

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Емец Валерий Сергеевич
Должность: Директор филиала
Дата подписания: 23.06.2026 16:48:39
Уникальный программный ключ:
f2b8a1573c931f1098cfe699d1debd94fcff35d7

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Рязанский институт (филиал)
федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования
«Московский политехнический университет»

Кафедра «Информатика и информационные технологии»

Е.В. Воробьева

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ.
СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ**

Учебно-методическое пособие

Рязань
2023

УДК 628.543
ББК 38.761

В 75

Воробьева, Е.В.

В 75 Экологические задачи в строительстве. Строительные системы охраны водных ресурсов: учебно-методическое пособие / Е.В. Воробьева. - Рязань: Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета, 2023. – 36 с.

В учебно-методическом пособии излагаются теоретический материал и примеры расчетов оборудования для охраны водных ресурсов по дисциплине «Экологические задачи в строительстве», раскрываются основные понятия и научные положения курса. Учебно-методическое пособие предназначено для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство.

Печатается по решению методического совета Рязанского института (филиала) Московского политехнического университета.

УДК 628.543
ББК 38.761

↕ Воробьева Е.В., 2023
↕ Рязанский институт (филиал)
Московского политехнического
университета, 2023

Содержание

Введение.....	4
1 Практическое занятие №1. Определение состава и количества реагентов для очистки воды.....	5
1.1 Цель занятия.....	5
1.2 Теоретическая часть	5
1.3 Пример решения задачи.....	8
1.4 Задания для самостоятельного решения.....	9
1.5 Контрольные вопросы.....	10
2 Практическое занятие №2. Расчет оборудования для приготовления, хранения и дозирования реагентов для очистки воды.....	10
2.1 Цель занятия.....	10
2.2 Теоретическая часть	10
2.3 Пример решения задачи.....	16
2.4 Задания для самостоятельного решения.....	24
2.5 Контрольные вопросы.....	24
3 Практическое занятие №3. Расчет смесителей очистки воды.....	24
3.1 Цель занятия.....	24
3.2 Теоретическая часть	24
3.3 Пример решения задачи.....	29
3.4 Задания для самостоятельного решения.....	33
3.5 Контрольные вопросы.....	34
Библиографический список.....	34

Введение

Одной из основных экологических задач в строительстве является обеспечение экологической безопасности. Под экологической безопасностью в строительстве понимается совокупность природных, социальных, технических, инженерных и других условий, обеспечивающих экологический баланс в природе и защиту окружающей среды и человека от вредного влияния неблагоприятных факторов, которые вызваны антропогенным воздействием – строительством.

Значимость экологической безопасности постоянно растёт. Это связано с увеличением населения городов, ростом масштабов коммерческой и производственной деятельности. На территории городов концентрируется потребление энергии и ресурсов, образуется громадное количество отходов, искусственные и естественные системы оказываются перегруженными, а управление этими системами и регулирование их функций становится все более затруднительным. Общая неблагоприятная ситуация усугубляется новым строительством, быстрым ростом численности городского населения. В результате ущерб, причиняемый окружающей среде, и затраты на ее охрану становятся настолько крупными, что это создает угрозу для здоровья людей и ухудшает условия их жизни.

Учебно-методическое пособие содержит общие сведения о выборе методов водоподготовки и составе сооружений на основании регламента нормативных документов, а также включает методики и формулы технологического расчета сооружений.

Ввиду чего дисциплина «Экологические задачи в строительстве» изучается в рамках направления подготовки 08.03.01 Строительство.

1 Практическое занятие №1. Определение состава и количества реагентов для очистки воды

1.1 Цель занятия

Научить студентов на примере решения задач определять состав и рассчитывать количество реагентов для очистки воды.

1.2 Теоретическая часть

Снижение содержания взвеси в воде осуществляется под действием силы тяжести в процессе осаждения. Примеси, обуславливающие мутность и цветность природных вод, отличаются малыми размерами, вследствие чего их осаждение происходит очень медленно, т.к. силы диффузии превалируют над силами тяжести. Коллоидные частицы, обуславливающие мутность и цветность, в неочищенной воде несут отрицательный поверхностный заряд, который вызывает их отталкивание и препятствует агломерации. Использование коагулянта при определенной щелочности воды нейтрализует этот заряд, вызывает образование небольших хлопьев. Увеличение размеров хлопьев происходит при добавлении к воде флокулянтов [1].

Таким образом для интенсификации процесса осаждения используют коагулянты, щелочные реагенты, флокулянты.

Определение количества коагулянта.

Коагуляцией примесей воды называют процесс укрупнения коллоидных и взвешенных частичек дисперсной системы, происходящей в результате их межмолекулярного взаимодействия и объединения в агрегаты. Этот процесс завершается отделением агрегатов слипшихся частичек от жидкой фазы.

На скорость коагуляции влияют условия перемешивания, pH, температура, щелочность, состав воды, количество коагулянта и т.д. [2].

В качестве коагулянтов могут применяться следующие соединения:

- сульфат алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$;
- оксихлорид алюминия $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$;
- алюминат натрия NaAlO_3 ;
- хлорное железо $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$;
- железный купорос $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$;
- сульфат железа $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$;
- смешанные алюможелезистые коагулянты.

Наиболее распространенными являются сульфат алюминия и хлорид железа.

Количество (доза) коагулянта (г/м^3) рассчитывается по формуле

$$D_k = 4 \cdot \sqrt{Ц},$$

где Ц- цветность обрабатываемой воды, град.

В соответствии с исходной максимальной мутностью по таблице 1 выбирают количество коагулянта.

Таблица 1 – Количество коагулянта в зависимости от мутности обрабатываемой воды

Мутность воды, г/м ³	Количество коагулянта, г/м ³	Мутность воды, г/м ³	Количество коагулянта, г/м ³
Менее 100	25 - 35	600 - 800	50 - 60
100 - 200	30 - 40	800 - 1000	60 - 70
200 - 400	35 - 45	1000 - 1500	70 - 80
400 - 600	45 - 50		

Меньшее количество коагулянта относится к воде, содержащей грубодисперсную смесь. При применении контактных осветлителей и контактных префильтров количество коагулянта необходимо принимать на 10-15 % меньше, чем по таблице или по формуле.

Принятое по таблице 1 значение количества коагулянта сравнивают с рассчитанным по формуле количеством и принимают большее из полученных значений.

Определение количества щелочного реагента.

Коагуляция протекает хорошо при определенной щелочности воды. Если щелочности исходной воды недостаточно, то для улучшения процесса хлопьеобразования исходную воду искусственно подщелачивают.

В качестве подщелачивающих агентов применяется:

- известь CaO;
- сода Na₂CO₃;
- гидроксид натрия NaOH.

Количество подщелачивающего реагента (г/м³) рассчитывается по формуле

$$D_{\text{щ}} = K_{\text{щ}} \cdot \left(\frac{D_{\text{к}}}{e_{\text{к}}} - \text{Щ}_0 \right) + 1,$$

где $K_{\text{щ}}$ – коэффициент, равный для извести (CaO) – 28, для соды (Na₂CO₃) – 53, для щелочи (NaOH) – 40;

$D_{\text{к}}$ – расчетное количество безводного коагулянта, г/м³;

$e_{\text{к}}$ – эквивалентная масса безводного коагулянта, г/г-экв, равная для Al₂(SO₄)₃ – 57, FeCl₃ – 54, Fe₂(SO₄)₃ – 67;

Щ_0 – минимальная щелочность обрабатываемой воды, г-экв/м³ ($\text{Щ}_0 = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} = \text{CO}_3^{2-}$).

Если величина $D_{\text{щ}}$ получается отрицательной, то подщелачивать воду не нужно.

Подщелачивающий реагент вводится до или после добавления коагулянта. Если для коагуляции щелочности исходной воды недостаточно, то

подщелачивающий реагент вводится до введения коагулянта. В высокоцветные воды подщелачивающий реагент следует добавлять после ввода коагулянта.

Определение количества флокулянта.

С целью увеличения размера хлопьев, и тем самым, интенсификации отделения загрязнений путем осветления и фильтрации в воду добавляют флокулянты. Наиболее часто используют полиакриламид (ПАА) и активную кремнекислоту (АК).

При использовании ПАА при вводе его перед отстойниками или осветлителями со взвешенным слоем осадка его количество принимают по таблице 2.

Таблица 2 – Количество флокулянта ПАА (безводного) в зависимости от мутности и цветности обрабатываемой воды

Мутность воды, г/м ³	Цветность, град	Количество флокулянта, г/м ³
Менее 10	Более 50	1,0 - 1,5
100 – 200	30 - 100	0,3 - 0,6
100 – 500	20 - 60	0,2 - 0,5
500 – 1500	-	0,2 - 1,0

Флокулянт вводят через 2 - 4 минуты после добавления коагулянта.

Определение количества хлора.

Для предварительного обеззараживания и улучшения хода коагуляции и обесцвечивания, а также улучшения санитарного состояния сооружений количество хлора (активного) составляет 3 - 10 г/м³.

Реагент для первичного хлорирования рекомендуется вводить за 1-3 минуты до ввода коагулянта.

Для обеззараживания воды после заключительной стадии очистки (вторичное хлорирование) количество реагента принимается соответственно: для поверхностных вод после фильтрования количество хлора – 2 - 3 г/м³, для подземных источников – 0,7 - 1,0 г/м³.

Определение концентрации взвешенных веществ в воде.

Содержание взвешенных веществ в воде увеличивается после добавления реагентов и определяется по формуле

$$C_B = M + K_K \cdot D_K + 0,25 \cdot Ц + B_{и},$$

где C_B – концентрация взвешенных веществ, поступающих в отстойник, г/м³;

M – количество взвешенных веществ в очищаемой воде, г/м³;

K_K – коэффициент, учитывающий количество нерастворимых веществ, вносимых коагулянтом и образующихся при его гидролизе, принимается для очищенного сернокислого алюминия 0,5, для неочищенного – 1,2, для хлорного железа – 0,8;

$B_{\text{и}}$ – количество нерастворимых веществ, вносимых с известью, г/м³, определяется по формуле

$$B_{\text{и}} = \frac{D_{\text{щ}}}{K_{\text{и}}} - D_{\text{щ}},$$

где $D_{\text{щ}}$ – доза извести по CaO г/м³;

$K_{\text{и}} = 0,7$ – долевое содержание CaO в извести.

1.3 Пример решения задачи

Задача. Определить необходимые количества реагентов для очистки воды с основными показателями: максимальная мутность 450 г/м³, минимальная мутность 30 г/м³, цветность 60 град, содержание ионов $\text{Ca}^{2+} = 0,19$ г-экв/м³, $\text{Mg}^{2+} = 0,15$ г-экв/м³, $\text{CO}_3^{2-} = 1,3$ г-экв/м³.

