



**Некоммерческое  
акционерное  
общество**

**АЛМАТИНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ЭНЕРГЕТИКИ И  
СВЯЗИ ИМЕНИ  
ГУМАРБЕКА  
ДАУКЕЕВА**

Кафедра инженерной  
экологии и безопасности  
труда

## **ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ЗЕМЕЛЬНЫЕ И ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ**

Методические указания к выполнению расчетно-графических работ для  
магистрантов, обучающихся по образовательной программе  
7М11201 – «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды»

Алматы 2022

СОСТАВИТЕЛЬ: Ф.Р. Жандаулетова. Экологическое воздействие промышленности на земельные и водные ресурсы. Методические указания к выполнению расчетно-графических работ для магистрантов, обучающихся по образовательной программе 7М11201 – «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды». – Алматы: НАО АУЭС им. Г. Даукеева, 2022. – 39 с.

В представленной работе содержатся методические указания и варианты заданий для выполнения расчетно-графических работ по дисциплине «Экологическое воздействие промышленности на земельные и водные ресурсы».

Ил. 2, табл. 24, библиогр. – 14 назв.

Рецензент: к.т.н., доцент каф. «ЭЭС»

Михалкова Е.Г.

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева» на 2022 г.

©НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», 2022 г.

## Введение

Одна из центральных проблем, изучаемых современной наукой, – проблема загрязнения окружающей среды, способные вызвать отрицательные последствия. По происхождению загрязнения делят на природные, вызванные естественными, часто аномальными, процессами в природе, и антропогенные, связанные с деятельностью человека.

В результате человечество вынуждено решать чрезвычайно сложную задачу: как при эффективном использовании природных ресурсов нанести наименьший вред природе, а также жизни и деятельности населения.

Современные промышленные предприятия представляют собой сложный комплекс стационарных устройств и технологических процессов и являются не только средствами энергообеспечения, транспортировки и др., но и составной частью окружающей среды. Строительство и функционирование энергетических предприятий, дорог и транспортных предприятий, эксплуатация средств неизбежно связаны с возникновением и решением экологических проблем и влияют на состояние окружающей среды. При плохой организации электрооборудование, транспорт могут оказать вредное воздействие на многие ценные природные ресурсы, водный бассейн и ландшафты, создавать помехи во взаимодействии компонентов окружающей среды.

В выбросах в атмосферу, твердых отходах и сточных водах наблюдаются все более опасные вещества на различных объектах систем энергообеспечения, транспорта и по выпуску продукции. Самыми крупными потребителями воды являются теплоэнергетические, текстильные, пищевые, железнодорожный транспорт и др.

На различных промышленных предприятиях в результате технологических процессов производства: обмывки, очистки и промывки деталей и узлов от смазки и грязи в моечных и выборочных установках, печатания и крашения тканей и шерсти и других процессов образуются производственные сточные воды со всевозможными ингредиентами: антисептиками, смолами, маслами, фенолами и другими примесями, большая часть которых сбрасывается в поверхностные водные объекты, ухудшая экологическую обстановку. Проблема борьбы с загрязнением водоемов решается путем строительства на промышленных предприятиях очистных сооружений и создания оборотных систем водоснабжения.

Основными целями и задачами данных методических указаний являются расширение возможностей для самостоятельной работы студентов, закрепление теоретических знаний, полученных на лекциях и практических занятиях, развитие творческого и логического мышления студентов.

Методические указания состоят из трех расчетно-графических работ, которые включают в себя как теоретические вопросы, так и расчет задач по курсу «Экологическое воздействие промышленности на земельные и водные ресурсы».

# 1 Расчетно-графическая работа № 1. Оценка влияния сточных вод на качество воды в реке и определение уровня загрязнения реки

## 1.1 Цель и задачи расчетно-графической работы

Целью расчетно-графической работы является развитие самостоятельности в решении задач по степени загрязнения воды в реке сточными водами, а также развитию навыков работы с технической литературой.

Расчетно-графическая работа представляет собой типовой расчет, основными задачами которого являются определение необходимой степени очистки сточных вод, оценки влияния сточных вод, сбрасываемых в реку на качество воды в ней; расчет показателей, превышающих ПДК, индекса загрязнения воды и категории загрязнения воды в реке с целью охраны и рационального использования водных ресурсов.

## 1.2 Объем и содержание расчетно-графической работы

Пояснительная записка должна иметь титульный лист, введение, необходимый текстовой и цифровой информативный материал, список литературы и содержание. Пояснительная записка расчетно-графической работы – в объеме 10–15 страниц в соответствии с [1].

Исходные данные для выполнения расчетно-графической работы строго индивидуальные. Исходные данные для выполнения РГР № 1 представлены в таблице 1.1. Вариант задания назначает преподаватель индивидуально для каждого студента.

Таблица 1.1 – Выбор варианта исходных данных

№	Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Характеристики СВ предприятия:</b>											
1	Суточный расход воды – $q$ , $\text{м}^3/\text{с}$	8	9	11	12	13	14	15	5	6	7
2	Концентрация взвешенных веществ $C^{ВЗВ}_{\text{ст}}$ , $\text{мг}/\text{л}$	270	280	290	300	310	320	330	240	250	260
3	Время протекания воды от сбора до расчетного створа – $T$ , сут	3	4	5	6	5	4	5	4	5	4
4	Полная биохим. потребность сточной воды в кислороде – $L_{\text{ст}}$ , $\text{мг}/\text{л}$	160	170	180	190	200	180	210	190	170	180

Продолжение таблицы 1.1

5	Концентрация кислоты – $C_k$ , мг-экв/л	110	120	130	140	130	140	120	130	150	140
6	Температура СВ – $t_{CB}$ , °С	24	26	27	28	27	27	26	25	27	26
7	Содержание ВВ – в СВ предприятия (таблица 2.1 – числитель), мг/л	Рту-ть	Се-лен	Сви-нец	Кад-мий	Нит-раты	Бен-зол	Ам-миак	Фе-нол	Ци-нк	Фтор
8	Расход воды – $Q$ , мг <sup>3</sup> /с	180	190	200	210	210	220	180	190	190	200
Характеристики речной воды – приемника СВ:											
9	Коэффициент смешения – $\gamma$	0,7	0,7	0,6	0,7	0,8	0,8	0,7	0,6	0,8	0,6
10	Концентрация взвешенных частиц до сброса СВ – $C^{взв}_{ст}$ , мг/л	10	11	11	12	12	14	10	11	11	12
11	Биологическая потребность речной воды в кислороде – $C_{БК}$ , мг/л	2,1	2,2	2,3	2,6	2,4	2,5	2,1	2,2	2,2	2,3
12	Содержание растворенного кислорода в речной воде до сброса СВ – $C_v$ , мг/л	7,1	7,3	7,4	7,4	7,5	7,1	7,2	7,5	7,3	7,6
13	Кислотность – рН, мг/л	7,71	7,73	7,74	7,75	7,76	7,73	7,74	7,78	7,5	7,4
14	Щелочность – В, мг/л	5	5	5	5	6	6	4	5	4	7
15	Максимальная температура в наиболее теплый месяц до спуска СВ – $t_{Вmax}$ , °С	22	24	24	23	22	21	22	23	24	25
16	Содержание ВВ в речной воде до спуска СВ	800	850	900	950	790	1000	1100	970	890	1200

Продолжение таблицы 1.1

№	Варианты	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<b>Характеристики СВ предприятия:</b>											
1	Суточный расход воды – $q$ , мг <sup>3</sup> /с	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
2	Концентрация взвешенных веществ $C^{ВЗВ}_{ст}$ , мг/л	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430
3	Время протекания воды от сбора до расчетного створа – $T$ , сут	4	5	6	5	4	3	6	5	4	3
4	Полная биохимическая потребность сточной воды в кислороде – $L_{ст}$ , мг/л	210	200	190	180	170	220	230	240	300	320
5	Концентрация кислоты – $C_k$ , мг-экв/л	150	140	120	150	140	120	150	140	130	120
6	Температура СВ – $t_{св}$ , °С	28	27	26	25	28	25	27	28	25	27
7	Содержание ВВ – в СВ предприятия табл. 2.1 – числитель), мг/л	Кад - мий	Сви-нец	Се-лен	Рту-ть	Ам-миак	Ци-нк	Нит-раты	Фто р	Бен-зол	Фе-нол
8	Расход воды – $Q$ , мг <sup>3</sup> /с	210	200	190	180	220	230	200	190	180	210
<b>Характеристики речной воды - приемника СВ:</b>											
9	Коэффициент смешения – $\gamma$	0,8	0,6	0,7	0,8	0,7	0,6	0,8	0,7	0,6	0,8
10	Концентрация взвешенных частиц до сброса СВ – $C^{ВЗВ}_{ст}$ , мг/л	13	14	15	16	12	13	14	12	10	11
11	Биологическая потребность речной воды в кислороде – $C_{БПК}$ , мг/л	2,6	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	2,6	2,5	2,4	2,3
12	Содер-е раствор	7,5	7,4	7,2	7,3	7,3	7,4	7,5	7,4	7,3	7,5

	кислорода в речной воде до сброса СВ – Св, мг/л										
--	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

*Продолжение таблицы 1.1*

13	Кислотность – рН, мг/л	7,75	7,74	7,73	7,76	7,77	7,78	7,75	7,74	7,73	7,8
14	Щелочность – В, мг/л	6	5	4	5	6	7	6	5	4	6
15	Максимальная температура в наиболее теплый месяц до сброса СВ – $t_{\text{вmax}}$ , °С	25	24	23	22	21	25	24	23	22	21
16	Содержание ВВ в речной воде до сброса СВ, мг/л	840	860	880	900	920	940	1000	960	890	1100

### 1.3 Задание к расчетно-графической работе

В расчетно-графической работе в соответствии с выданным вариантом исходных данных (таблица 1.1) необходимо решить задачи:

1. Определить необходимую степень очистки сточных вод.
2. Оценить влияние сточных вод, сбрасываемых в реку, на качество воды в ней и оценить уровень загрязнения реки.
3. Выявить показатели, превышающие ПДК.
4. Рассчитать индекс загрязнения воды (ИЗВ) реки и определить класс качества воды на каждой станции;
5. Определить категорию загрязнения воды в реке на разных станциях по различным показателям (с использованием классификации ГОСТ 17.1.2.04–77)

### 1.4 Методические указания к выполнению работы

#### 1.4.1 Основные сведения о сточных водах и требования к качеству воды

Правильный учет самоочищающейся способности водоема позволяет экономично и обосновано запроектировать очистные сооружения, на которых сточная вода очищается до требуемой степени.

