

**Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Казанский государственный технологический
университет»**

Г.Ю.Климентова, Т.Н.Качалова, И.В. Цивунина

**ОБЩЕЗАВОДСКОЕ ХОЗЯЙСТВО
ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Учебное пособие

Казань
КГТУ
2010

УДК 628.3+547.2.21/5.59
ББК

Климентова Г.Ю.

Общезаводское хозяйство химических предприятий: учебное пособие. / Г.Ю. Климентова, Т.Н. Качалова, И.В. Цивунина. - Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2010. - с120 с.
ISBN 978-5-7882-1215-9

Приведена классификация факельных систем, предназначенных для улавливания технологических выбросов паров и газов химических предприятий. Рассмотрены факторы, влияющие на безопасную эксплуатацию факельных установок. Изложены основные методы очистки сточных вод, их классификация и системы канализации химических предприятий. Даны примеры и контрольные задания технологических расчетов элементов системы по охране воздушного бассейна и канализационных очистных сооружений.

Предназначено для практических занятий студентов 4 курса очной и 3 курса заочной форм обучения специальности 240401.65 «Химическая технология органических веществ» и 240802.65 «основные процессы химических производств и химическая кибернетика»

Подготовлено на кафедре «Технология основного органического и нефтехимического синтеза».

Печатается по решению редакционно-издательского совета Казанского государственного технологического университета.

Рецензенты: с.н.с. ОС ИОФХ КНЦ РАН, д-р.
хим. наук, *В.Ф. Николаев*
с.н.с. ОАО ВНИУС, канд. хим.
наук *М.Р. Латыпова*

ВВЕДЕНИЕ

Важную роль в работе химических предприятий играет общезаводское хозяйство, к которому относятся объекты приема, хранения, транспортирования сырья и готовой продукции, объекты энергоснабжения, водоснабжения и канализации, снабжения водородом, воздухом, инертным газом, топливом, очистные сооружения и различные вспомогательные службы (факельное хозяйство, газоспасательная, медицинская службы пожарная охрана и т.д.).

Нефтеперерабатывающие и химические предприятия относятся к категории предприятий с высоким потреблением воды и значительным сбросом в водоемы сточных вод, которые могут нарушить биологическое равновесие, водопотребление и ухудшить водопользование водоемов. Для предотвращения загрязнения водоемов предприятия должны быть оборудованы совершенными канализационными очистными сооружениями, которые позволяют очистить сточные воды до такой степени, чтобы после смешения их с водой водоема не были превышены нормативные требования, обеспечивающие нормальную жизнь в водоеме.

Безопасная эксплуатация технологических установок и общезаводского хозяйства предприятий, имеющих в своем составе оборудование, работающее под избыточным давлением, предусматривает факельные системы, которые предназначены для сжигания образующихся в процессе производства выбросов вредных и токсичных газов. Сжигание сбросных газов на факельных установках позволяет предотвратить загрязнение окружающей среды токсичными и горючими веществами.

1. ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМЫ ПО ОХРАНЕ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА

1.1 Факельная система

На многих крупных предприятиях нефтеперерабатывающей и химической промышленности эксплуатируются факельные установки, которые предназначены для сжигания некондиционных газов, дальнейшая переработка которых экономически нецелесообразна или невозможна. Факельная система состоит из общей факельной системы предприятия и отдельных факельных систем, обслуживающих специальные производства и предназначенных для утилизации или сжигания газов и паров со специфическими свойствами.

В факельную систему химических и нефтехимических предприятий направляются:

- постоянные сбросы горючих газов и паров из оборудования и коммуникаций при нормальной их эксплуатации (газы из сепараторов, рефлюксных емкостей);
- аварийные сбросы от предохранительных клапанов, установленных на аппаратах технологических установок, емкостях, резервуарах и т.д.;
- периодические сбросы газов и паров в период пуска, наладки, при отклонениях от технологического режима и остановки технологического оборудования.

Для расчета факельной системы необходимо определить и собрать информацию о составе газов или паров, а также такие характеристики процесса как температура, давление, плотность газов, расход, продолжительность сброса. Кроме того, необходимо знать параметры максимального, среднего и минимального суммарного сброса с объекта.

Примерный состав газов, сжигаемых на факелах нефтехимического предприятия, представлен в табл. 1.1.

Таблица 1.1. - Примерный состав газов, сжигаемых на факелах предприятий нефтехимической промышленности

Компоненты	Факел высокого давления, % мас.	Факел низкого давления с установок каталитического крекинга, % мас.	
		на гранулированном катализаторе	с пылевидным катализатором
H ₂ S	4,61	0,25	1,1
H ₂	0,88	0,21	4,6
CH ₄	3,32	4,10	4,1
Σ C ₂	20,50	5,50	8,0
C ₃ H ₆	2,54	8,03	14,4
C ₃ H ₈	24,34	13,50	8,2
C ₄ H ₈	1,58	3,00	16,5
C ₄ H ₁₀	26,92	36,50	15,4
Σ C ₅	14,83	22,61	19,1
Σ C ₆	0,48	6,30	8,6

При работе факельной установки необходимо обеспечивать стабильное горение в широком интервале расходов газов и паров, бездымное сжигание постоянных и периодических сбросов, а также безопасную плотность теплового потока и предотвращение попадания воздуха через верхний срез факельного ствола.