Решение.

1. В качестве коагулянта выбираем сульфат алюминия – $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$.

2. Предварительно определяем количество коагулянта по формуле.

$$D_{\text{к}} = 4 \cdot \sqrt{\text{Ц}} = 4 \cdot \sqrt{60} = 30,98 \text{ г/м}^3.$$

3. В соответствии с максимальной мутностью $M=450$ г/м³ по таблице 1 определяем количество коагулянта $D_{\text{к}} = 45 - 50$ г/м³. Для дальнейших расчетов принимаем значение $D_{\text{к}} = 45$ г/м³.

4. В качестве подщелачивающего реагента выбираем известь CaO.

5. Рассчитываем количество подщелачивающего реагента по формуле

$$D_{\text{щ}} = K_{\text{щ}} \cdot \left(\frac{D_{\text{к}}}{e_{\text{к}}} - \text{Щ}_0 \right) + 1 = 28 \cdot \left(\frac{45}{57} - 0,34 \right) + 1 = 13,70 \text{ г/м}^3,$$

где $K_{\text{щ}}$ – коэффициент для извести (CaO) – 28;

$D_{\text{к}}$ – расчетная доза безводного коагулянта, г/м³;

$e_{\text{к}}$ – эквивалентная масса безводного коагулянта для $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 - 57$, г/г-экв;

$\text{Щ}_0 = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} = 0,19 + 0,15 = 0,34$ г-экв/м³.

$\text{Щ}_0 = \text{CO}_3^{2-} = 1,3$ г-экв/м³.

Из двух значений для расчетов выбираем наименьшую щелочность 0,34 г-экв/м³.

Щелочной агент вводится перед введением коагулянта.

6. Для интенсификации процесса коагуляции используем флокулянт.

В качестве флокулянта принимаем полиакриламид.

В соответствии с таблицей 2 и исходя из показателей воды: $M=450$ г/м³, $\text{Ц}=60$ град, принимаем количество ПАА (безводного) 0,5 г/м³.

Флокулянт вводится после смесителя, с разрывом во времени после ввода коагулянта 2 - 3 минуты.

7. Для предварительного обеззараживания и улучшения процесса коагуляции и обесцвечивания, а также улучшения санитарного состояния сооружений принимаем количество хлора для первичного хлорирования в диапазоне 3 - 10 г/м³.

Принимаем $D_{Cl_2}^1 = 5 \text{ г/м}^3$. Реагент вводится за 1 - 3 минуты до ввода коагулянта.

8. Для обеззараживания (вторичное хлорирование) принимаем $D_{Cl_2}^2 = 2 \text{ г/м}^3$. Реагент вводится перед резервуаром с чистой водой (РЧВ).

9. Содержание взвешенных веществ в воде после добавления реагентов определяется по формуле

$$C_B = M + K_K \cdot D_K + 0,25 \cdot Ц + B_{и}$$

При этом количество нерастворимых веществ, вводимых с известью, рассчитывают по формуле:

$$B_{и} = \frac{D_{щ}}{K_{и}} - D_{щ} = \frac{13,7}{0,7} - 13,7 = 5,87 \text{ г/м}^3.$$

Тогда для максимальной мутности $M=450 \text{ г/м}^3$:

$$C_B = M + K_K \cdot D_K + 0,25 \cdot Ц + B_{и} = 450 + 0,5 \cdot 45 + 0,25 \cdot 60 + 5,87 = 493,37 \text{ г/м}^3,$$

где K_K – коэффициент, учитывающий количество нерастворимых веществ, вносимых коагулянтом и образующихся при его гидролизе, принимаем для очищенного сернокислого алюминия $K_K=0,5$.

Для минимальной мутности $M=30 \text{ г/м}^3$:

$$C_B = M + K_K \cdot D_K + 0,25 \cdot Ц + B_{и} = 30 + 0,5 \cdot 45 + 0,25 \cdot 60 + 5,87 = 73,37 \text{ г/м}^3.$$

1.4 Задания для самостоятельного решения

Задание. Определить необходимые количества реагентов для очистки воды с основными показателями: максимальная мутность M_{max} г/м³, минимальная мутность $M_{мин}$ г/м³, цветность $Ц$ град, содержание иона Ca^{2+} , Mg^{2+} ; CO_3^{2-} г-экв/м³. Исходные данные приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные по вариантам заданий для самостоятельной работы

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M _{max}	450	650	600	550	500	450	700	750	800	500
M _{min}	30	40	50	35	25	20	30	40	50	55
Ц	60	35	40	45	50	55	60	65	70	30
Ca ²⁺	1,05	1,0	0,9	0,3	0,1	1,3	0,6	0,6	0,7	0,8
Mg ²⁺	0,8	1,0	0,6	0,2	0,1	0,3	0,6	0,8	0,8	0,1
CO ₃ ²⁻	1,3	3,2	1,9	1,6	1,1	3,0	1,9	2,9	1,8	1,4
Коагулянт	FeCl ₃			Очищенный Al ₂ (SO ₄) ₃			Неочищенный Al ₂ (SO ₄) ₃			
Щелочной агент	CaO									

Флокулянт	ПАА
-----------	-----

1.5 Контрольные вопросы

1. Какие реагенты используются для очистки воды?
2. В чем отличие флокуляции от коагуляции?
3. Какие реагенты используются в качестве коагулянтов?
4. Что влияет на процесс коагуляции?
5. Что означают оптимальные и приемлемые дозы коагулянта?

2 Практическое занятие №2. Расчет оборудования для приготовления, хранения и дозирования реагентов для очистки воды

2.1 Цель занятия

Научить студентов на примере решения задач рассчитывать оборудование для приготовления, хранения и дозирования коагулянта.

2.2 Теоретическая часть

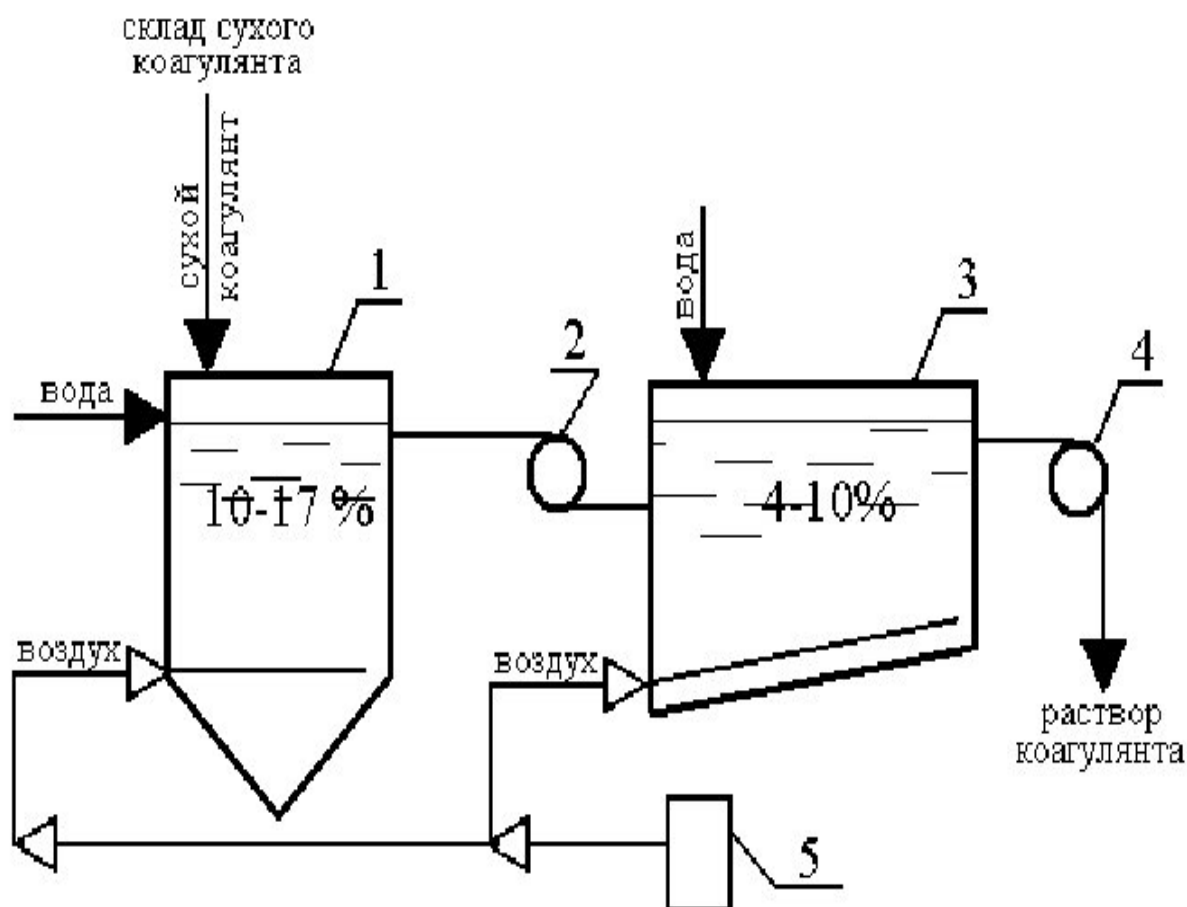
Для очистки воды применяют реагенты в виде сухих веществ (порошка) и в виде растворов определенной концентрации. Реагенты добавляют в определенном количестве, в порошкообразном виде – сухое дозирование, в виде растворов – мокрое дозирование. При мокром дозировании для приготовления, хранения и разбавления растворов реагентов используют баки различных конструкций, оборудованные перемешивающими устройствами (механическими мешалками или барботажем).

Для приготовления и хранения раствора коагулянта применяются схемы сухого, мокрого и смешанного хранения.

Описание схемы приготовления и хранения раствора коагулянта при сухом хранении коагулянта (рисунок 1).

Согласно данной схеме, коагулянт хранят на складе в сухом виде. По мере необходимости его загружают в растворные баки, где происходит растворение до концентрации раствора от 10% до 17%. Далее раствор подается в расходные баки, разбавляется до концентрации от 4% до 10 % и дозируется в обрабатываемую воду. Данная схема рекомендуется для станции очистки производительностью менее 50000 м³/сут.

Недостатком сухого хранения является большая трудоемкость работ, связанная с доставкой сухого реагента в расходные баки и контакт обслуживающего персонала с коагулянтом [3].