Расчет необходимой степени очистки сточных вод, сбрасываемых в водоем, проводится по следующим показателям: по количеству взвешенных веществ, потреблению растворенного кислорода, допустимой величине БПК смеси речных и сточных вод, изменению величины активной реакции воды водоема, а также по предельно допустимым концентрациям токсичных примесей и других вредных веществ.







Стронций	2,0	Нефть многосернис.	0,1
Сурьма	0,05	Нефть прочая	0,3
Теллур	0,01	Пикриновая	0,5

*Продолжение таблицы 1.3*

Фтор (в соединениях)	1,5	сероуглерод	1,0
Хлорбензол	0,02	Фенол	0,001
Четыреххлористый	0,3	Хром(Cr+6)	0,1
		Хром(Cr+3)	0,5

Для водоемов рыбохозяйственного назначения наряду с указанными, используют еще два вида ЛПВ: токсикологический и рыбохозяйственный (см. таблицу 1.4).

Оптимальная температура воды, идущей для питья, должна быть не выше 11°C и не ниже 7°C.

Вода с высокой температурой содержит в себе мало растворимых газов, поэтому она плохо утоляет жажду и неприятна на вкус. Температура сточных вод по нормам СНиП 2.04.03-85 должна быть не менее 6°C и не более 30°C, так как она влияет на жизнедеятельность микроорганизмов, ведущих биологический процесс очистки.

При температуре ниже 6°C биологическая очистка практически прекращается.

Таблица 1.4 - Предельно допустимые концентрации некоторых вредных веществ в воде рыбохозяйственных водоемов

Вещество	ПДК, мг/л
Аммиак	0,1
Аммония соли	5,0
Кадмий	0,005
Кобальт	0,01
Магний	50,0
Медь	0,01
Мышьяк	0,05
Никель	0,01
Нефть и нефтепродукты в растворенном состоянии	0,05
Свинец	0,1
Сероуглерод	1,0
Фенолы	0,001
Хлор свободный	Отсутствие
Цианиды	0,05

Запах и вкус воды зависит от температуры растворенных в воде газов и от химического состава примесей. Интенсивность запаха и привкуса определяют по пятибалльной системе (см. таблицу 1.5).

Таблица 1.5 – Оценка интенсивности запаха в баллах

Интенсивность запаха	Балл
Никакого: отсутствие ощутимого запаха	0
Очень слабый: обнаруживается опытным исследователем	1
Слабый: не привлекает внимания потребителя	2
Заметный: легко обнаруживается, вода расценивается как некачественная	3
Отчетливый: обращает на себя внимание, делает воду непригодной для питья	4
Очень сильный: запах настолько сильный, что делает воду непригодной для питья	5

Показатели, обеспечивающие благоприятные органолептические свойства воды, включают вкус и привкус. Различают четыре вида вкуса: соленый, горький, сладкий и кислый. Остальные виды вкусовых ощущений называют привкусами. Интенсивность вкуса и привкуса определяют по пятибалльной системе так же, как и запах. Вкус и запах воды могут изменяться под влиянием поступающих в водоем сточных вод. Например, фенол, содержащийся в стоках, придает воде вкус и запах карболки.

Природные воды часто бывают мутными из-за присутствия в них взвешенных частиц глины, песка, ила, органических взвесей. Сточные воды могут усилить мутность воды. Поэтому определяют прозрачность воды. Чистая вода, взятая в малом объеме, бесцветна. Иные оттенки свидетельствуют о наличии в воде различных растворенных и взвешенных примесей. Причиной, обуславливающей изменение воды, могут быть коллоидные соединения железа, взвешенные и окрашенные вещества отходов производства, массовое развитие водорослей.

Поступая в водоемы, вредные вещества могут накапливаться, и их концентрация, постоянно возрастая, может достигнуть критических значений. Поэтому важную роль играет самоочищение воды водоемов. Если бы не эта помощь природы, то несмотря на все применяемые меры кумулятивная способность вредных веществ давно привела бы к гибели водоемов.

#### 1.4.2 Классификация сточных вод

Сточные воды представляют собой сложные гетерогенные смеси, содержащие примеси органического и минерального происхождения, которые находятся в нерастворенном, коллоидном и растворенном состоянии. Сточные воды, отводимые с территории промышленных предприятий, по своему составу могут быть разделены на три вида:

1) производственные – использованные в технологическом процессе производства и содержащие всевозможные загрязнения или получающиеся при добыче полезных ископаемых (угля, нефти, руд и т.д.);

2) бытовые – от санитарных узлов производственных и непромышленных корпусов и зданий, а также от душевых установок, имеющих на территории промышленных предприятий. В них в основном содержится органические вещества, бактерии, микроорганизмы;

3) атмосферные – дождевые и от таяния снега. Талые воды поступают с полей, как правило, с высокой концентрацией ядохимикатов и минеральных удобрений.

Производственные сточные воды делятся на две основные категории: загрязненные и незагрязненные (условно чистые) т.е. те, которые после очистки можно использовать в оборотном водоснабжении. Уровень технологии, составной частью которого является эффективность использования воды, оценивается такими показателями, как количество оборотной воды, коэффициент использования и процент потерь. Для каждого промышленного предприятия составляется баланс воды, включающий расходы и различные виды потерь, сбросы и добавление компенсирующих расходов воды на систему.

Загрязненные производственные сточные воды содержат различные примеси и подразделяются на четыре группы:

1) загрязненные преимущественно минеральными примесями (предприятия металлургической, машиностроительной, строительных изделий и материалов и др.);

2) загрязненные преимущественно органическими примесями (предприятия мясной, рыбной, молочной, пищевой, целлюлозно-бумажной, химической; заводы по производству пластмасс, каучука и др.);

3) загрязненные минеральными и органическими примесями (предприятия нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, легкой, текстильной, фармацевтической промышленности; заводы по производству консервов и др.);

4) тепловое загрязнение сточных вод (предприятия энергетики и металлургии).

На предприятии транспорта и коммуникации, к примеру, существуют все эти четыре группы загрязнений. По степени агрессивности эти воды разделяют на слабоагрессивные (слабокислотные с  $pH = 6...6,5$  и слабощелочные с  $pH = 8...9$ ), сильноагрессивные (сильнокислотные с  $pH < 6$  и сильнощелочные с  $pH > 9$ ) и неагрессивные (с  $pH = 6,5...8$ ).

Состав производственных сточных вод колеблется в значительных пределах, что вызывает необходимость тщательного обоснования выбора надежного и эффективного метода очистки, в каждом конкретном случае.

## 1.5 Методические указания к решению задачи

При определении возможности спуска сточных вод проектируемого предприятия в водоем, прежде всего, рассчитывают степень разбавления сточных вод речной водой. Разбавления сточных вод – процесс снижения концентраций загрязняющих веществ в водотоках и водоемах, протекающий вследствие перемешивания сточных вод с природными водами. Интенсивность процесса разбавления качественно характеризуется степенью разбавления, которая определяется по формуле

$$n = \frac{\gamma \cdot Q + q}{q}, \quad (1.1)$$

где  $n$  – степень разбавления сточных вод водой реки;

$Q$  – расход реки, м<sup>3</sup>/с;

$q$  – расчетный расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с;  $\gamma$  – коэффициент смешения.

Коэффициент смешения всегда меньше единицы. Так как влияние сточных вод оценивается у ближайшего пункта водопользования, у этого пункта и надо определять степень разбавления. Расход воды реки является геометрической характеристикой. Он определяется опытным путем соответствующими гидрогеологическими организациями. Поскольку реки имеют неодинаковый сток, как по годам, так и в течение года, то для расчетов берут наихудшие условия, т.е. наименьший среднемесячный расход при 95%-ной обеспеченности. При 95%-ной обеспеченности годового стока, маловодные годы на реке случаются один раз в 20 лет.

При проектировании, среднемесячный расход реки и коэффициент смешения берут из данных гидрометрической службы, а расход сточных вод определяется расчетным путем или по аналогии с действующим предприятием подобного профиля. После определения степени разбавления сточных вод нужно рассмотреть вопрос возможного ухудшения качества воды в реке или в другом водоеме в результате сброса туда сточных вод.

