БПК, примерно на  $15-20 \%$ . Примем наибольшее значение  $20 \%$ . Тогда БПК в воде, поступающей в аэротенки,

$$L_a = 180 (1 - 0,2) = 144 \text{ мг/л}.$$

Вынос активного ила из вторичного отстойника примем равным  $15 \text{ мг/л}$ . Тогда по формуле (2)

$$I_{сух} = \frac{0,8 \cdot 200 \cdot (1 - 0,5) + 0,3 \cdot 144 - 15}{1000 \cdot 1000} \cdot 50000 = 5,41 \text{ т/сут}.$$

Расход осадка и ила по беззольному веществу при зольности осадка  $Z_{oc} = 30\%$ , зольности активного ила  $Z_{ил} = 25\%$  и гигроскопической влажности осадка и ила  $B_2$  и  $B'_2$ , равной  $5\%$ , в соответствии с формулами (3)

$$O_{без} = \frac{5,5 \cdot (100 - 5)(100 - 30)}{100 \cdot 100} = 3,66 \text{ т/сут};$$

$$I_{без} = \frac{5,41 \cdot (100 - 5)(100 - 25)}{100 \cdot 100} = 3,85 \text{ т/сут}.$$

При удалении осадков из отстойников плунжерными насосами влажность его можно принять равной  $94\%$ , влажность уплотненного активного ила  $97\%$ , плотность осадка и активного ила можно считать равной  $1 \text{ т/м}^3$ . Тогда по формулам (5)

$$q_{oc} = \frac{100 \cdot 5,5}{(100 - 94) \cdot 1} = 91,7 \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$q_{ил} = \frac{100 - 5,41}{(100 - 97) \cdot 1} = 180,3 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

По формулам (4) и (6) суммарные расходы осадка и ила

$$M_{сух} = 5,5 + 5,41 = 10,91 \text{ т/сут};$$

$$M_{общ} = 91,7 + 180,3 = 272 \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$M_{без} = 3,66 + 3,85 = 7,51 \text{ т/сут}.$$

Среднее значение влажности и зольности по формулам (7)

$$B_{см} = 100(1 - 10,91/272) = 96\%;$$

$$Z_{см} = 100 \cdot \left[ 1 - \frac{7,51}{5,5 \cdot (100 - 5)/100 + 5,41 \cdot (100 - 5)/100} \right] = 28\%.$$

При влажности исходной смеси  $96\%$  доза загрузки для мезофильного режима составит  $9\%$ . Тогда требуемый объем метантенков согласно формуле (8)

$$W = 2,72 \cdot 100/9 = 3022 \text{ м}^3.$$

По табл. 5 принимаем три типовых метантенка с диаметром  $d = 12,5 \text{ м}$  и полезным объемом рудного резервуара  $1000 \text{ м}^3$ . Суммарный объем



метантенков при этом окажется несколько больше требуемого, в связи с чем фактическая доза загрузки понизится:

$$D = 2,72 \cdot 100 / 3000 = 9,1 \%$$

Предел распада смеси по формуле (10)

$$r_{см} = (53 \cdot 3,66 + 44 \cdot 3,85) / 7,51 = 49,9 \%$$

Для подсчета выхода газа с 1 кг органического вещества осадка принимаем коэффициент  $n = 0,56$  (при  $V_{см} = 96 \%$  и  $t = 33 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Тогда по формуле (9)

$$G = (49,9 - 0,56 \cdot 9,1) / 100 = 0,448 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

Таблица 5

### Конструктивные размеры метантенков

Проект	Диаметр, м	Полезный объем рудного резервуара, м <sup>3</sup>	Высота, м			Строительный объем здания обслуживания, м <sup>3</sup>	Строительный объем киоска газовой сети, м
			верхнего конуса	цилиндрической части	нижнего конуса		
902-2-227	12,5	1000	1,9	6,5	2,15	652	100
902-2-228	15	1600	2,35	7,5	2,6	2035	112
902-2-229	17,5	2500	2,5	8,5	3,05	2094	136
902-2-230	20	4000	2,9	10,6	3,5	2520	174
Ново-Курьяновской станции аэрации	18	6000	3,15	18	3,5	2700	170
Люберецкой станции аэрации	22,4	8000	4,45	16,3	3,7	2000	170

Суммарный выход газа по формуле (11)

$$G_{общ} = G \cdot M_{без} \cdot 1000 = 0,448 \cdot 7,51 \cdot 1000 = 3364 \text{ м}^3 / \text{сут}$$

По объему выходящего газа для выравнивания давления в газовой сети подбираем типовые газгольдеры.

Далее следует определить качество сброженной смеси, т.е. рассчитать ее влажность и зольность. В процессе сбразивания происходит распад беззольных веществ, приводящий к уменьшению массы сухого вещества и

увеличению влажности осадка. Суммарный объем смеси после сбраживания практически не изменяется. Величина  $\Gamma$ , выраженная в процентах, представляет собой степень распада беззольного вещества, подсчитанную по выходу газа. В данном случае  $\Gamma = 44,8 \%$ . Зная степень распада, можно подсчитать массу беззольного вещества в сброженной смеси:

$$M'_{\text{без}} = 7,51 \cdot (100 - 44,8) / 100 = 4,14 \text{ т / сут.}$$

Разность  $M_{\text{сух}} - M_{\text{без}}$  представляет собой зольную часть, не подвергающуюся изменениям в процессе сбраживания, поэтому масса сухого вещества в сброженной смеси

$$M'_{\text{сух}} = (10,91 - 07,51) + 4,14 = 7,44 \text{ т / сут.}$$

Зная  $M'_{\text{сух}}$  и  $M'_{\text{без}}$ , и принимая гигроскопическую влажность сброженной смеси 6 %, можно определить ее зольность:

$$Z_{\text{см}} = 100 - \frac{4,14 \cdot 100 \cdot 100}{7,44 \cdot (100 - 6)} = 42 \%$$

Влажность сброженной смеси по формуле (7)

$$B'_{\text{см}} = 100 - (7,44 / 272) \cdot 100 = 97,3 \%$$

Таким образом, сбраживание приводит к увеличению влажности и зольности бродящей массы.

### **Библиографический список**

1. Инженерная экология: Практикум / Ю.В. Шувалов, М.А. Пашкевич, Т.И. Нифонтова, М.Ш. Баркан, Е.И. Домпальм, А.Н. Маковский. Под ред. Ю.В.Шувалова; Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб, 2004. 55 с.
2. Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами. М.: Стройиздат, 1975.
3. Попова Л.А. Автотранспорт продолжает загрязнять окружающую среду // Экология и промышленность России. 2000. № 7.
4. Инженерная защита окружающей среды. Под общей редакцией Ю.А. Бирмана, Н.Г. Вурдовой: -М.: изд-во АСВ, 2002 – 296 стр. с иллюстрациями.
5. Промышленная экология : учебник для высших учебных заведений Министерства образования и науки Российской Федерации / под общ. ред. В.В. Гутенев. – 2-е изд. доп. - М. – Волгоград : ПринТерра-Дизайн, 2013. – 460 с.

План выпуска учеб.-метод. документ. 2015 г., поз. 40

Публикуется в авторской редакции

Минимальные систем. требования:  
PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0.

Подписано в свет 23.04.2015.  
Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 0,7. Объем данных 236 Кбайт.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»  
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1  
<http://www.vgasu.ru>, [info@vgasu.ru](mailto:info@vgasu.ru)