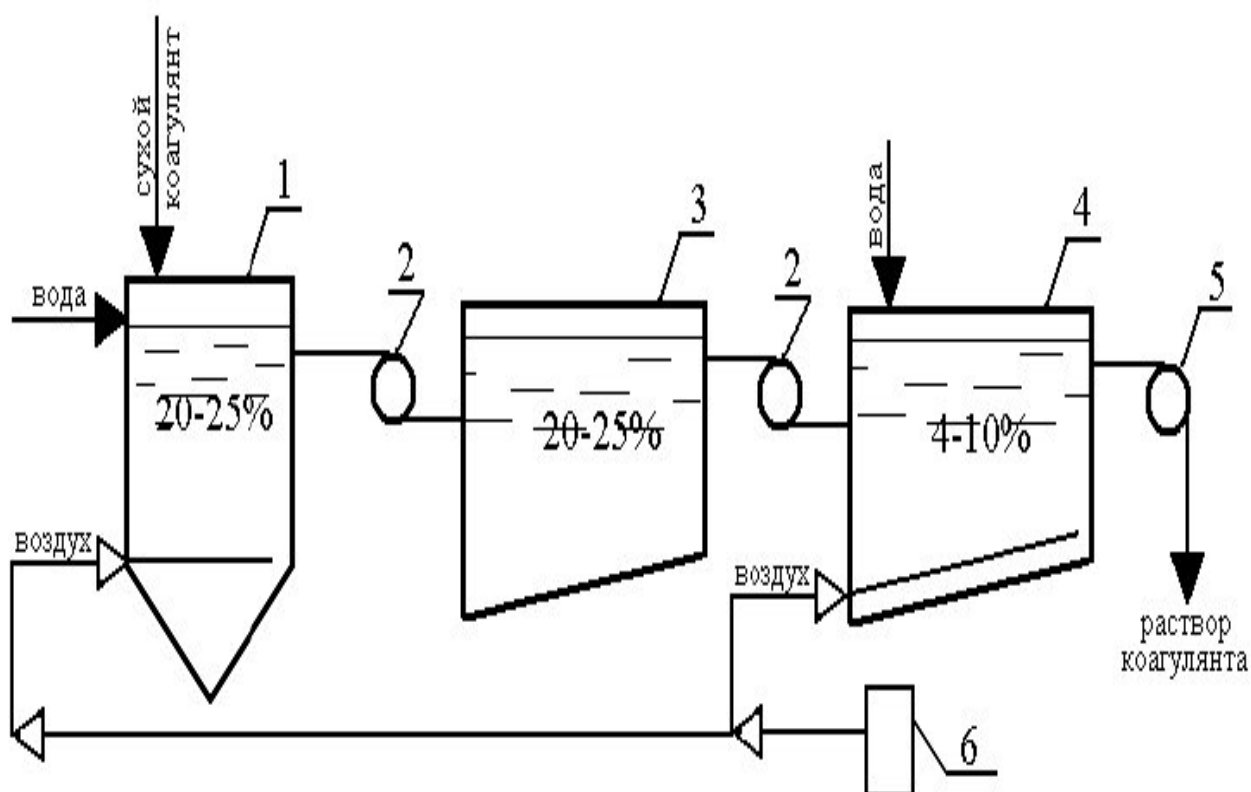
1 – растворный бак, 2 – насос для перекачки раствора реагента, 3 – расходный бак, 4 – насос-дозатор раствора коагулянта в обрабатываемую воду, 5 – воздуходувка.

Рисунок 1 – Схема сухого хранения коагулянта.

Описание схемы приготовления и хранения раствора коагулянта при мокром хранении коагулянта (рисунок 2).

По данной схеме коагулянт, доставляемый на станцию, загружают в растворные баки. При растворении коагулянта водой, получают его раствор с концентрацией от 20% до 25 %, отстоявшийся раствор сливают в баки – хранилища, из которых крепкий (концентрированный) раствор по мере необходимости перекачивают в расходные баки, где его разбавляют до концентрации от 4% до 10 % и дозируют в обрабатываемую воду. Данная схема рекомендуется для станции очистки производительностью более 50000 м³/сут.

Недостаток – большая стоимость. Поэтому применяется при большом расходе коагулянта.

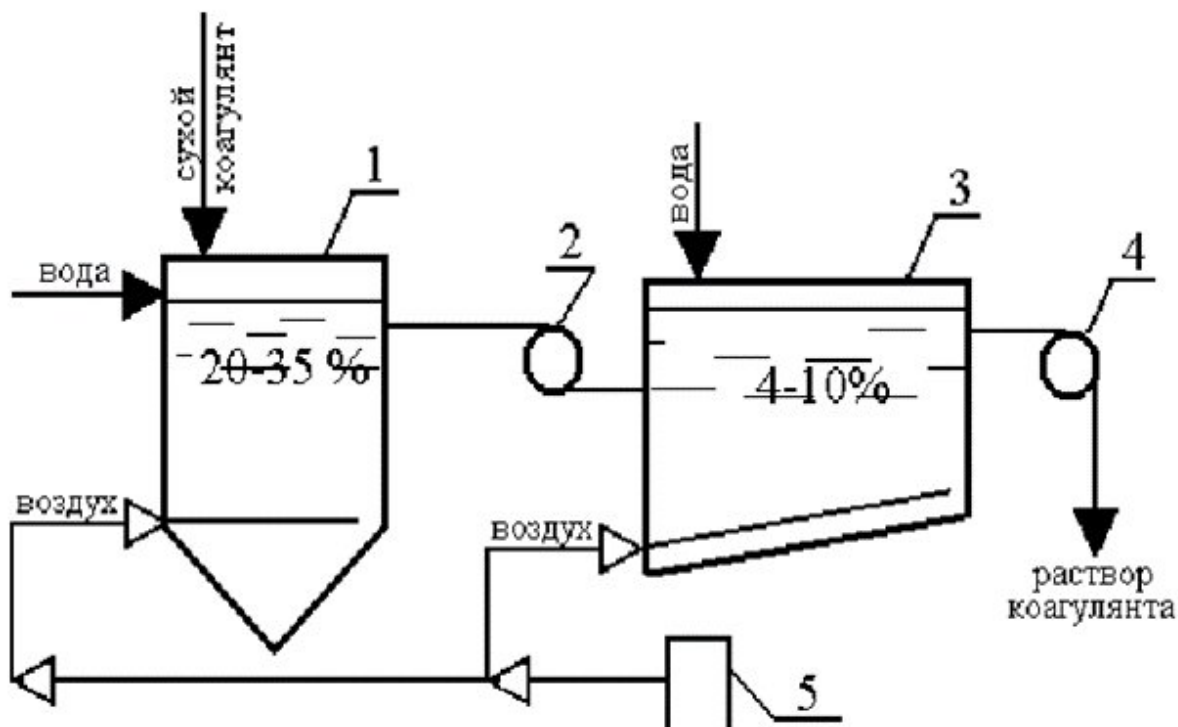


1 – растворный бак, 2 – насос для перекачки раствора реагента, 3 – бак - хранилище, 4 – расходный бак, 5 – насос-дозатор раствора коагулянта в обрабатываемую воду, 6 – воздуходувка.

Рисунок 2 – Схема мокрого хранения коагулянта

Описание схемы приготовления и хранения раствора коагулянта при смешанном (сухомокром) хранении коагулянта (рисунок 3).

По данной схеме необходимый запас коагулянта хранится в растворных баках в сухом виде (навалом). По мере необходимости в эти баки добавляют воду и готовят раствор коагулянта от 20% до 35 %. Далее концентрированный раствор перекачивают в расходные баки, где разбавляют до концентрации от 4% до 10 % и дозируют в обрабатываемую воду. Данная схема рекомендуется для станций любой производительности [4].



1 – растворный бак, 2 – насос для перекачки раствора реагента, 3 – расходный бак, 4 – насос - дозатор раствора коагулянта в обрабатываемую воду, 5 – воздуходувка.

Рисунок 3 – Схема смешанного хранения коагулянта.

При определении схемы хранения коагулянта необходимо учесть, что при использовании в качестве коагулянта сернокислого алюминия применяют любую схему, для хлорного железа или железного купороса применяется только сухой способ.

Рассмотрим порядок расчета оборудования для приготовления, хранения и дозирования коагулянта по схеме сухого хранения.

1. Определяют суточный расход коагулянта G_K (т/сут) по формуле

$$G_K = \frac{D_K \cdot Q_{\text{сут}}}{10000 \cdot P_i},$$

где $Q_{\text{сут}} = Q_{\text{полн}}$ – суточная производительность станции, м³/сут;

D_K – доза коагулянта;

P_i – процентное содержание безводного продукта в товарном коагулянте, 40,3 % - для очищенного $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, 33,5 % - для неочищенного $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, 98 % - для FeCl_3 , 53 % - для FeSO_4 (марки А), 47 % - для FeSO_4 (марки Б).

В зависимости от суточного расхода коагулянта принимают метод завоза коагулянта на станцию (железнодорожным вагоном или автотранспортом) и частоту завоза. Грузоподъемность железнодорожного вагона составляет 60 т, автосамосвала 3 - 5 т.

2. Склад сухого хранения коагулянта. Площадь склада хранения коагулянта (м²) определяют по формуле

$$F_K = \frac{G_K \cdot T \cdot a}{G_o \cdot h_K},$$

где $T = 15 - 30$ суток – продолжительность хранения коагулянта на складе;

$a = 1,15$ – коэффициент, учитывающий дополнительные площади проходов на складе;

$G_0 = 1,1 \text{ т/м}^3$ – объемный вес коагулянта при загрузке склада навалом;

$h_k = 2 \text{ м}$ – допустимая высота слоя коагулянта на складе для $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeSO_4 .

В зависимости от площади принимают размеры склада в плане.

3. Определяют объем растворных баков, м^3 :

$$W_{\text{раств}} = \frac{D_k \cdot T \cdot q}{10000 \cdot b_p \cdot \gamma},$$

где $q = Q_{\text{полн}}/24$ – часовой расход на очистку, $\text{м}^3/\text{ч}$;

T – время, в течении которого коагулянт будет израсходован, принимают $T=12 - 24$ ч для станции производительностью до $10000 \text{ м}^3/\text{сут}$, $T=10 - 12$ ч для станции производительностью более $10000 \text{ м}^3/\text{сут}$;

b_p – концентрация коагулянта в растворном баке, $b_p = 10 - 17 \%$ для неочищенного коагулянта, $b_p = 10 - 20 \%$ для очищенного;

$\gamma = 1 \text{ т/м}^3$ – объемный вес коагулянта.