Нормативные показатели качества воды зависят от наличия взвешенных веществ, плавающих веществ, привкуса, окраски, температуры, значения рН, минерального состава, растворенного кислорода, БПК, возбудителей заболеваний, ядовитых и вредных веществ.

При расчете учесть условие, что в реку сбрасываются сточные воды, пробы которых отобраны в трех точках: станция 1 – в 100 м выше источника загрязнения; станция 2 – в месте поступления сточных вод; станция 3 – в 100 м ниже источника загрязнения, результаты анализов проб воды приведены в таблицах 1.6 и 1.7.

Таблица 1.6 – Результаты анализа проб воды (Отбор 1)

№п/п	Ингредиенты	Ед. изм.	ПДКрх	Результаты анализа		
				Ст. 1	Ст.2	Ст. 3
1.	ХПК	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	-	16,5	20	18
2.	БПК <sub>5</sub>	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	-	2	5	3
3.	Кислород растворенный	мг/дм <sup>3</sup>	не менее 6	8,35	6	6,5
4.	Аммоний ион	мг/дм <sup>3</sup>	0.5	0,4	1	0,55
5.	Нитриты	мг/дм <sup>3</sup>	0.08	0.034	0,06	0,05
6.	Нитраты	мг/дм <sup>3</sup>	40	< 0,1	< 0,1	< 0,1
7.	Хлориды	мг/дм <sup>3</sup>	300	21,3	315	200
8.	Сульфаты	мг/дм <sup>3</sup>	100	109	109	109

Продолжение таблицы 1.6

9.	Фосфат ион	мг/дм <sup>3</sup>	0,2	0,105	0,5	0,2
10.	Нефтепродукты	мг/дм <sup>3</sup>	0,05	0,02	0,02	0,02
11.	Сероводород	мг/дм <sup>3</sup>	0,005	< 0,002	< 0,002	< 0,002
12.	Гидрокарбонаты	мг/дм <sup>3</sup>	-	302	300	301
13.	Жёсткость	°ж	-	17,2	17,5	17,4
14.	Кальций	мг/дм <sup>3</sup>	180	267	265	268

Таблица 1.7 – Результаты анализа проб воды (Отбор 2)

№п/п	Ингредиенты	Ед. изм.	ПДКрх	Результаты анализа		
				Ст. 1	Ст.2	Ст. 3
1.	ХПК	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	-	16,5	25	20
2.	БПК <sub>5</sub>	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	-	2	5	4
3.	Кислород растворенный	мг/дм <sup>3</sup>	не менее 6	8,35	5	6
4.	Аммоний ион	мг/дм <sup>3</sup>	0,5	0,4	0,38	0,45
5.	Нитриты	мг/дм <sup>3</sup>	0,08	0,034	0,030	0,036
6.	Нитраты	мг/дм <sup>3</sup>	40	< 0,1	< 0,1	< 0,1
7.	Хлориды	мг/дм <sup>3</sup>	300	21,3	25	28
8.	Сульфаты	мг/дм <sup>3</sup>	100	109	108	111
9.	Фосфат ион	мг/дм <sup>3</sup>	0,2	0,105	0,3	0,25
10.	Нефтепродукты	мг/дм <sup>3</sup>	0,05	0,02	0,1	0,08
11.	Сероводород	мг/дм <sup>3</sup>	0,005	< 0,002	< 0,002	< 0,002
12.	Гидрокарбонаты	мг/дм <sup>3</sup>	-	302	304	297
13.	Жёсткость	°ж	-	17,2	17	17,1
14.	Кальций	мг/дм <sup>3</sup>	180	267	268	265

Изучив результаты, указанные в таблицах 1.6 и 1.7, описать по каждому пункту, построить графики изменения концентраций различных веществ и

сделать выводы о качестве воды в реке, оценить степень опасности для здоровья населения, по изменению химического состава воды сделать предположение о составе поступающих сточных вод и какому предприятию они могут принадлежать.

*Гидрохимический индекс загрязнения воды (ИЗВ).*

ИЗВ установлен Госкомгидрометом и относится к категории показателей, наиболее часто используемых для оценки качества водных объектов. Этот индекс представляет собой среднюю долю превышения ПДК по строго определенному числу показателей:

$$\text{ИЗВ} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i}, \quad (1)$$

где:  $C_i$  – концентрация компонента (в ряде случаев – значение физико-химического показателя);

$n$  – число показателей, используемых для расчета индекса,  $n = 6$ ;

$\text{ПДК}_i$  – установленная величина норматива для соответствующего типа водного объекта.

При расчете индекса обязательно используют значения следующих показателей: водородный показатель (рН), биологическое потребление кислорода (БПК<sub>5</sub>), содержание растворенного кислорода и еще три показателя, имеющие наибольшие величины  $C_i / \text{ПДК}_i$ .

ИЗВ рассчитывают строго по шести показателям, имеющим наибольшие значения приведенных концентраций, независимо от того, превышают они ПДК или нет.

При расчете ИЗВ для составляющих  $C_i/\text{ПДК}_i$  по неоднозначно нормируемым компонентам применяется ряд следующих условий:

- для биологического потребления кислорода БПК<sub>5</sub> (ПДК – не более 3 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> для водоемов хозяйственно-питьевого водопользования и не более 6 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> – для водоемов хозяйственно-бытового и культурного водопользования) устанавливаются специальные значения нормативов, зависящие от самого значения БПК<sub>5</sub> (таблица 1.8);

- концентрация растворенного кислорода нормируется с точностью до наоборот: его содержание в пробе не должно быть ниже 4 мг/дм<sup>3</sup>, поэтому для каждого диапазона концентраций компонента устанавливаются специальные значения слагаемых  $C_i/\text{ПДК}_i$  (таблица 1.9);

Таблица 1.8 – Значения ПДК для БПК<sub>5</sub>

Показатель БПК <sub>5</sub> (мгО <sub>2</sub> /л)	Значение норматива (ПДК)
Менее 3	3
От 3 до 15	2
Свыше 15	1

Таблица 1.9 – Значения  $C_i/ПДК_i$  для концентрации  $O_2$

Концентрация (мг $O_2$ /л)	Значение слагаемого $C_i / ПДК_i$
Более или равно 6	6
Менее 6 до 5	12
Менее 5 до 4	20
Менее 4 до 3	30
Менее 3 до 2	40
Менее 2 до 1	50
Менее 1	60

- для водородного показателя  $pH$  действующие нормативы для воды водоемов различного назначения регламентируют диапазон допустимых значений в интервале от 6,5 до 8,5, поэтому для каждого сверхнормативного значения  $pH$ , выходящего за границы этого диапазона, устанавливаются специальные значения слагаемых  $C_i / ПДК_i$  (таблица 1.10):

Таблица 1.10 – Значения  $C_i / ПДК_i$  для  $pH$

Значения $pH$ ниже диапазона нормы (< 6.5)	Значения $pH$ выше диапазона нормы (> 8.5)	Значение слагаемого $C_i / ПДК_i$
Менее 6.5 до 6	Свыше 8.5 до 9	2
Менее 3 до 5	Свыше 9 до 9.5	5
Менее 5	Свыше 9.5	20

В зависимости от величины ИЗВ участки водных объектов подразделяют на классы (таблица 1.11).

Таблица 1.11 – Классы качества вод в зависимости от значения индекса загрязнения воды

Воды	Значения ИЗВ	Классы качества вод
Очень чистые	до 0,2	I
Чистые	0,2–1,0	II
Умеренно загрязненные	1,0–2,0	III
Загрязненные	2,0–4,0	IV
Грязные	4,0–6,0	V
Очень грязные	6,0–10,0	VI
Чрезвычайно грязные	>10,0	VII



Определение категории загрязнения воды по ГОСТ 17.1.2.04–77. Для того чтобы определить категорию загрязнения воды в реке по физико-химическим показателям воды, можно использовать классификацию ГОСТ 17.1.2.04–77 (таблица 1.12).

Таблица 1.12 – Оценка состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов

Наименование показателей	Чистые воды		Загрязненные воды		Грязные воды	
	Классы сапробности					
	Ксено-сапробность (кс)	Олиго-сапробность (о)	В-мезо-сапробность (бм)	А-мезо-сапробность (ам)	Поли-сапробность (п)	Гипер-сапробность (гп)
Трофо-сапробные показатели						
Растворенный кислород, % насыщения	95 - 100	80 - 110	60 - 125	30 - 150	0 - 200	0

Продолжение таблицы 1.12

Прозрачность воды по диску Секки, м, не менее	3.0	2.0	1.0	0.5	0.1	Менее 0.1
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /л	0.0 – 0.5	0.6 – 1.0	1.1 – 2.0	2.1 – 3.0	3.1 – 10.0	Более 10
БПК <sub>20</sub> , мгО <sub>2</sub> /л	0.0 – 1.0	1.1 – 2.0	2.1 – 3.0	3.1 – 4.0	4.1 – 15.0	Более 15
Перманганатная окисляемость по Кубелю, мгО <sub>2</sub> /л	0.0 – 7.0	7.1 – 10.0	10.1 – 20.0	20.1 – 40.0	40.1 – 80.0	Более 80
Аммоний солевой, мг/л	0.0 – 0.05	0.06 – 0.1	0.11 – 0.5	0.51 – 1.0	1.01 – 3.0	Более 3
Нитраты, мг/л	0.05 – 5.0	5.1 – 10.0	10.1 – 40.0	40.1 – 80.0	80.1 – 150.0	Более 150
Нитриты, мг/л	0.0 – 0.001	0.002 – 0.04	0.05 – 0.08	0.09 – 1.5	1.6 – 3.0	Более 3
Фосфаты, мг/л	До 0.005	0.006 – 0.03	0.04 – 0.1	0.11 – 0.3	0.31 – 0.6	Более 0.6
Сероводород, мг/л	0.0	0.0	0.0	0.0	До 0.1	Более 0.1

## **2. Расчетно-графическая работа № 2. Определение уровня загрязнения почвы населенного пункта и оценка степени опасности для здоровья населения**

Целью расчетно-графической работы № 2 является развитие самостоятельности в решении задач по определению категории загрязнения почв, по наличию в них повышенных концентраций загрязняющих веществ и, на основе этого, оценки влияния суммарного загрязнения на здоровье населения, а также развитие навыков работы с технической литературой.