Количество растворных баков должно быть не менее трех. Размеры баков выбирают конструктивно исходя из объема и условий компоновки. Рекомендуется высоту слоя коагулянта принимать в пределах $1 - 2 \text{ м}$. При применении кускового коагулянта в баках устанавливают колосниковые решетки с прорезями $10 - 15 \text{ мм}$. Если используется порошкообразный реагент, то на решетку укладывается сетка с отверстиями $1-2 \text{ мм}$. Стенки растворного бака ниже колосниковой решетки выполняют наклонными под углом $45 - 50^\circ$ к горизонту. Для опорожнения бака предусматривают трубопровод диаметром не менее 150 мм . Объем подколосниковой части не входит в объем $W_{\text{раств}}$.

4. Определяют объем расходных баков, м^3 :

$$W_{\text{расх}} = \frac{W_{\text{раств}} \cdot b_p}{b},$$

где $b = 4 - 12 \%$ – концентрация коагулянта в расходном баке.

Количество расходных баков должно быть не менее двух. Размеры бака назначают конструктивно. Дно бака имеет уклон не менее $0,010$. Для опорожнения бака предусматривают сбросной трубопровод диаметром не менее 100 мм . Строительная высота растворных и расходных баков принимается на $0,3 - 0,5 \text{ м}$ более высоты раствора коагулянта.

5. Для перекачки коагулянта подбирают кислотостойкие насосы (таблица 4).

Таблица 4 – Насосы для перекачки раствора коагулянта

Марка насоса	Производительность, $\text{м}^3/\text{ч}$	Напор, м	Мощность электродвигателя, кВт
--------------	--	----------	--------------------------------------

1,5Х-6Л-1	5,4 - 12	20 - 14,5	3 - 4
2Х-9Л-1	12 - 29	20 - 14	3 - 4
2Х-6Л-1	12 - 29	34,5 - 25	5,5 - 7,5
3Х-9Л-1-41	29 - 60	35 - 26	10 - 13
4Х-12Л-1	61 - 116	31 - 27	22 - 30

1. Для интенсификации процесса растворения коагулянта в растворных и разбавления в расходных баках предусматривают подачу сжатого воздуха.

Производительность воздуходувки определяется исходя из площади растворных и расходных баков и интенсивности подачи воздуха. Подбор марки воздуходувки осуществляется по таблице 5.

Распределение воздуха по площади бака осуществляется при помощи дырчатых винипластовых труб или кислотостойких шлангов, которые укладываются в растворных баках под колосниковой решёткой, в расходных – по дну. Расстояние между трубами (шлангами) принимают 100 - 500 мм. Определяют диаметр трубопровода, подводящего воздух в баки, диаметр и количество ответвлений, количество направленных в них отверстий, расположенных на ответвлениях. При этом руководствуются следующими данными: скорость движения воздуха в трубопроводе и ответвлениях от 10 до 15 м/с, скорость воздуха из отверстий от 20 до 30 м/с, диаметр отверстий от 3 до 4 мм.

2. Забор раствора коагулянта из баков осуществляют с верхнего уровня расходных баков с помощью поплавковых дозаторов или насосов – дозаторов. Насосы –дозаторы устанавливают в помещении расходных баков, поплавковые дозаторы – на площадке над смесителем. Характеристика насосов – дозаторов приведена в таблице 6.

Таблица 5 – Характеристика воздуходувок

Избыточное давление, м	Подача, м ³ /мин			
	Марка воздуходувки			
	ВК-1,5	ВК-3	ВК-6	ВК-12
3	1,58	3,48	6,3	10,5
6	1,4	3,1	5,7	10,4
8	1,18	2,54	5,45	10,3
10	0,91	2,09	4,9	10,2
12	0,64	1,54	4,2	9,9
14	0,38	0,98	3,6	9,6
16	0,13	0,55	2,75	9,2
18	0	0	1,9	8,9
22	-	-	0	7,8

Продолжение таблицы 5

Мощность электродвигателя, кВт	4	7,5	18,5	22,0
Габаритные размеры				
Длина	660	1225	1500	1840
Ширина	562	527	580	780
Высота	850	990	1370	1750

Таблица 6 – Характеристика насосов-дозаторов

Марка насоса-дозатора	Производительность, м ³ /ч	Напор, м	Мощность электродвигателя, кВт
НД 100/10	0,10	100	0,27
НД 630/10	0,63	100	1,10
НД 1000/10	1,00	100	2,20
НД 1600/10	1,60	100	3,00
НД 2500/10	2,50	100	3,00
IB6/10x	0,45 - 4,3	60	4,00

2.3 Пример решения задачи

Задача. Рассчитать реагентное хозяйство для приготовления, хранения и дозирования коагулянта – сернокислого алюминия по схеме сухого хранения, если $Q_{\text{сут}} = 35200 \text{ м}^3/\text{сут}$ суточная производительность станции, $\text{м}^3/\text{сут}$, $D_K = 35 \text{ г/м}^3$ – доза коагулянта.

Решение.

1. Определяем суточный расход коагулянта

$$G_K = \frac{D_K \cdot Q_{\text{сут}}}{10000 \cdot P_i} = \frac{35 \cdot 35200}{10000 \cdot 40,3} = 3,06 \text{ т/сут},$$

где P_i - процентное содержание безводного продукта в товарном коагулянте, 40,3 % - для очищенного $Al_2(SO_4)_3$.

Коагулянт завозится двумя самосвалами грузоподъемностью по 5 т один раз в три дня.

2. Определяем площадь склада хранения коагулянта (m^2), принимая, что продолжительность хранения его на складе составляет 15 суток:

$$F_K = \frac{G_K \cdot T \cdot a}{G_o \cdot h_K} = \frac{3,06 \cdot 15 \cdot 1,15}{1,1 \cdot 2} = 23,99 = 24 \text{ м}^2,$$

где $T = 15$ суток – продолжительность хранения коагулянта на складе;

$a = 1,15$ – коэффициент, учитывающий дополнительные площади проходов на складе;

$G_o = 1,1 \text{ т/м}^3$ – объемный вес коагулянта при загрузке склада навалом;

$h_K = 2 \text{ м}$ – допустимая высота слоя коагулянта на складе для $Al_2(SO_4)_3$.

Принимают размеры склада для хранения коагулянта 6х4 м.

3. Определяем объем растворных баков

$$W_{\text{раств}} = \frac{D_K \cdot T \cdot q}{10000 \cdot b_p \cdot \gamma} = \frac{35 \cdot 1466,67 \cdot 12}{10000 \cdot 18 \cdot 1} = 3,42 \text{ м}^3,$$

где $q = Q_{\text{полн}} / 24 = 35200 / 24 = 1466,67 \text{ м}^3/\text{ч}$ – часовой расход на очистку;

T – время, на которое заготавливают коагулянт, принимаем $T = 12 \text{ ч}$, так как производительность станции более $10000 \text{ м}^3/\text{сут}$;

b_p – концентрация коагулянта в растворном баке, принимаем $b_p = 18 \%$ для очищенного;

$\gamma = 1 \text{ т/м}^3$ – объемный вес коагулянта.

Принимаем количество растворных баков – два рабочих ($n=2$) и один резервный.

Тогда объем одного рабочего растворного бака составит:

$$W_{\text{раств1}} = \frac{W_{\text{раств}}}{n} = \frac{3,42}{2} = 1,71 \text{ м}^3.$$

Размеры основания бака и высота относятся как 2:3, тогда

$$a = b = \sqrt[3]{\frac{W_{\text{раств1}}}{1,5}} = \sqrt[3]{\frac{1,71}{1,5}} = 1,04 \text{ м}.$$

Принимаем размеры бака $a = b = 1 \text{ м}$.

Высота слоя раствора коагулянта в баке составит:

$$h_p = \frac{W_{\text{раств1}}}{a \cdot b} = \frac{1,71}{1 \cdot 1} = 1,71 \text{ м}.$$

Тогда высота бака с учетом строительного запаса:

$$h = h_p + (0,3 \div 0,5) = 1,71 + 0,39 = 2,1 \text{ м}.$$

Таким образом размеры одного растворного бака:

$$a \times b \times h = 1 \times 1 \times 2,1 \text{ м}.$$

Полный объем одного растворного бака составит:

$$W_{\text{раств1}} = a \cdot b \cdot h = 1 \cdot 1 \cdot 2,1 = 2,1 \text{ м}^3.$$

Объем рабочих растворных баков:

$$W_{\text{раств}} = W_{\text{раств1}} \cdot n = 2,1 \cdot 2 = 4,2 \text{ м}^3.$$

4. Определяем объем расходных баков, m^3 :

$$W_{\text{расх}} = \frac{W_{\text{раств}} \cdot b_p}{b} = \frac{4,2 \cdot 18}{10} = 7,56,$$

где $b = 10 \%$ – концентрация коагулянта в расходном баке;

$b_p = 18 \%$ – концентрация коагулянта в растворном баке.

Принимаем количество расходных баков – два рабочих ($n=2$) и один резервный.

Тогда объём одного рабочего расходного бака составит:

$$W_{\text{расх1}} = \frac{W_{\text{расх}}}{n} = \frac{7,56}{2} = 3,78 \text{ м}^3.$$

Размеры основания бака и высота относятся как 2:3, тогда

$$a = b = \sqrt[3]{\frac{W_{\text{расх1}}}{1,5}} = \sqrt[3]{\frac{3,78}{1,5}} = 1,36 \text{ м}.$$

Принимаем размеры бака $a = b = 1,4 \text{ м}$.

Высота слоя раствора коагулянта в баке составит:

$$h_p = \frac{W_{\text{расх1}}}{a \cdot b} = \frac{3,78}{1,4 \cdot 1,4} = 1,93 \text{ м}.$$

Тогда высота бака с учетом строительного запаса:

$$h = h_p + (0,3 \div 0,5) = 1,93 + 0,37 = 2,3 \text{ м}.$$

Таким образом размеры одного растворного бака:

$$a \times b \times h = 1,4 \times 1,4 \times 2,3 \text{ м}.$$

Полный объём одного растворного бака составит:

$$W_{\text{расх1}} = a \cdot b \cdot h = 1,4 \cdot 1,4 \cdot 2,3 = 4,51 \text{ м}^3,$$

а объём рабочих растворных баков:

$$W_{\text{раств}} = W_{\text{раств1}} \cdot n = 4,51 \cdot 2 = 9,02 \text{ м}^3.$$

5. Выбор кислотостойких насосов осуществляем по подаче и потребному напору, подбираем насос для перекачки раствора коагулянта по таблице 4.

Принимаем количество насосов два: один рабочий, один резервный.

6. Рассчитываем воздушно – дренажную систему в баках. Распределение воздуха в растворных и расходных баках осуществляется дырчатыми трубами. Расчет воздушно – дренажной системы распределения воздуха осуществляется отдельно для растворного и расходного баков.