Расчетно-графическая работа № 2 представляет собой типовой расчет, основными задачами которого являются определение категории загрязнения почвы населенного пункта и оценка влияния на здоровье населения.

### **2.2 Объем и содержание расчетно-графической работы**

#### **2.2.1 Исходные данные.**

Исходные данные для выполнения работы принимаются в соответствии с вариантами, где задаются токсиканты и их концентрации в мг/кг, а также приведены примеры расчета.

Варианты заданий для выполнения расчетно-графической работы № 2 приведены в таблице 2.1 для примера 1 и в таблице 2.2 – для примера 2. Вариант задания выбирается по порядковому номеру в соответствии с порядковым номером студента в списке группы (уточнить варианты с преподавателем, ведущим занятия).

Расчетно-пояснительная записка в объеме 10–15 листов выполняется в ясной и сжатой форме на стандартных листах форматом А4 (210×297) с помощью применения ЭВМ в соответствии с [1]. В записке должны быть приведены все расчеты и кратко изложены основные, принципиальные положения, поясняющие принятые в работе решения.

#### **2.2.2 Содержание расчетно-графической работы.**

1. Определить категорию загрязнения почвы населенного пункта.
2. Определить уровень загрязнения почвы населенного пункта и оценить влияние суммарного загрязнения на здоровье населения.
3. Сделать краткие выводы.

Таблица 2.1 – Варианты заданий к выполнению РГР

<i>Для примера 1</i>					
Вариант	Токсикант	Концентрация, мг/кг	Вариант	Токсикант	Концентрация, мг/кг
1	Никель	8,0	14	Без(а)пирен	0,4
	Медь	75,0		Никель	13,0
2	Цинк	20,0	15	Бензол	0,25
	Фтор	4,0		Кобальт	1300,0
3	Кобальт	12,0	16	Толуол	0,45
	Ванадий	120,0		Марганец	2000,0
4	Фтор	1,5	17	Изопропилбен	2,5
	Мышьяк	8,0		Сурьма	55,0
5	Сурьма	46,0	18	Изопропилбен	4,0
	Ртуть	2,8		Никель	12,0
6	Марганец	3000,0	19	Альфам	0,4
	Мышьяк	3,0		Нитраты	400,0
7	Ванадий	115,0	20	Стирол	0,2
	Цинк	38,0		КГУ	650,0
8	Свинец	240,0	21	Ксилол	92,0
	Никель	3,5		Кобальт	75,0
9	Свинец	42,0	22	Сероводород	150,0
	Сурьма	10,0		Фтор	3,0
10	Мышьяк	4,0	23	Элементарная	190,0
	Свинец	60,0		Бенз(а)пирен	0,4
11	Ртуть	3,5	24	Серная	145,0
	Цинк	20,0		Сурьма	5,0
12	Нитраты	150,0	25	ОФУ	8000,0
	Медь	65,0		Бензол	44,0
13	Бенз(а)пир	0,15	26	КГУ	600,0
	Свинец	39,0		Толуол	98,0

Для примера 2

Вариант	Li	Be	S	V	Cr	Co	Ni	Si	Zn	Cd	Hg	Pb
1	61	12	4100	220	740	92	-	-	-	-	-	-
2	-	23	2350	630	1700	66	250	-	-	-	-	-
3	-	-	6100	420	1350	80	350	41	-	-	-	-
4	-	-	-	345	770	170	64	80	300	-	-	-
5	-	-	-	-	3200	31	195	230	510	12	-	-
6	-	-	-	-	-	22	250	215	68	9	0,3	-
7	-	-	-	-	-	-	46	112	265	41	0,1	130
8	-	-	5200	-	415	-	400	-	48	-	0,09	-
9	55	41	-	190	-	44	-	178	-	14	-	66
10	-	-	3210	590	-	-	120	190	-	-	0,07	313
11	-	15	-	-	2345	132	-	-	148	29	-	-
12	-	-	-	615	1100	143	-	-	-	35	0,15	280
13	-	38	4460	448	-	-	276	134	286	-	-	-
14	116	26	3420	-	-	-	-	155	90	11	-	-
15	-	-	2300	524	820	-	-	-	270	32	0,03	-
16	-	-	-	-	1970	83	-	-	-	18	0,6	79
17	-	-	-	408	974	78	314	-	-	-	0,8	1244
18	96	31	-	360	-	73	265	202	-	-	-	266
Фоновые концентрации, мг/кг												
Все	23,	1,5	720	63,5	180	8,4	23,2	15,3	41,3	0,7	0,01	11,5

## 2.3 Методические указания к выполнению работы

2.3.1 Определение категории загрязненности почвы и мероприятия по снижению токсического воздействия почвенных загрязнений.

При оценке опасности загрязнения почв загрязняющими веществами необходимо учитывать следующие закономерности:

- опасность загрязнения тем выше, чем больше фактическое содержание загрязняющих веществ в почве  $C$ , то есть, чем больше значение коэффициента  $K_0$  превышает единицу; коэффициент опасности определяется следующим образом:

$$K_0 = C / ПДК; \quad (2.1)$$

- опасность загрязнения тем выше, чем выше класс опасности загрязняющих веществ. Отнесение наиболее опасных загрязняющих веществ, попадающих в почву из выбросов, сбросов, отходов к тому или иному классу опасности, проводится в соответствии с данными таблицы 2.2;

- опасность загрязнения тем выше, чем ниже буферные свойства почв.

Таблица 2.2 – Отнесение химических веществ, попадающих в почву, к классам опасности (по ГОСТ 17.4.1.02-83)

Класс	Химическое вещество
I	Мышьяк, кадмий, ртуть, свинец, цинк, фтор, бенз(а)лирен
II	Бор, кобальт, никель, молибден, медь, сурьма, хром
III	Барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций, ацетофенол

Под буферностью почвы понимается совокупность свойств почвы, определяющих ее барьерную функцию, которая в свою очередь обуславливает уровни вторичного загрязнения химическими веществами сред, контактирующих с почвой: растительности, атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод. Основными компонентами почвы, создающими буферность, являются тонкодисперсные частицы, определяющие ее механический состав, органическое вещество (гумус), а также реакция среды pH.

*Предельно допустимая концентрация химического вещества в почве представляет собой комплексный показатель безвредного для человека содержания химических веществ в почве, так как используемые при ее обосновании критерии отражают возможные пути воздействия загрязняющего вещества на контактирующие среды, биологическую активность почвы*

и процессы ее самоочищения.

Обоснование ПДК химических веществ в почве базируется на 4 основных показателях вредности, устанавливаемых экспериментально:

- *транслокационном*, характеризующим переход вещества из почвы в растение;

- *миграционном водном*, характеризующим способность перехода вещества из почвы в грунтовые воды и водоисточники;

- *миграционном воздушном*, характеризующим переход вещества из почвы в атмосферный воздух;

- *общесанитарном*, характеризующим влияние загрязняющего вещества на самоочищающую способность почвы и ее биологическую активность.

При этом каждый из путей воздействия оценивается количественно с обоснованием допустимого уровня содержания вещества по каждому показателю вредности. Наименьший из обоснованных уровней содержания является лимитирующим и принимается за ПДК. Возможности использования территории и предполагаемые мероприятия в зависимости от категории загрязненности почв приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Характеристика возможности использования территории, в зависимости от категории загрязненности почв

Категория загрязненности почв	Характеристика загрязненности	Возможное использование территории	Предлагаемые мероприятия
I. Допустимая	Содержание химических веществ в почве превышает фоновое, но не выше ПДК	Использование под любые культуры	Снижение уровня воздействия источника загрязнения почвы. Осуществление мероприятий по снижению токсикантов для растений (известкование, внесение орган-х удобрений).
2. Умеренно-опасная	Содержание химических веществ в почве превышает ПДК при лимитирующем общесанитарном, миграционном водном и миграционном воздушном показателях вредности, но ниже уровня по транслокационному показателю.	Использование под любые культуры при условии контроля качества сельскохозяйственных растений	Мероприятия, аналогичные категории I. При наличии вещества с лимитирующим миграционным водным и миграционным воздушным показателями проводится контроль за содержанием этих веществ в рабочих зонах и в воде местных водоисточников.

3. Высоко-опасная	Содержание химических веществ в почве превышает их ПДК при лимитирующем транслोकационном показателе вредности.	Использование под технические культуры. Использование под сельскохозяйственные культуры	Кроме мероприятий, указанных для категории I, обязательный контроль за содержанием токсикантов в растениях – продуктах питания и кормах.
-------------------	--	---	--

*Продолжение таблицы 2.3*

4. Чрезвычайно опасная	Содержание химических веществ в почве превышает их ПДК по всем показателям вредности.	Использование под технические культуры или исключение из сельскохозяйственного использования. Лесозащитные полосы.	Мероприятия по снижению уровня загрязнения и связыванию токсикантов в почве. Контроль за содержанием токсикантов в зоне дыхания сельскохозяйственных рабочих и в воде местных источников.
------------------------	---	--	---

## 2.4 Примеры расчета РГР № 2

### 2.4.1 Пример 1

На определенном участке территории установлено присутствие в почве меди с содержанием подвижных форм, равном 3,2 мг/кг, и свинца с концентрацией 25 мг/кг. Определить категорию загрязненности почвы и возможность ее использования для выращивания сельскохозяйственной продукции; установить характер возможного использования данной территории и мероприятия по снижению токсического воздействия почвенных загрязнений.

#### *Решение*

По таблице 2.4 находим: ПДК меди с учетом фона – 3,0 мг/кг; ПДК свинца с учетом фона – 30,0 мг/кг. Допустимые уровни содержания:

- по транслोकационному показателю вредности: меди – 3,5 мг/кг;
- по миграционному водному показателю вредности: меди – 72,0 мг/кг; свинца – 60,0 мг/кг;
- по общесанитарному показателю вредности: меди – 3,0 мг/кг; свинца – 30,0 мг/кг.

Уровень содержания меди в почве превышает ее ПДК (3,0 мг/кг) и допустимый уровень при лимитирующем общесанитарном показателе вредности (3,0 мг/кг), но ниже допустимого уровня по транслोकационному показателю вредности (3,5 мг/кг), а следовательно, в соответствии с таблицей 2.2 категория загрязненности почв медью – умеренно опасная.

Уровень содержания свинца в почве не превышает ПДК и допустимые уровни по всем лимитирующим показателям вредности, следовательно, в соответствии с таблицей 2.4 категория загрязненности почв свинцом –

допустимая.

Исходя из комплексной оценки загрязненности почвы, устанавливаем, что категория ее загрязненности – умеренно опасная.

Данная территория может использоваться под любые культуры при условии контроля качества сельскохозяйственных растений и проведения мероприятий по снижению доступности для них имеющихся токсикантов, т.е. меди и свинца.

Таблица 2.4 – ПДК химических веществ в почве и допустимые уровни содержания по показателям вредности

Вещество	ПДК почвы с учетом фона, Мг/кг	Показатели вредности			
		Транс локационный	Среда		Обще-санитарный
			Водный	Воздушный	
Cu	3	3,5	72	-	3
Ni	4	6,7	14	-	4
Zn	23	23	200	-	7
Co	5	23	1000	-	5
Водорастворимая форма					
F	2,8	2,8	-	-	5
Валовое содержание					
Sb	4,5	4,5	4,5	-	500
Mn	1500	3500	1500	-	1500
V	150	170	350	-	150
Mn+V	1000+100	1500+150	2000+200	-	1000+100
Pb	30	35	260	-	30
As	2	2	150	-	10
Hg	2,1	2,1	33,1	2,5	5
Pb+Hg	20+1	20+1	30+2	-	30+2

#### 2.4.2 Пример 2

Оценка уровня загрязнения почв населенных пунктов проводится по двум показателям: коэффициенту концентрации отдельного вещества  $K_c$  и суммарному показателю загрязнения  $Z_c$  при наличии в почве нескольких загрязняющих компонентов. Коэффициент концентрации загрязняющих веществ определяется отношением:

$$K_c = C/C_{\phi}, \quad (2.2)$$

где  $C$  – реальная концентрация данного химического вещества в почве, мг/кг;

$C_{\phi}$  – фоновая концентрация в почве данного вещества, мг/кг.

Суммарный показатель загрязнения равен сумме коэффициентов концентраций загрязняющих почву химических элементов:

$$Z_c = K_c - (n-1), \quad (2.3)$$



где  $n$  – число учитываемых ЗВ.

Оценка опасности загрязнения почв по найденному суммарному показателю  $Z_C$  проводится с помощью данных в таблице 2.5.

Необходимо определить категорию загрязнения почвы населенного пункта химическими веществами по суммарному показателю загрязнения; дать характеристику показателей здоровья населения, проживающего на данной территории, приняв следующие концентрации загрязняющих веществ (см. таблицу 2.6).

Таблица 2.5 – Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю

Категория загрязнения почв	Показатель $Z_C$	Изменения показателей здоровья населения в очагах загрязнения
1. Допустимая	Менее 16	Наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимум функциональных отклонений
2. Умеренно опасная	16–32	Увеличение общего уровня заболеваемости
3. Высоко опасная	32–128	Увеличение общего уровня заболеваемости, числа часто болеющих детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционирования сердечно-сосудистой системы.
4. Чрезвычайно опасная	Более 128	Увеличение заболеваемости детей, нарушение репродуктивной функции женщин (увеличение случаев токсикоза беременности, преждевременных родов, мертворождаемости, гипотрофии новорожденных).

Таблица 2.6 – Концентрации загрязняющих веществ

Загрязняющие вещества	Реальная концентрация в почве $C$ , мг/кг	Фоновая концентрация в почве $C_f$ , мг/кг
Фтор	470	208 1,5
Бериллий	4,9	41,3
Цинк	255	

### Решение

По формуле (2.2) находим коэффициенты концентрации загрязняющих веществ:

$$K_{CF} = 470/208 = 2,3; K_{Cv_e} = 4,9/1,5 = 3,3; K_{cZn} = 255/41,3 = 6,2.$$

По формуле (2.3) суммарный показатель загрязнения:

$$Z_C = (2,3 + 3,3 + 6,2) - (3-1) = 9,8.$$

В соответствии с данными таблицей 2.5 рассматриваемые почвы относятся к категории допустимого загрязнения и характеризуются наиболее низким уровнем заболеваемости детей и минимумом

функциональных отклонений.

### **3 Расчетно-графическая работа № 3. Расчет сооружений биологической очистки сточных вод**

#### **3.1 Цель и задачи РГР № 3**

Целью работы является закрепление теоретических знаний и развитие у студентов самостоятельности в решении поставленных задач, приобретение практических навыков работы с технической литературой, нормативными и техническими условиями и ЭВМ. Данная расчетно-графическая работа № 3 является продолжением РГР № 1.

Задачи РГР:

- выбор метода очистки сточных вод;
- выбор типа, количества биофильтров и загрузочных материалов;
- расчет периода аэрации, дозы ила и скорости окисления загрязняющих веществ.

#### **3.2 Объем и содержание расчетно-графической работы**

РГР состоит из расчетно-пояснительной записки со структурной схемой биофильтров. Расчетно-пояснительная записка в объеме 10–15 листов выполняется в ясной и сжатой форме на стандартных листах форматом А4 (210×297) с помощью применения ЭВМ в соответствии с [1]. В записке должны быть приведены все расчеты и кратко изложены основные, принципиальные положения, поясняющие принятые в работе решения.

##### **3.2.1 Исходные данные.**

Исходные данные для выполнения РГР № 3 представлены в таблице 3.4 (задача № 1); в таблице 3.5 (задача № 2); в таблице 3.6 (задача № 3). Вариант задания назначает преподаватель индивидуально для каждого студента.

Исходные данные для выполнения РГР № 3, где задаются характеристики конструкций очистки сточных вод промышленного предприятия:

- гидравлическая нагрузка погружаемого биофильтра;
- скорость окисления органических соединений;
- высота биофильтра;
- количество секций биофильтра;
- расстояние между дисками погружного фильтра;
- БПК<sub>20</sub> исходной и очищенной сточной воды.

### 3.3 Методы очистки сточных вод

Развитие промышленности вызывает необходимость в предотвращении отрицательного воздействия производственных сточных вод на водоемы. В связи с чрезвычайным разнообразием состава, свойств и расходов сточных вод промышленных предприятий необходимо применение специфических методов, а также сооружений по их локальной, предварительной и полной очистке.

В составе инженерных коммуникаций каждого промышленного предприятия имеется комплекс канализационных сетей и сооружений, с помощью которых осуществляется отведение с территории предприятия отработанных вод (дальнейшее использование которых либо невозможно по техническим условиям, либо нецелесообразно по технико-экономическим показателям), а также сооружений по предварительной обработке сточных вод и извлечению из них ценных веществ и примесей.

К производственным сточным водам относятся воды, использованные в технологическом процессе производства или получающиеся при добыче полезных ископаемых. Производственные сточные воды делятся на две основные категории: загрязненные и незагрязненные (условно чистые).

По характеру примесей, с точки зрения их физико-химического состава, сточные воды делятся на две большие группы – гомогенные и гетерогенные системы, в которых можно выделить:

- а) сточные воды, содержащие нерастворимые в воде примеси с величиной частиц  $10^2 - 10^3$  нм и более;
- б) сточные воды, содержащие коллоидные примеси;
- в) сточные воды, содержащие газы и молекулярно-растворимые органические вещества;
- г) сточные воды, содержащие истинно-растворимые вещества.