Сначала определяем расчетный расход воздуха исходя из площади растворных и расходных баков и интенсивности подачи воздуха по формуле:

$$q = F \cdot w \cdot n,$$

где q – расход воздуха, л/с;

F – площадь бака, м^2 ;

w – интенсивность подачи сжатого воздуха для растворения (8-10 л/(с·м²)) коагулянта и перемешивания (3-5 л/(с·м²)) в расходных баках,

n – количество баков.

Расчетный расход воздуха для одного растворного бака:

$$q_{\text{раств1}} = a \cdot b \cdot w = 1 \cdot 1 \cdot 9 = 9,0 \text{ л/с},$$

где принимаем $w = 9 \text{ л/(с·м}^2\text{)}$.

Общий расход воздуха для растворных баков:

$$q_{\text{раств}} = q_{\text{раств1}} \cdot n = 9 \cdot 2 = 18,0 \text{ л/с.}$$

Расчетный расход воздуха для одного расходного бака:

$$q_{\text{расх1}} = a \cdot b \cdot w = 1,4 \cdot 1,4 \cdot 2,3 = 7,84 \text{ л/с,}$$

где принимаем $w=4 \text{ л/(с}\cdot\text{м}^2\text{)}$.

Общий расход воздуха для расходных баков:

$$q_{\text{расх}} = q_{\text{расх1}} \cdot n = 7,84 \cdot 2 = 15,68 \text{ л/с}$$

Общий расход воздуха составит:

$$q_{\text{общ}} = q_{\text{раств}} + q_{\text{расх}} = 18,0 + 15,68 = 33,68 \text{ л/с} = 0,03368 \text{ м}^3/\text{с} = 2,09 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

7. Рассчитываем воздушно – дренажную систему распределения воздуха для растворного бака.

Для сокращения количества видов и типоразмеров входящих в состав трубопроводов соединительных деталей и арматуры используют единый унифицированный ряд условных диаметров технологических трубопроводов. Наиболее часто применяют трубопроводы с условным проходом, мм: 10, 15, 20, 25, 32, 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600.

Определяем диаметр трубопровода, подводящего воздух, м:

$$d_{\text{подв}} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{\text{раств1}}}{\pi \cdot V_{\text{подв}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,009}{3,14 \cdot 12}} = 0,031 \text{ м,}$$

где $d_{\text{подв}}$ – диаметр подводящего трубопровода, м;

$q_{\text{раств1}}$ – расход воздуха на один бак, $\text{м}^3/\text{с}$;

$V_{\text{подв}}=12 \text{ м/с}$ – скорость воздуха в подводящем трубопроводе, должна быть в диапазоне 10 - 15 м/с.

Принимаем стандартный диаметр $d_{\text{подв}} = 32 \text{ мм}$.

Пересчитываем скорость воздуха для данного диаметра:

$$V_{\text{подв}}^{\text{факт}} = \frac{4 \cdot q_{\text{раств1}}}{\pi \cdot d_{\text{подв}}^2} = \frac{4 \cdot 0,009}{3,14 \cdot 0,032^2} = 11,2 \text{ м/с.}$$

Данная скорость соответствует рекомендованному диапазону $V_{\text{подв}}=10 - 15 \text{ м/с}$.

Количество ответвлений в воздушно – дренажной распределительной системе определяем по формуле:

$$n_{\text{отв}} = \frac{a-2x}{l} = \frac{1000-2 \cdot 100}{150} = 5,3 = 5 \text{ шт.}$$

где $a = 1000 \text{ мм}$ – длина бака;

$x=100 \text{ мм}$ – расстояние от стенки бака до стенки ответвления;

$l = 150 \text{ мм}$ – расстояние между осями ответвлений, принимаем в диапазоне 100 - 500 мм.

Тогда на каждое ответвление приходится расход воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$q_{\text{отв}} = \frac{q_{\text{раств1}}}{n_{\text{отв}}} = \frac{0,009}{5} = 0,0018 \text{ м}^3/\text{с.}$$

При скорости в ответвлении $V_{\text{отв}}=12 \text{ м/с}$ диаметр ответвления составит:

$$d_{\text{отв}} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{\text{отв}}}{\pi \cdot V_{\text{отв}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0018}{3,14 \cdot 12}} = 0,014 \text{ м.}$$

Принимаем близкий стандартный диаметр $d_{\text{отв}} = 15 \text{ мм}$.

Тогда фактическая скорость воздуха в ответвлении составит:

$$V_{\text{отв}}^{\text{факт}} = \frac{4 \cdot q_{\text{отв}}}{\pi \cdot d_{\text{отв}}^2} = \frac{4 \cdot 0,0018}{3,14 \cdot 0,015^2} = 10,2 \text{ м/с.}$$

Данная скорость соответствует рекомендованному диапазону $V_{\text{отв}} = 10 - 15 \text{ м/с}$.

Фактическое расстояние между ответвлениями:

$$l_{\text{отв}} = \frac{a - 2x - n_{\text{отв}} \cdot d_{\text{отв}}}{n_{\text{отв}} - 1} = \frac{1,000 - 2 \cdot 0,100 - 5 \cdot 0,015}{5 - 1} = 0,181 \text{ м} = 180 \text{ мм.}$$

Диаметр направленных вниз отверстий на ответвлениях для выхода воздуха должен составлять $d_o = 3 - 4 \text{ мм}$, принимаем $d_o = 4 \text{ мм}$. Скорость выхода воздуха из отверстий должна находиться в пределах $V_o = 20 - 30 \text{ м/с}$, принимая $V_o = 25 \text{ м/с}$, определяем расход воздуха через одно отверстие:

$$q_o = \frac{\pi \cdot d^2}{4} V_o = \frac{3,14 \cdot 0,004^2}{4} 25 = 0,000314 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Количество отверстий на одном ответвлении составит:

$$n_o = \frac{q_{\text{отв}}}{q_o} = \frac{0,0018}{0,000314} = 5,7 = 6 \text{ шт.}$$

Отверстия расположены на следующем расстоянии друг от друга:

$$l_o = \frac{a - 2x}{n_o} = \frac{1,000 - 2 \cdot 0,100}{6} = 0,133 \text{ м} = 140 \text{ мм.}$$

Растворный бак с рассчитанными размерами приведён на рисунке 4.

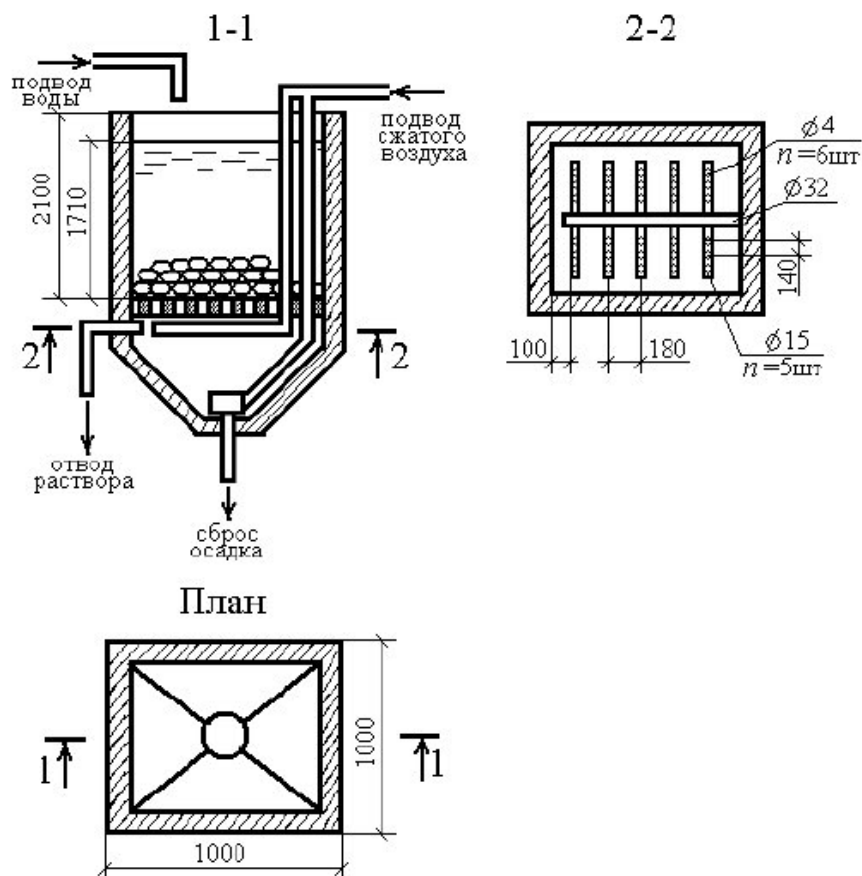


Рисунок 4 – Растворный бак

6. Расчет воздушно – дренажной системы распределения воздуха для расходного бака осуществляем аналогично расчёту дренажной системы для растворного бака.

Определяем диаметр трубопровода, подводящего воздух, м при $V_{\text{подв}}=13$ м/с:

$$d_{\text{подв}} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{\text{расх}}}{\pi \cdot V_{\text{подв}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00784}{3,14 \cdot 13}} = 0,028 \text{ м},$$

Принимаем стандартный диаметр $d_{\text{подв}} = 32 \text{ мм}$.

Пересчитываем скорость воздуха для данного диаметра:

$$V_{\text{подв}}^{\text{факт}} = \frac{4 \cdot q_{\text{расх}}}{\pi \cdot d_{\text{подв}}^2} = \frac{4 \cdot 0,00784}{3,14 \cdot 0,032^2} = 9,7 = 10 \text{ м/с}.$$

Данная скорость соответствует рекомендованному диапазону $V_{\text{подв}}=10 - 15 \text{ м/с}$.

Количество ответвлений в воздушно – дренажной распределительной системе при расстоянии между осями ответвлений $l = 150 \text{ мм}$:

$$n_{\text{отв}} = \frac{a-2x}{l} = \frac{1400-2 \cdot 100}{150} = 8 \text{ шт.}$$

Тогда на каждое ответвление приходится расход воздуха, м³/с:

$$q_{\text{отв}} = \frac{q_{\text{расх}}}{n_{\text{отв}}} = \frac{0,00784}{8} = 0,00098 \text{ м}^3/\text{с}.$$

При скорости в ответвлении $V_{\text{отв}}=13 \text{ м/с}$ диаметр ответвления составит:

$$d_{\text{отв}} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{\text{отв}}}{\pi \cdot V_{\text{отв}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00098}{3,14 \cdot 13}} = 0,0098 \text{ м}.$$

Принимаем близкий стандартный диаметр $d_{\text{отв}}=10 \text{ мм}$.