По концентрации загрязняющих веществ производственные сточные воды делятся на четыре группы:

- от 1 до 500 мг/л – слабо концентрированные;
- от 500 до 5000 мг/л – слабо концентрированные;
- от 500 до 30 000 мг/л – высококонцентрированные;
- свыше 30 000 мг/л – высококонцентрированные.

Методы очистки сточных вод подразделяются на механические, физико-химические и биологические. Для правильного выбора метода и необходимой степени очистки сточных вод нужно иметь подробные данные о примесях, их количестве и составе. В таблице 3.1 приводятся рекомендации по выбору метода очистки сточных вод в зависимости от состава и концентраций загрязняющих веществ /4/.

#### 3.3.1 Биологическая очистка

Биологические методы очистки сточных вод основываются на естественных процессах жизнедеятельности гетеротрофных микроорганизмов.

Микроорганизмы обладают целым рядом особых свойств, из которых можно выделить три основных, широко используемых для целей очистки: способность потреблять в качестве источников питания самые разнообразные органические (и некоторые неорганические) соединения для получения энергии и обеспечения своего функционирования; свойство быстро размножаться, в

Таблица 3.1 – Рекомендуемые методы очистки сточных вод

Концентрация загрязняющих веществ, мг/л	Методы очистки сточных вод, содержащих вещества			
	Преимущественно органические с температурой кипения, °С			Преимущественно неорганические
	< 120	120–250	> 250	
1–500	биологический, химический, сорбционный		химический, сорбционный	механический химический, сорбционный
500–5000	химический (озонирование,	химический, сорбционный,	сорбционный, жидкофазное	механический сорбционный,
	хлорирование), сорбционный, жидкофазное окисление с биологической доочисткой, сжигание в печах	экстракционный, жидкофазное окисление с биологической доочисткой, сжигание в печах	окисление с биологической доочисткой, сжигание в печах	выпаривание
5000–30000	химический, экстракционный, жидкофазное окисление с биологической доочисткой, сжигание в печах			механический, выпаривание, сброс в море, захоронение в земле, сушка в кипящем слое
>30000	экстракционный, жидкофазное окисление с различными методами доочистки, сжигание в печах			то же

среднем число бактериальных клеток удваивается каждые 30 мин.; способность образовывать колонии и скопления, которые сравнительно легко можно отделить от очищенной воды после завершения процессов изъятия содержащихся в ней загрязнений.

В живой микробной клетке непрерывно и одновременно протекают два процесса – распад молекул (катаболизм) и их синтез (анаболизм), составляющие в целом процесс обмена веществ – метаболизм.

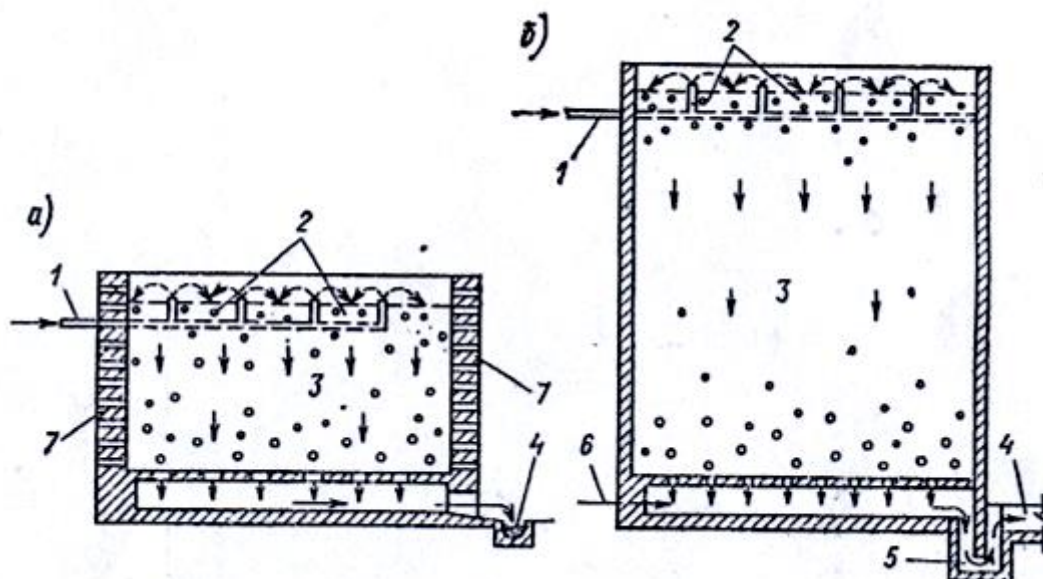
Источником питания для гетеротрофных организмов являются углеводы, жиры, белки, спирты и т.д., которые могут расщепляться ими либо в аэробных, либо в анаэробных условиях.

На рисунке 3.1 приводится схема биофильтров с естественной (а) и принудительной (б) подачей воздуха.

В качестве фильтрующего материала для загрузки фильтров применяется гравий, шлак, щебень, керамзит и т.д.

Общие требования к загрузочным материалам – водоустойчивость, устойчивость к специфическим загрязнениям стоков и достаточная прочность. При выборе загрузки предпочтение следует отдавать материалам с развитой поверхностью (шлак, керамзит, решетки из пластмассы).

В соответствии с [7] технологические параметры определяются расчетом по нижеследующим зависимостям.



- 1 – водоподающие трубы; 2 – водораспределительные устройства;  
 3 – загрузка; 4 – водоотводящие лотки; 5 – гидравлический затвор;  
 6 – воздухоподводящие трубы; 7 – воздухопроницаемые стенки

Рисунок 3.1 – Биофильтры с естественной (а) и принудительной (б) подачей воздуха

Период аэрации  $t_{atm}$ , ч, в аэротенках, работающих по принципу смесителя, следует определять по формуле

$$t_{atm} = \frac{L_{en} - L_{ex}}{\alpha_i (1 - s) \rho}, \quad (3.1)$$

где  $L_{en}$  – БПК<sub>полн</sub> поступающей в аэротенк сточной воды (с учетом снижения

БПК при первичном отстаивании), мг/л;

$L_{ex}$  – БПК<sub>полн</sub> очищенной воды, мг/л;

$\alpha_i$  – доза ила, г/л, определяемая технико-экономическим расчетом с учетом работы вторичных отстойников;

$s$  – зольность ила, принимаемая по таблице 3.1;  
 $\rho$  – удельная скорость окисления, мг БПК<sub>полн</sub> на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч, определяемая по формуле

$$\rho = \rho_{\max} \frac{L_{ex} C_0}{L_{ex} C_0 + K_l C_0 + K_0 L_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \varphi \varepsilon_i}, \quad (3.2)$$

где  $\rho_{\max}$  – максимальная скорость окисления, мг/(г\*ч), принимаемая по таблице 3.1;

$C_0$  – концентрация растворенного кислорода, мг/л;

$K_l$  – константа, характеризующая свойства органических загрязняющих веществ мг БПК<sub>полн</sub> /л и принимаемая по таблице 3.1;

$K_0$  – константа, характеризующая влияние кислорода, мг  $O_2$ /л принимаемая по таблице 3.1;

$\varphi$  – коэффициент ингибирования продуктами распада активного ила, л/г, принимаемая по таблице 3.1.

Период аэрации  $t_{aiv}$ , ч, в аэротенках рассчитываются по формуле

$$t_{aiv} = \frac{1 + \varphi \alpha_i}{\rho_{\max} C_0 \alpha_i (1 - s)} \left[ (C_0 + K_0)(L_{mix} - L_{ex}) + K_l C_0 \ln \frac{L_{en}}{L_{ex}} \right] K_p, \quad (3.3)$$

где  $K_p$  – коэффициент, учитывающий влияние продольного перемешивания;

$K_p = 1,5$  при биологической очистке до  $L_{ex} = 15$  мг/л;  $K_p = 1,25$  – при  $L_{ex} > 30$  мг/л.

### 3.4 Биологические фильтры

Биофильтры проектируются для полной (БПК ≤ 20 мг/л) и частичной очистки сточных вод. Очищаемые бытовые и производственные сточные воды должны иметь следующие характеристики:  $6,5 < \text{pH} < 8,5$ ;  $6 \text{ }^\circ\text{C} < T < 30 \text{ }^\circ\text{C}$ ; общая концентрация растворенных солей не более 10 г/л; БПК ≤ 300 мг/л при обычной биологической очистке; БПК ≤ 1 г/л при двухступенчатой очистке с рециркуляцией; содержание биогенных элементов не менее 5 мг/л в пересчете на азот; не менее 1 мг/л в пересчете на фосфор на каждые 100 мг/л БПК сточных вод.

В биофильтре сточная вода фильтруется через загрузочный материал, покрытый биологической пленкой, образованной колониями и микроорганизмами. Фильтрующая загрузка помещена в круглый, многогранный или прямоугольный резервуар со сплошными стенками и двойным дном:

верхнее дно – опорная решетка, нижнее – сплошное. Высота между донного пространства выбирается не менее 0,6 м; уклон нижнего днища со сборным лотком – не менее 0,01 м. Продольный уклон сборных лотков – не менее 0,005 м. Стенки биофильтров должны быть выше поверхности фильтроматериала на 0,5 м. Биофильтр снабжен дренажным устройством для удаления профильтровавшейся воды, воздухораспределительным устройством, с помощью которого поступает необходимый для окислительного процесса воздух.