Тогда фактическая скорость воздуха в ответвлении составит:

$$V_{\text{отв}}^{\text{факт}} = \frac{4 \cdot q_{\text{отв}}}{\pi \cdot d_{\text{отв}}^2} = \frac{4 \cdot 0,00098}{3,14 \cdot 0,010^2} = 12,5 \text{ м/с}.$$

Данная скорость соответствует рекомендованному диапазону $V_{\text{отв}}=10 - 15 \text{ м/с}$.

Фактическое расстояние между ответвлениями:

$$l_{\text{отв}} = \frac{a-2x-n_{\text{отв}} \cdot d_{\text{отв}}}{n_{\text{отв}}-1} = \frac{1,4-2 \cdot 0,1-8 \cdot 0,01}{8-1} = 0,160 \text{ м} = 160 \text{ мм}.$$

Принимаем диаметр отверстий на ответвлениях для выхода воздуха $d_o = 4 \text{ мм}$. Скорость выхода воздуха из отверстий - $V_o=25 \text{ м/с}$, определим расход воздуха через одно отверстие:

$$q_o = \frac{\pi \cdot d^2}{4} V_o = \frac{3,14 \cdot 0,004^2}{4} 25 = 0,000314 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Количество отверстий на одном ответвлении составит:

$$n_o = \frac{q_{\text{отв}}}{q_o} = \frac{0,00098}{0,000314} = 3,1 = 3 \text{ шт.}$$

Отверстия расположены на следующем расстоянии друг от друга:

$$l_o = \frac{a-2x}{n_o} = \frac{1,4-2 \cdot 0,1}{3} = 0,400 \text{ м} = 400 \text{ мм}.$$

Расходный бак с рассчитанными размерами приведен на рисунке 5.

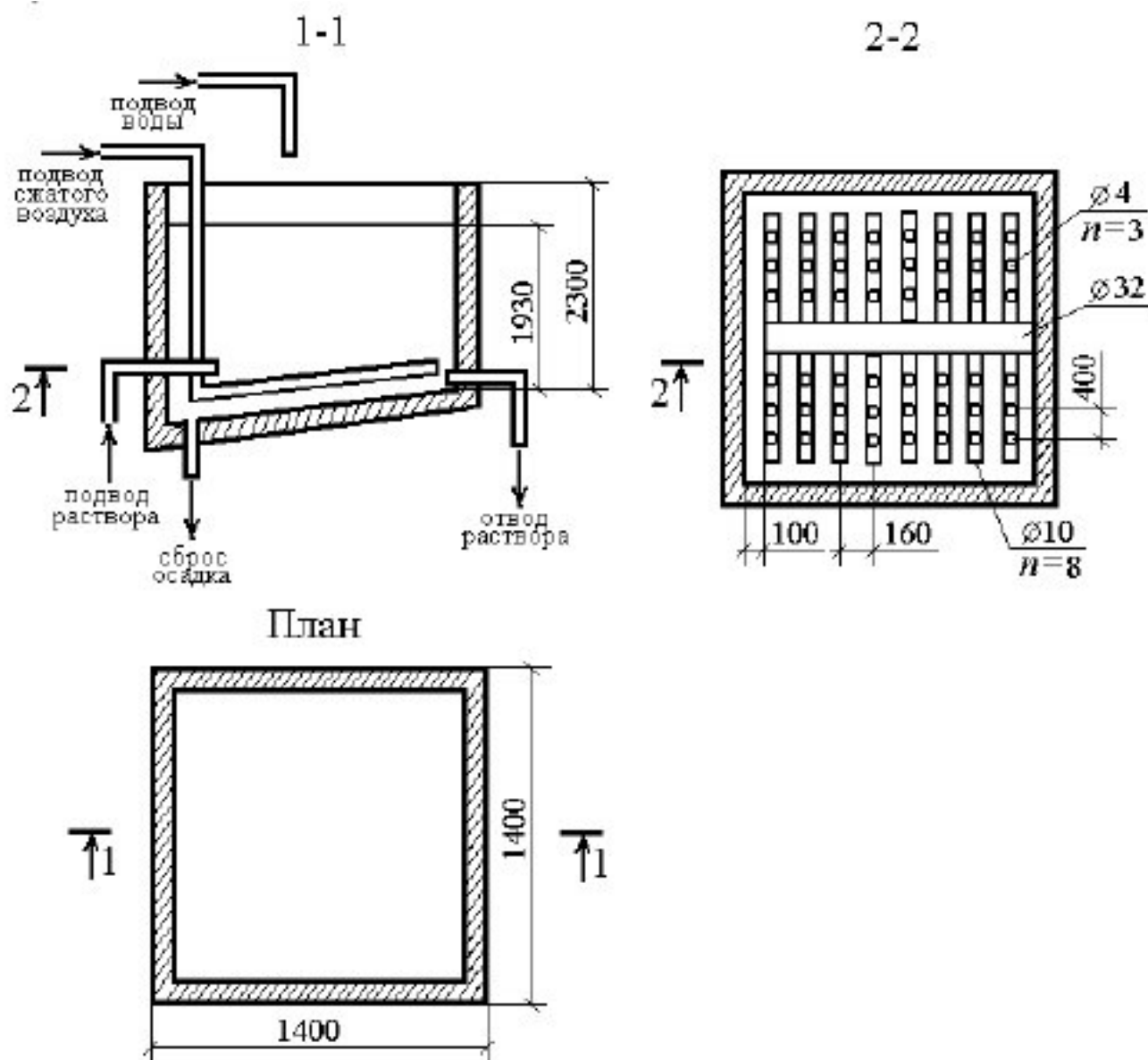


Рисунок 5 – Растворный бак

1. Определяем часовой расход коагулянта ($\text{м}^3/\text{ч}$) по формуле:

$$Q_k = \frac{100 \cdot q \cdot D_k}{b \cdot \rho_{\text{расх}}} = \frac{100 \cdot 1466,67 \cdot 0,035}{10 \cdot 1000} = 0,51 \text{ м}^3/\text{ч}$$

где $D_k = 35 \frac{\text{г}}{\text{м}^3} = 0,035 \text{ кг/м}^3$ – количество коагулянта по безводному продукту;

$\rho_{\text{расх}}$ – плотность раствора коагулянта в расходном баке, 1000 кг/м^3 .

По таблице 6 подбираем насос-дозатор марки 1В6/10х, имеющего следующие характеристики: подача $Q_k = 0,45 - 4,3 \text{ м}^3/\text{ч}$, напор $H=60 \text{ м}$, мощность электродвигателя $N=4 \text{ кВт}$.

2.4 Задания для самостоятельного решения

Задание. Рассчитать реагентное хозяйство для приготовления, хранения и дозирования коагулянта – сернокислого алюминия по схеме сухого хранения, если $Q_{\text{сут}}$ м³/сут суточная производительность станции, м³/сут, D_k г/м³ – количество коагулянта (принимается из практического задания 1).

Таблица 7 – Исходные данные по вариантам заданий для самостоятельной работы

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q_{\text{сут}} 10^3$	25,0	35,0	22,0	36,0	24,0	30,0	28,0	32,0	26,0	33,0
Коагулянт	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$									

2.5 Контрольные вопросы

1. Как осуществить приготовление раствора коагулянта при сухом хранении коагулянта?
2. В чем недостаток сухого хранения коагулянта?
3. Как осуществить приготовление раствора коагулянта при мокром хранении коагулянта?
4. Как осуществить приготовление раствора коагулянта при смешанном хранении коагулянта?
5. Как интенсифицировать процесс растворения коагулянта?

3 Практическое занятие №3. Расчет смесителей очистки воды

3.1 Цель занятия

Научить студентов на примере решения задачи рассчитывать смеситель для очистки воды.

3.2 Теоретическая часть

Смесители предназначены для быстрого распределения реагентов по объёму обрабатываемой воды. Смешение осуществляется за 1-2 минуты при

сухом дозировании и не более 3 минут – при мокром. Различают 2 типа смесителей: гидравлические и механические.

К гидравлическим смесителям относятся: дырчатые, перегородчатые, коридорные, вихревые и смесительные устройства закрытого типа (шайбы, диафрагмы, вставки Вентури).

Перегородчатые смесители рекомендуется применять при производительности от 500 до 600 м³/ч, дырчатые – до 1000 м³/ч, вихревые – до 1500 м³/ч. Закрытые смесительные устройства применяют при смешении реагентов с водой в трубопроводах. Гидравлические смесители просты по конструкции и удобны в эксплуатации.

Число смесительных устройств (секций) одного назначения следует принимать не менее двух с возможностью отключения любого из них при технологической необходимости.

Резервных смесителей не предусматривают, но при этом устраивают обводной трубопровод в обход смесителей с размещением в нем резервных устройств для ввода реагентов.

Смесители должны быть оборудованы переливными трубопроводами и трубопроводами для опорожнения и выпуска осадка в канализацию.

Механические смесители обеспечивают достаточно быстрое и полное смешение реагентов с водой независимо от колебаний её расхода и позволяют снизить расход коагулянта. Однако механические смесители приводят к повышенным затратам электроэнергии.

Выбор типа смесителя зависит от производительности станции, компоновки сооружений, вида используемых реагентов [2].

Для смешения с водой реагентов в виде суспензий рекомендуется применять вихревые смесители. Они представляют собой круглый или квадратный (в поперечном сечении) резервуар с конической или пирамидальной нижней частью.

Турбулизация потока в вихревом смесителе создается за счет изменения скорости восходящего потока воды при переходе от узкой (нижней) части к широкой (верхней) части. Угол конусности нижней части составляет 30 - 45 °, скорость выхода воды из подводящего трубопровода в нижнюю часть смесителя – от 1,2 до 1,5 м/с, скорость восходящего потока на уровне водосборных лотков – от 30 до 40 мм/с, отводящие трубопроводы и лотки рассчитывают при скорости движения в них воды 0,6 м/с. Высота вертикальных стенок смесителя должна составлять от 1,0 до 1,5 м. Время пребывания воды в вихревом смесителе составляет 1,5 - 2 минуты, при добавлении умягчающего воду реагента – до 3 минут.

Рассмотрим порядок расчета вихревого смесителя.

Определяют необходимое количество смесителей

$$n_{\text{см}} = \frac{q}{q_{\text{см}}},$$

где q – часовая производительность станции, м³/ч;

$q_{\text{см}}$ – допустимая нагрузка на один смеситель, принимают в диапазоне 1200-1500 м³/ч.

Принимают количество смесителей не менее двух. Уточняют нагрузку на один смеситель.

5. Площадь горизонтального сечения верхней части смесителя составит:

$$f_{\text{в}} = \frac{q_{\text{см}}}{V_{\text{в}}},$$

где $V_{\text{в}}$ – скорость восходящего потока воды, принимают в диапазоне 30 - 40 мм/с=108 - 144 м/ч.

Рекомендуемая площадь смесителя не более 20 - 25 м².

Задаваясь формой смесителя, определяют его размеры.

Для смесителя круглого в сечении

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot f_{\text{в}}}{\pi}}$$

Для смесителя квадратного в сечении

$$b = \sqrt{f_{\text{в}}}$$

6. Находят диаметр подводящего трубопровода:

$$d_{\text{подв}} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{\text{см}}}{\pi \cdot V_{\text{подв}}}},$$

где $V_{\text{подв}}$ – скорость воды в подводящем трубопроводе, принимают в диапазоне 1,2 - 1,5 м/с.

Полученное значение округляют до стандартного и определяют фактическую скорость в трубопроводе.

7. Определяют площадь нижней части смесителя в месте присоединения трубопровода $f_{\text{н}}$, исходя из внешнего диаметра подводящего трубопровода $d_{\text{подв}}^{\text{в}}$

8. Рассчитывают высоту нижней части смесителя.

Для смесителя круглого в сечении

$$h_{\text{н}} = \frac{D - d_{\text{подв}}^{\text{в}}}{2 \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)},$$

где α – угол между наклонными стенками смесителя, принимают в диапазоне 30 - 45°.

Для смесителя квадратного в сечении

$$h_{\text{н}} = \frac{b - d_{\text{подв}}^{\text{в}}}{2 \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)}.$$

9. Определяют объём нижней части смесителя:

Для смесителя круглого в сечении

$$W_{\text{н}} = \frac{1}{3} \pi \cdot h_{\text{н}} \left[\left(\frac{D}{2} \right)^2 + \left(\frac{d_{\text{подв}}^{\text{в}}}{2} \right)^2 + \frac{D}{2} \cdot \frac{d_{\text{подв}}^{\text{в}}}{2} \right],$$

Для смесителя квадратного в сечении

$$W_{\text{н}} = \frac{1}{3} h_{\text{н}} \left[f_{\text{в}} + f_{\text{н}} + \sqrt{f_{\text{в}} \cdot f_{\text{н}}} \right]$$

10. Полный объём смесителя составит:

$$W = \frac{t \cdot q_{\text{см}}}{60},$$

где t – продолжительность пребывания воды в смеси, принимают 1 - 2 мин.

11. Находят объём верхней части смесителя

$$W_{\text{в}} = W - W_{\text{н}}$$

12. Определяют высоту верхней части смесителя:

$$h_{\text{в}} = \frac{W_{\text{в}}}{f_{\text{в}}}.$$

Высота верхней части смесителя должна составлять 1,0 - 1,5 м. Если $h_{\text{в}}$ получается больше, следует уменьшить величину $V_{\text{в}}$, $\propto$ или увеличить число смесителей.

13. Находят полную высоту смесителя, исходя из высот верхней и нижней части.

$$h_{\text{см}} = h_{\text{н}} + h_{\text{в}}.$$

Конструктивно смеситель следует выполнять на 0,3-0,5 м выше уровня воды в нём.

14. Отбор воды из верхней части смесителя осуществляется с помощью перфорированных водосборных труб и лотков. Проводят расчет водосборных труб или лотков.

Количество сборных труб или лотков определяется исходя из максимального расстояния между ними не более 2 м и размера стороны верхней части смесителя (его диаметра (D) или стороны (b)).

$$n_{\text{л}} \geq \frac{D(b)}{2}.$$

Расчетный расход воды на один водосборный лоток составит:

$$q_{\text{л}} = \frac{q_{\text{см}}}{n_{\text{л}}}.$$

Площадь живого сечения сборного лотка:

$$f_{\text{л}} = \frac{q_{\text{см}}}{V_{\text{л}}},$$

где $V_{\text{л}}$ – скорость движения воды в лотке, 0,6 м/с.

Глубина воды в конце лотка для обеспечения отвода воды затопленными отверстиями принимается из условия:

$$h_{\text{л}} = d_0 + (0,2 \div 0,25),$$

где d_0 – диаметр затопленных отверстий, расположенных в водосборных трубах или лотках, принимается 50 - 100 мм.

Ширина лотка составит:

$$b_{\text{л}} = \frac{f_{\text{л}}}{h_{\text{л}}}.$$

По конструктивным соображениям ширина водосборного лотка должна составлять 0,2 - 0,6 м. Можно рассчитать высоту водосборного лотка, задаваясь его шириной в указанных пределах.

Лоток подходит к сборному карману с двух сторон, уклон дна лотка составляет $i=0,02$.

Площадь всех затопленных отверстий в стенках сборного лотка:

$$\Sigma f_o = \frac{q_{\text{л}}}{V_o \cdot 3600},$$

где V_o - скорость движения воды через отверстия лотка 1 м/с.

Общее количество отверстий в лотке:

$$n_o = \frac{\Sigma f_o}{f_o},$$

где f_o - площадь одного отверстия, $f_o = \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} \text{ м}^2$.

Отверстия располагают по боковой поверхности лотка на глубине $h_o = 100-150$ мм от верхней кромки лотка до оси отверстия.

Определяют внутренний периметр лотка:

$$p_{\text{л}} = 4 [D(b) - 2(b_{\text{л}} + 0,06)] .$$

Шаг отверстий:

$$l_o = \frac{p_{\text{л}}}{f_o}.$$

Расстояние между отверстиями:

$$l_{\text{м/до}} = l_o - d_o.$$

Расстояние от верхнего уровня воды в смесителе до дна сборного лотка:

$$h'_{\text{л}} = 2,3 \sqrt[3]{q_{\text{л}}^2}.$$

15. Из сборного лотка вода поступает в боковой карман. Размеры кармана принимают конструктивно, из условий размещения в его нижней части отводящего трубопровода. Диаметр данного трубопровода ($d_{\text{отв}}$) подбирают исходя из расхода в нем $q_{\text{см}}$ и скорости движения воды 0,8-1,2 м/с.

Тогда ширина сборного бокового кармана составит:

$$b_{\text{к}} = d_{\text{отв}} + 0,1.$$

Дно кармана располагают на 0,1 м ниже дна водосборных лотков. В кармане размещают переливной трубопровод, оканчивающийся в верхней части раструбом, диаметр которого должен быть не меньше диаметра отводящего трубопровода. Превышение верха раструба над расчетным уровнем воды в смесителе должно составлять не менее 0,1 м.

16. Время пребывания воды в отводящем трубопроводе должно составлять не более 1,5 минут. Исходя из скорости в отводящем трубопроводе и времени пребывания, определяют его длину, а затем с учетом уклона – потери в отводящем трубопроводе.

3.3 Пример решения задачи

Задача. Рассчитать вертикальный вихревой смеситель для станции очистки с полной производительностью $Q_{\text{полн}} = 90000 \text{ м}^3/\text{сут.}$

Решение.

1. Определяем необходимое количество смесителей:

$$n_{\text{см}} = \frac{q}{q_{\text{см}}} = \frac{3750}{1300} = 2,9 = 3 \text{ шт.},$$

где $q = \frac{Q_{\text{полн}}}{24} = \frac{90000}{24} = 3750 \text{ м}^3/\text{ч}$ - часовая производительность станции;

$q_{\text{см}}$ – допустимая нагрузка на один смеситель, принимают 1300 м³/ч.

Принимаем три вихревых смесителя и уточняем нагрузку на один смеситель.

$$q_{\text{см}} = \frac{q}{n_{\text{см}}} = \frac{3750}{3} = 1250 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,347 \text{ м}^3/\text{с}.$$

2. Рассчитываем площадь горизонтального сечения верхней части смесителя

$$f_{\text{в}} = \frac{q_{\text{см}}}{V_{\text{в}}} = \frac{1250}{110} = 11,4 \text{ м}^2,$$

где $V_{\text{в}}$ – скорость восходящего потока воды, принимают 110 м/ч.

Рекомендуемая площадь смесителя не превышает 25 м².

Принимаем смеситель квадратный в сечении. Тогда размер стороны смесителя рассчитывают по формуле:

$$b = \sqrt{f_{\text{в}}} = \sqrt{11,4} = 3,38 = 3,4 \text{ м}.$$

Площадь смесителя составит

$$f_{\text{в}} = b^2 = 3,4^2 = 11,56 \text{ м}^2.$$

3. Находим диаметр подводящего трубопровода

$$d_{\text{подв}} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{\text{см}}}{\pi \cdot V_{\text{подв}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,347}{3,14 \cdot 1,3}} = 0,583 \text{ м},$$

где $V_{\text{подв}}$ – скорость воды в подводящем трубопроводе, принимаем 1,3 м/с.

Принимаем стандартный диаметр 600 мм. Уточняем фактическую скорость движения воды в подводящем трубопроводе:

$$V_{\text{подв}}^{\text{факт}} = \frac{4 \cdot q_{\text{см}}}{\pi \cdot d_{\text{подв}}^2} = \frac{4 \cdot 0,347}{3,14 \cdot 0,6^2} = 1,23 \text{ м/с}.$$

Что соответствует рекомендованному пределу $V_{\text{п}} = 1,2 - 1,5 \text{ м/с}$.

4. Определяем площадь нижней части смесителя в месте присоединения трубопровода, исходя из внешнего диаметра подводящего трубопровода

$$d_{\text{подв}}^{\text{в}} = d_{\text{подв}} + 2\delta = 0,6 + 2 \cdot 0,01 = 0,62 \text{ м};$$

$$f_{\text{н}} = (d_{\text{подв}}^{\text{в}})^2 = 0,62^2 = 0,384 \text{ м}^2.$$

5. Рассчитываем высоту нижней части смесителя

$$h_{\text{н}} = \frac{b - d_{\text{подв}}^{\text{в}}}{2 \operatorname{tg}(\frac{\alpha}{2})} = \frac{3,4 - 0,62}{2 \operatorname{tg}(\frac{40}{2})} = 3,82 \text{ м},$$

где α – угол между наклонными стенками смесителя, принимаем 40°.

6. Определяем объём нижней части смесителя:

$$W_{\text{н}} = \frac{1}{3} h_{\text{н}} [f_{\text{в}} + f_{\text{н}} + \sqrt{f_{\text{в}} \cdot f_{\text{н}}}] = \frac{1}{3} 3,8 [11,56 + 0,384 + \sqrt{11,56 \cdot 0,384}] = 17,80 \text{ м}^3.$$

7. Находим полный объём смесителя

$$W = \frac{t \cdot q_{\text{см}}}{60} = \frac{1,5 \cdot 1250}{60} = 31,25 \text{ м}^3,$$

где $t = 1,5 \text{ мин}$ – продолжительность пребывания воды в смеси.