Капельные биофильтры имеют крупность фракций загрузочного материала от 20 до 30 мм, высоту слоя загрузки от 1 до 2 м и применяются при расходе сточных вод  $q_w$  до 1000 м<sup>3</sup>/сут. Высоконагружаемые биофильтры с крупностью загрузочного материала от 40 до 60 мм и высотой слоя загрузки от 2 до 4 м используются при  $q_w$  до 50000 м<sup>3</sup>/сут. В биофильтрах с жесткой засыпной загрузкой используют керамические, пластмассовые и металлические засыпные элементы; с жесткой блочной загрузкой – гофрированные и плоские листы, выполненные из асбестоцемента, пластмассы, а в биофильтрах с мягкой или рулонной загрузкой – металлические сетки, пластмассовые пленки, синтетические ткани, закрепленные на каркасе или уложенные в виде рулонов. Такие биофильтры эффективны при расходах от 10000 до 50000 м<sup>3</sup>/сут в зависимости от конструкции. Погружные дисковые биофильтры используют при очистке сточных вод при расходах до 1000 м<sup>3</sup>/сут.

#### 3.4.1 Расчет высоконагружаемых биофильтров

Скорость окисления органических соединений  $K$  рассчитывается по формуле (3.4)

$$K = L_{en} / L_{ex}, \quad (3.4)$$

где  $L_{en}$ ,  $L_{ex}$  – БПК исходной и очищенной воды, мг/л.

По таблице 3.2 при известной  $K$  и температуре сточной воды  $t_w$  определяются высота биофильтра  $H$ , м, гидравлическая нагрузка  $q$ , м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·сут) и удельный объем подаваемого воздуха  $V_{уд}$ , м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> воды. Если расчетное значение  $K$  отличается от приведенных в таблице значений, то для очистки сточной воды без рециркуляции выбираются величины  $H$ ,  $q$  и  $V_{уд}$  по ближайшему значению  $K$ , а для очистки с рециркуляцией – по меньшему.

Площадь биофильтров  $F$ , м<sup>2</sup> определяется по формуле (3.5) при очистке без рециркуляции, и по формуле (3.6) – при очистке сточных вод с рециркуляцией.

$$F = q_w / q, \quad (3.5)$$

$$F = q_w (np + 1) / q, \quad (3.6)$$

где  $n_p$  – коэффициент рециркуляции, определенный по формуле (3.7)

$$n_p = (L_{en} - L_{cm}) / (L_{cm} - L_{ex}), \quad (3.7)$$

где  $L_{cm}$  – БПК смеси сточных вод, мг/л.

### 3.4.2 Расчет капельных биофильтров

Постоянная скорости окисления органических загрязнений  $K$  находится по формуле (3.4), гидравлическая нагрузка  $q$  при данных значениях  $K$  и температуре воды  $t_w$ , °С определяется из таблицы 3.3, общая площадь биофильтра рассчитывается по формуле (3.5). Если полученное значение  $K$  превышает значения, приведенные в таблице 3.3, необходимо вводить рециркуляцию и расчет производить по методике расчета высоконагружаемых биофильтров с рециркуляцией.

Таблица 3.2 – Определение высоты высоконагружаемого биофильтра  $H$ , м, гидравлической нагрузки  $q$ , м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·сут), и расхода воздуха  $V_{уд}$ , м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, при данных константе скорости окисления  $K$  и температуре сточной воды  $t_w$

Высота биофильтра $H$ , м	Значение $K$ при температуре воды $t_w$ , °С							
	8		10		12		14	
	Гидравлическая нагрузка $q$ , м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·сут)							
	10	20	10	20	10	20	10	20
При расходе воздуха $V_{уд}= 8$ м <sup>3</sup> на 1 м <sup>3</sup> воды								
2	3,02	2,32	3,38	2,50	3,76	2,74	4,3	3,02
3	5,25	3,53	6,20	3,96	7,32	4,64	8,95	5,25
4	9,05	5,37	10,4	6,25	11,20	7,54	12,10	9,05
При расходе воздуха $V_{уд}= 10$ м <sup>3</sup> на 1 м <sup>3</sup> воды								
2	3,69	2,89	4,08	3,11	4,50	3,36	5,09	3,67
3	6,10	4,24	7,08	4,74	8,23	5,31	9,90	6,04
4	10,10	6,23	12,3	7,18	15,10	8,45	16,40	10,0
При расходе воздуха $V_{уд}= 12$ м <sup>3</sup> на 1 м <sup>3</sup> воды								
2	4,32	3,38	4,76	3,72	5,31	3,96	5,97	4,31
3	7,25	5,01	8,35	5,55	9,90	6,35	11,70	7,20
4	12,00	7,35	14,80	8,25	18,40	10,40	23,10	12,00

Таблица 3.3 – Определение высоты капельного биофильтра  $H$ , м, и гидравлической нагрузки  $q$ , м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·сут), при данных константе скорости окисления  $K$  и температуре сточной воды  $t_w$

Гидравлическая нагрузка $q$ , м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·сут)	Значение $K$ при температуре воды $t_w$ , °С							
	8		10		12		14	
	Высота биофильтра $H$ , м							
	1	2	1	2	1	2	1	2
1,0	8	1	9	1	1	1	1	1



1,5	5	1	7	1	8	1	1	1
2,0	4	8	5	1	5	1	8	1
2,5	4	6	4	8	5	1	6	1
3,0	3	6	4	7	5	8	5	1

3.4.3 Расчет погружного дискового вращающегося биофильтра  
Требуемая эффективность очистки рассчитывается по формуле

$$\Theta = \frac{(L_{en} - L_{ex})}{L_{en}} \cdot 100 \quad (3.8)$$

Допустимая нагрузка  $F$  по БПК<sub>20</sub> на 1м<sup>2</sup> площади поверхности дисков, БПК<sub>20</sub> г/(м<sup>2</sup>·сут), определяется по рисунку 7.



Рисунок 3.2 – Определение допустимой нагрузки

Общая площадь поверхности дисков  $F_D$  определяется по формуле (3.9)

$$F_D = L_{en} \cdot q_w / F \quad (3.9)$$

Исходя из конструктивных соображений, выбирается диаметр диска  $D$  и определяется площадь его поверхности с обеих сторон  $S_D$ , м<sup>2</sup>, по уравнению  $2\pi D^2/4$ . Диски выполняются из асбестоцемента, пластмассы или металла, и имеют диаметр от 0,6 до 3 м. Количество дисков  $n_D$  рассчитывается по формуле (3.10)

$$n_D = F_D / S_D \quad (3.10)$$

Выбирается количество секций  $n$  биофильтра и количество ступеней в каждой секции  $n_c$ . Количество секций дисков в одной ступени  $n_D$  определяется по формуле (3.11)

$$n_D = n_D / (n n_c) \quad (3.11)$$

Ширина секции погружного биофильтра  $B$ , рассчитывается по уравнению

$$B = 0,1 + \delta_1 \cdot n_D + \delta_2 \cdot (n_D - 1), \quad (3.12)$$

где  $\delta_1$  – толщина диска, м, для поливинилхлоридных листов  $\delta_1 = 0,01$  м;  
 $\delta_2$  – расстояние между дисками, составляет в интервале от 0,015 до 0,030 м.

Длина секции биофильтра  $l$ , м, находится по формуле (3.13)

$$l = l_c \cdot n_c, \quad (3.13)$$

где  $l_c$  – длина одной ступени, м.

Рабочая глубина секции  $H$  составляет  $(0,4-0,5) \cdot D$ , частота вращения вала с дисками от 2 до 5 мин, расстояние от нижней кромки диска до дна от 0,03 до 0,05 м.

#### 3.4.4 Расчет биофильтров с плоскостной загрузкой

Выбирается вид плоскостной загрузки и её высота  $H$ , м. Рассчитывается значение критериального комплекса  $\eta$  при данном значении  $L_{ex}$ , используя ряд:

$L_{ex}$ , мг/л	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$\eta$	3,30	2,60	2,25	2,00	1,75	1,60	1,45	1,30	1,20

Допустимая нагрузка на единицу площади биофильтра (по БПК<sub>5</sub>)  $Q$ , г/(м<sup>2</sup>·сут), рассчитывается по формуле (3.14)

$$Q = P \cdot H \cdot K_t / \eta, \quad (3.14)$$

где  $P$  – пористость плоскостной загрузки, %;

$K_t$  – температурная постоянная, определяемая по формуле

$$K_t = K_{20} \cdot 1,047^{t-20}, \quad (3.15)$$

где  $K_{20}$  – постоянная скорости биохимического окисления в сточной воде при  $t_w=20$  °С; ( $K_{20} = 0,2$ ).

Допустимая гидравлическая нагрузка  $q$ , м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·сут), рассчитывается по формуле (3.16)

$$q = Q \cdot S_{уд} / L_{en}, \quad (3.16)$$

где  $S_{уд}$  – удельная поверхность загрузки, определяемая по справочным данным.

Объем загрузки  $V$ , м<sup>3</sup>, и площадь биофильтра  $F$ , м<sup>2</sup>, определяются по формулам (3.17) и (3.18)

$$V = qw / q, \quad (3.17)$$

$$F = V / H. \quad (3.18)$$

Исходя из конструктивных соображений выбирается форма, количество и геометрические размеры биофильтра. Например, диаметр секции D биофильтра

круглой формы рассчитывается по формуле  $\sqrt{4F/\pi}$ .