8. Определяем объём верхней части смесителя

$$W_{\text{в}} = W - W_{\text{н}} = 31,25 - 17,80 = 13,45 \text{ м}^3.$$

9. Рассчитываем высоту верхней части смесителя

$$h_B = \frac{W_B}{f_B} = \frac{13,45}{11,56} = 1,16 \text{ м.}$$

Данная высота соответствует рекомендуемому пределу 1,0 - 1,5 м.

10. Находим полную высоту смесителя

$$h_{CM} = h_H + h_B = 3,82 + 1,16 = 4,98 \text{ м.}$$

Конструктивно смеситель следует выполнять на 0,3 - 0,5 м выше уровня воды в нём.

$$h_{CM}^K = h_{CM} + (0,3 \div 0,5) = 4,98 + 0,42 = 5,4 \text{ м.}$$

11. Произведем расчет перфорированных водосборных труб - лотков, с помощью которых осуществляется отбор воды из верхней части смесителя.

Количество сборных лотков определяем по формуле:

$$n_L = \frac{b}{2} = \frac{3,4}{2} = 1,7 = 2.$$

Принимаем количество лотков – два.

Расчетный расход воды на один водосборный лоток определяем по формуле:

$$q_L = \frac{q_{CM}}{n_L} = \frac{1250}{2} = 625 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,174 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Площадь живого сечения сборного лотка находим по формуле:

$$f_L = \frac{q_{CM}}{V_L} = \frac{0,174}{0,6} = 0,29 \text{ м}^2,$$

V_L – скорость движения воды в лотке, 0,6 м/с.

Глубина воды в конце лотка для обеспечения отвода воды затопленными отверстиями принимаем из условия:

$$h_L = d_o + (0,2 \div 0,25) = 0,07 + (0,2 \div 0,25) = 0,07 + 0,25 = 0,32,$$

где d_o – диаметр затопленных отверстий, расположенных в водосборных трубах или лотках, принимается 70 мм.

Ширину лотка определяем по формуле:

$$b_L = \frac{f_L}{h_L} = \frac{0,29}{0,32} = 0,91 \text{ м.}$$

По конструктивным соображениям ширина водосборного лотка должна составлять 0,2 - 0,6 м. Так как ширина лотка получается больше, принимаем $b_L = 0,5$ м, и определяем высоту водосборного лотка

$$h_L = \frac{f_L}{b_L} = \frac{0,29}{0,5} = 0,58 \text{ м.}$$

Лоток подходит к сборному карману с двух сторон, уклон дна лотка составляет $i = 0,02$.

Площадь всех затопленных отверстий в стенках сборного лотка составит

$$\sum f_o = \frac{q_L}{V_o \cdot 3600} = \frac{625}{1 \cdot 3600} = 0,174 \text{ м}^2$$

где V_o - скорость движения воды через отверстия лотка 1 м/с.

Общее количество отверстий в лотке находим по формуле:

$$n_o = \frac{\sum f_o}{f_o} = \frac{0,174}{0,00385} = 45,2 = 46 \text{ шт.},$$

где f_o - площадь одного отверстия, $f_o = \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,07^2}{4} = 0,00385 \text{ м}^2$.

Отверстия располагаем по боковой поверхности на глубине $h_0=120$ мм от верхней кромки лотка до оси отверстия.

Определяем внутренний периметр лотка:

$$p_{\text{л}} = 4 [D(b) - 2(b_{\text{л}} + 0,06)] = 4 [3,4 - 2(0,5 + 0,06)] = 9,12 \text{ м.}$$

Шаг оси отверстий составит:

$$l_o = \frac{p_{\text{л}}}{f_o} = \frac{9,12}{46} = 0,198 \text{ м} = 200 \text{ мм.}$$

Расстояние между отверстиями находим по формуле:

$$l_{\text{м/до}} = l_o - d_o = 200 - 70 = 130 \text{ мм.}$$

Расстояние от верхнего уровня воды в смесителе до дна сборного лотка составит:

$$h'_{\text{л}} = 2,3 \sqrt[3]{q_{\text{л}}^2} = 2,3 \sqrt[3]{0,174^2} = 0,717 \text{ м.}$$

12. Из сборного лотка вода поступает в боковой карман. Размеры кармана принимаем из условия размещения в его нижней части отводящего трубопровода. Диаметр отводящего трубопровода подбираем по таблице 7 методом интерполяции, исходя из расхода в нем равном $q_{\text{см}}=0,347 \text{ м}^3/\text{с}=347 \text{ л/с}$ и скорости движения воды $0,8 - 1,2 \text{ м/с}$. Зависимость диаметра трубопровода от расхода и скорости движения приведена в таблице 8.

Согласно вышеуказанным данным принимаем $d_{\text{отв}}=700 \text{ мм}$, $V_{\text{отв}}=0,9 \text{ м/с}$, $1000i=1,42$.

Тогда ширина сборного бокового кармана составит:

$$b_{\text{к}}=0,7+0,1=0,8 \text{ м.}$$

Дно кармана располагают на $0,1 \text{ м}$ ниже дна водосборных лотков. В кармане размещают переливной трубопровод, оканчивающийся в верхней части раструбом, диаметр которого равен диаметру отводящего трубопровода ($d_{\text{отв}}=700 \text{ мм}$). Превышение верха раструба над расчетным уровнем воды в смесителе должно составлять не менее $0,1 \text{ м}$ [5].

Таблица 8 – Зависимость диаметра трубопровода от расхода и скорости движения

Расход Q, л/с	d, мм					
	v, м/с	1000i	v, м/с	1000i	v, м/с	1000i
	400		450		500	
150	1.13	4.34	0.88	2.34	0.72	1.41
154	1.16	4.56	0.9	2.45	0.74	1.48
161	1.21	4.94	0.94	2.67	0.77	1.60
165	1.24	5.19	0.97	2.79	0.79	1.68
171	1.28	5.57	1.00	2.98	0.82	1.79
175	1.31	5.84	1.03	3.11	0.84	1.87
181	1.36	6.25	1.06	3.31	0.87	1.99
185	1.39	6.53	1.08	3.45	0.885	2.07
	450		500		600	

Продолжение таблицы 8

191	1.12	3.66	0.91	2.20	0.64	0.91
195	1.14	3.81	0.93	2.28	0.65	0.94
202	1.18	4.07	0.97	2.44	0.678	1.01
210	1.23	4.38	1.00	2.62	0.70	1.08
220	1.29	4.80	1.05	2.86	0.738	1.18
230	1.35	5.25	1.10	3.10	0.77	1.28
240	1.41	5.572	1.15	3.36	0.805	1.38
	500		600		700	
250	1.20	3.63	0.839	1.49	0.639	0.76
260	1.24	3.91	0.87	1.60	0.66	0.81
272	1.30	4.28	0.91	1.74	0.695	0.88
280	1.34	4.53	0.94	1.84	0.72	0.93
292	1.40	4.93	0.98	1.99	0.75	1.01
300	1.43	5.20	1.01	2.09	0.77	1.06
312	1.49	5.63	1.05	2.25	0.80	1.14
	600		700		800	
320	1.07	2.36	0.82	1.19	0.63	0.62
332	1.11	2.52	0.85	1.27	0.65	0.67
340	1.14	2.64	0.87	1.33	0.67	0.70
352	1.18	2.82	0.90	1.42	0.69	0.74
360	1.21	2.92	0.92	1.48	0.71	0.77
372	1.25	3.13	0.95	1.57	0.73	0.82
380	1.28	3.27	0.97	1.64	0.75	0.85
392	1.32	3.48	1.00	1.73	0.77	0.90
400	1.34	3.62	1.02	1.80	0.79	0.94
410	1.38	3.80	1.05	1.88	0.81	0.98
420	1.41	3.99	1.07	1.97	0.83	1.03
430	1.44	4.18	1.10	2.06	0.85	1.07
440	1.48	4.38	1.12	2.15	0.87	1.12
	700		800		900	
450	1.15	2.24	0.89	1.17	0.70	0.65
460	1.18	2.34	0.91	1.22	0.717	0.68
470	1.20	2.43	0.93	1.27	0.73	0.70
480	1.23	2.53	0.95	1.32	0.748	0.73
490	1.25	2.64	0.95	1.37	0.76	0.76
500	1.28	2.74	0.98	1.42	0.78	0.79
510	1.30	2.86	1.00	1.47	0.795	0.82
520	1.33	2.97	1.02	1.53	0.81	0.85
530	1.35	3.08	1.04	1.58	0.826	0.88

13. Принимаем время пребывания воды в отводящем трубопроводе $t = 1,5 \text{ мин} = 90 \text{ с}$. Тогда длина отводящего трубопровода составит $l_{\text{отв}} = V_{\text{отв}} \cdot t = 0,9 \cdot 90 = 81 \text{ м}$.

При данной длине потери в отводящем трубопроводе $h_{\text{отв}} = l_{\text{отв}} \cdot i = 81 \cdot 0,00141 = 0,115 \text{ м}$.

3.4 Задания для самостоятельного решения

Задание. Рассчитать вертикальный вихревой смеситель для станции очистки с полной производительностью $Q_{\text{полн}}$, м³/сут. Исходные данные для расчета приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Исходные данные по вариантам заданий для самостоятельной работы

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q_{\text{полн}} \cdot 10^3$	95,0	105,0	85,0	92,0	98,0	88,0	86,0	87,0	93,0	97,0

3.5 Контрольные вопросы

1. Какую функцию выполняют смесители для очистки воды?
2. Какие существуют смесители для очистки воды?
3. Что определяет выбор типа смесителя?
4. Чем должны быть оборудованы смесители?
5. Как определить необходимое количество смесителей?

Библиографический список

1. Губанов, Л.Н. Экологическая безопасность в строительстве: учеб. пособие / Л.Н. Губанов [и др.]; под общ. ред. Л.Н. Губанова. – Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2016. – 101 с.
2. Гулимова, Е.В. Экологическая безопасность строительных материалов и изделий: учеб. пособие / Е.В. Гулимова [и др.]; под общ. ред. Е.В. Гулимовой. – Комсомольск –на– Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2014. – 108 с.
3. Гурова, Т.Ф. Экология и рациональное природопользование: учебник и практикум для академического бакалавриата / Т.Ф. Гурова, Л.В. Назаренко. – 3–е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 188 с.
4. СНиП 10-01-94. Система нормативных документов в строительстве. Основные положения.
5. Рябчиков, Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования: учеб. пособие / Б.Е. Рябчиков. - М.: ДеЛи принт, 2004. – 301 с.

Учебное издание

Воробьева Елена Владимировна

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ.
СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ**

Учебно-методическое пособие

Подписано в печать _____. Тираж 5 экз.
Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета
390000, г. Рязань, ул. Право-Лыбедская, 26/53