#### Задания к расчету

№ 1. Рассчитайте константу скорости окисления органических соединений K, площадь высоконагружаемого биофильтра F, гидравлическую нагрузку q, объем фильтровальной загрузки при расходе воздуха  $V_{уд}$  8 и 12 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> воды для очистки сточных вод последующими сходным данным, показанным в таблице 3.4: расход сточных вод  $q_w$ , БПК<sub>20</sub> исходной и очищенной сточной воды, соответственно,  $L_{en}$  и  $L_{ex}$ , среднесезонная температура сточной воды  $t_w$ . Исходные данные для выполнения РГР № 1 представлены в таблице 3.4. Вариант задания назначает преподаватель индивидуально для каждого студента.

Таблица 3.4 – Исходные данные для проектирования

№ варианта	$q_w$ , м <sup>3</sup> /сут	$L_{en}$ , мг/л	$L_{ex}$ , мг/л	$t_w$ , °C
1	42000	180	20	8
2	45000	200	18	10
3	20600	180	15	12
4	45550	250	12	14
5	37740	200	13	8
6	41800	150	10	10
7	60600	300	19	12
8	50650	170	17	14
9	26630	250	22	8
10	47740	240	24	10
11	35800	260	23	12
12	43900	300	24	14
13	41750	430	22	8
14	30640	240	13	10
15	52600	260	27	12
16	46650	332	30	14
17	67630	350	18	8
18	49740	200	26	10
19	42600	240	20	12
20	35000	200	15	10

№ 2. Погружной дисковый вращающийся биофильтр используют для очистки сточных вод спиртово-крахмального завода с БПК<sub>20</sub> исходной и очищенной сточной воды, соответственно,  $L_{en}$  и  $L_{ex}$ . Расход сточных вод составляет  $q_w$ . Определите эффективность очистки  $\mathcal{E}$ , допустимую нагрузку  $F$  по БПК<sub>20</sub> на 1 м<sup>2</sup> площади поверхности дисков, общую площадь поверхности дисков  $F_D$ , площадь поверхности одного диска с обеих сторон  $S_D$  при диаметре диска  $D = 2,5$  м, количество дисков  $n_D$ , количество секций дисков в каждой ступени  $n_p$ , ширину, длину и рабочую глубину секции погружного биофильтра, соответственно,  $B$ ,  $l$  и  $H$ . Исходные данные для выполнения РГР № 1 представлены в таблице 3.5. Вариант задания назначает преподаватель индивидуально для каждого студента.

Таблица 3.5 – Выбор варианта исходных данных

№ варианта	$q_w$ , м <sup>3</sup> /сут	$L_{en}$ , мг/л	$L_{ex}$ , мг/л
1	450	600	20
2	400	700	18
3	406	680	15
4	455	550	12
5	477	600	13
6	418	450	10
7	506	700	19
8	517	670	17
9	466	550	22
10	740	540	24
11	580	560	23
12	390	600	24
13	417	530	22
14	640	640	13
15	600	560	27
16	466	732	30
17	476	650	18
18	740	600	26
19	600	540	20
20	650	500	10

№ 3. Рассчитайте биофильтр с плоскостной фильтровальной загрузкой, состоящей из чередующихся плоских и гофрированных полиэтиленовых листов с удельной поверхностью  $S_{уд} = 120$  м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup> и пористостью  $P = 93$  %. Высота загрузки  $H = 4$  м. Биофильтр используют для очистки сточных вод с БПК<sub>5</sub> поступающей и очищенной сточной воды, соответственно,  $L_{en}$  и  $L_{ex}$ . Расход сточных вод составляет  $q_w$ . Среднезимняя температура сточной воды  $t_w = 13$ °С.

Определите требуемый эффект очистки  $\mathcal{E}$ , величину критериального

комплекса при данном  $L_{ex}$ , температурную постоянную  $K_T$ , допустимую нагрузку по БПК<sub>5</sub>, гидравлическую нагрузку  $q$ , объем загрузки  $V$ , площадь биофильтра  $F$  и диаметр секции биофильтра круглой формы  $D$ . Исходные данные для выполнения РГР № 1 представлены в таблице 3.6. Вариант задания назначает преподаватель индивидуально для каждого студента.

Таблица 3.6 – Выбор варианта исходных данных

№ варианта	$q_w$ , м <sup>3</sup> /сут	$L_{en}$ , мг/л	$L_{ex}$ , мг/л
1	7500	150	15
2	7400	100	10
3	7706	140	20
4	7255	130	50
5	10077	160	25
6	14018	155	10
7	15006	130	35
8	11217	140	30
9	9466	140	25
10	10740	150	20
11	9580	155	40
12	8390	160	45
13	12417	170	30
14	10640	140	35
15	11600	130	30
16	9466	160	25
17	8476	155	20
18	7740	150	15
19	10600	100	10
20	11650	140	40

## Список литературы

1 Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию учебно-методических и учебных работ. СТ НАО 56023-1910-04-2014. Издание официальное. Алматы: «НАО АУЭС». – 2014. – 43 с.

2 Говорова Ж. М. Учебное пособие «Системы и сооружения водоснабжения» . – М.: 2020 г.

[https://aldebaran.ru/download/m\\_govorova\\_j/kniga\\_sistemyi\\_i\\_soorujeniya\\_vodosnabzheniya/?formats=pdf](https://aldebaran.ru/download/m_govorova_j/kniga_sistemyi_i_soorujeniya_vodosnabzheniya/?formats=pdf)

3 Воронов Ю.В., Алексеев Е.В., Пугачев Е.А., Саломеев В.П. «Водоотведение». – М.: Высш.шк., 2016. – 416 с.

4 Алексеев Е.В. Системы и сооружения водоотведения: учебно-методическое пособие. — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2021.

[https://aldebaran.ru/download/v\\_alekseev\\_e/kniga\\_sistemyi\\_i\\_soorujeniya\\_vodootvedeniya/?formats=pdf](https://aldebaran.ru/download/v_alekseev_e/kniga_sistemyi_i_soorujeniya_vodootvedeniya/?formats=pdf)

5 Жандаулетова Ф.Р. Учебное пособие «Охрана и рациональное использование водных ресурсов и почв». – Алматы, 2015 г.

6 Водный кодекс Республики Казахстан. – Астана: БИКО, 2020. - 64 с.

7 Жандаулетова Ф.Р. Очистка сточных вод // Учебное пособие. – Алматы, 2015 г.

8 «Экологическая устойчивость» и «экологическое развитие» в основе устойчивого развития. Часть 1. // [Электронный ресурс] URL: <http://zeleneet.com/ekologicheskaya-ustojchivost-i-ekologicheskoe-razvitiye-v-osnove-ustojchivogo-razvitiya-chast-1/1710/> (дата обращения: 7.08.2019).

9 Устойчивое развитие: Новые вызовы: учебник для вузов/ Под общ. ред. В.И. Данилова-Данильяна, Н.А. Пискуловой. — М.: Издательство «Аспект Пресс», 2015. — 336 с.

10 Липина С.А., Агапова Е.В., Липина А.В. Зеленая экономика. Глобальное развитие. – М.: Изд-во Проспект, 2016. – с. 234.

11 ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения.

12 ГОСТ 27593-88. Почвы. Термины и определения

13 СНиП РК 4.01.-02-2001 (СНиП 2.04.02.-84) Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – Астана, 2002.

14 СНиП РК 4.01.-03-2002 (СНиП 2.04.03-85) Канализация. Наружные сети и сооружения. – Астана, 2003.

## Содержание

Введение	3
1 Расчетно-графическая работа № 1. Оценка влияния сточных вод на Качество воды в реке и определение уровня загрязнения реки	4
1.1 Цель и задачи расчетно-графической работы	4
1.2 Объем и содержание расчетно-графической работы	4
1.3 Задание к расчетно-графической работе	7
1.4 Методические указания к выполнению работы	7
1.5 Методические указания к решению задачи	13
2 Расчетно-графическая работа № 2. Определение уровня загрязнения почвы населенного пункта и оценка степени опасности для здоровья населения	18
2.2 Объем и содержание расчетно-графической работы	18
2.3 Методические указания к выполнению работы	21
2.4 Примеры расчета РГР № 2	23
3 Расчетно-графическая работа № 3	26
3.1 Цель и задачи РГР № 3	26
3.2 Объем и содержание расчетно-графической работы	26
3.3 Методы очистки сточных вод	27
3.4 Биологические фильтры	30
Список литературы	38

Фарида Рустембековна Жандаулетова

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
НА ЗЕМЕЛЬНЫЕ И ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

Методические указания к выполнению расчетно-графических работ  
для магистрантов, обучающихся по образовательной программе  
7М11201 – «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды»

Редактор:  
Специалист по стандартизации:

Жанабаева Е.Б.  
Ануарбек Ж.А.

Подписано в печать  
Тираж 50 экз.  
Объем 2,0 уч.-изд. л.

Формат 60×84 1/16  
Бумага типографская № 1  
Заказ Цена 1000 тенге.

Копировально-множительное бюро  
некоммерческого акционерного общества  
«Алматинский университет энергетики и связи»  
050013 Алматы, Байтурсынова, 126/1