К факельным установкам предъявляют следующие требования:

- полнота сжигания, исключая образования вредных продуктов (альдегидов, кислот);
- сжигание, исключая образование дыма и сажи;
- устойчивость факела при изменении расхода и состава сбрасываемых газов;
- безопасное воспламенение, бесшумность и отсутствие яркого свечения.

1.2. Классификация факельных систем

Классификация факельных систем осуществляется по следующим показателям:

Первый показатель – в зависимости от характеристик горючих газов и технологических особенностей производства различают факельные системы:

- *общую* – систему, обслуживающую группу технологически не связанных установок (при условии совместимости сбросов);
- *отдельную* – систему, обслуживающую одно производство, один цех, одну технологическую установку, один склад или несколько технологических блоков, которые связаны в одну технологическую линию и могут останавливаться одновременно (один источник сброса);
- *специальную* – систему, предназначенную для сжигания газов или паров, которые по своим свойствам и параметрам не могут быть направлены ни в общую ни в отдельную факельные системы. Эта система используется также, если давление в технологической установке не обеспечивает сброс в общую факельную систему.

Сброс горючих газов и паров в *общие* факельные системы нормируются по следующим показателям:

- содержание веществ I и II классов опасности в количествах не более 1% об.;
- содержание сероводорода, не более 8% об.;
- содержание кислорода в продувочных сбрасываемых газах или парах, в том числе в газах сложного строения, не должно превышать 50% минимального взрывоопасного содержания кислорода в возможной смеси с горючим.

В *общую* факельную систему *не подлежат* сбросу:

- продукты, склонные к разложению с выделением тепла;
- вещества, способные вступать в реакцию с продуктами, содержащимися в сбросах с других объектов;
- вещества, взаимодействие которых может привести к

взрыву (например, окислитель и восстановитель);

- полимеризующиеся продукты (особо опасны), агрессивные вещества, уменьшающие пропускную способность трубопроводов;
- вещества, которые при сгорании способны образовывать ядовитые вещества в количествах, превышающих ПДК.

В *общие* факельные системы *не допускается* направление постоянных, периодических и аварийных сбросов газов или паров, если совмещение указанных сбросов может привести к повышению давления до величины, препятствующей нормальной работе предохранительных клапанов и других противоаварийных устройств.

Для продуктов, не подлежащих сбросу в общую факельную систему, проектируются *отдельные* или *специальные* факельные системы. Например, специальные системы организуются для установок каталитического крекинга (так как давление в аппаратах не превышает 0,06 – 0,07 МПа), для горючих газов, содержащих более 8% об. сероводорода, для сбросов из резервуарных парков сжиженных газов (так как единичный сброс с объекта имеет большой объем).

В газах и парах, сбрасываемых в *общую* и *отдельные* факельные системы, не должно быть капельной жидкости и твердых частиц. Все элементы факельных систем должны быть оснащены специальным обогревом для исключения замерзания или конденсации продуктов, направляемых в факельную линию. Коллекторы факельных установок должны иметь постоянный уклон в сторону сепаратора без ловушек или карманов, в которых может скапливаться жидкость.

При сбросах водорода, ацетилена, этилена и окиси углерода и их смесей содержание кислорода в них должно составлять не более 2% об.

Второй показатель – режим работы. Факельные установки могут быть *периодического действия* и *постоянно действующими*. При периодической работе факельной установки отдельные периоды могут составлять несколько суток и более.

Третий показатель – по месту расположения. Факельные установки делятся на *отдельно стоящие*, которые располагаются на расстоянии десятков или сотен метров от сооружений и технологических аппаратов, и *размещенные на технологических установках* или вблизи их.

Четвертый показатель – по рабочему давлению. При эксплуатации нефтехимических и нефтеперерабатывающих предприятий применяют следующие факельные установки:

- *низкого давления* – для обслуживания установок, работающих под давлением до 0,2 МПа;
- *высокого давления* – для обслуживания установок, работающих под давлением выше 0,2 МПа;
- *локальные аварийные* – для обслуживания установок, работающих под низким давлением, исключающим прием газов в газгольдер, а также для сжигания сбрасываемых газов, содержащих агрессивные газы.

На большинстве нефтехимических предприятий действуют одновременно факельные установки низкого и высокого давления. Факельные установки низкого давления практически обслуживают установки дегидрирования углеводородов в аварийных ситуациях. Следовательно, они играют роль локальных аварийных факельных установок.

Пятый показатель – по молекулярной массе, температуре, давлению и содержанию воды сбросов. Газы, сбрасываемые в факельные установки предприятия, могут сильно различаться по этим показателям. Поэтому на предприятиях отделяют холодные сухие пары (обычно под высоким давлением) от более теплых влажосодержащих паров низкого давления для предотвращения обледенения и закупорки разгрузочных трубопроводов.

Сухая факельная установка предназначена для работы с сухими парами углеводородов молекулярной массой менее 45 при температурах ниже 0° С.

Мокрая факельная установка предназначена для работы с горячими газами, содержащими водяные пары, а также тяжелые углеводороды.

Шестой показатель – по месту сброса газов. В производственной практике реализованы различные варианты системы факельных установок, которые представлены на рис.1.1, 1.2:

- со сбросом газов в факельный ствол (вертикальная труба с оголовком и газовым затвором) с постоянным отводом конденсата;
- со сбросом факельных газов высокого давления на переработку или для сжигания в котельных установках;
- комбинированные системы.

По первому варианту (рис. 1.1) сбрасываемые газы из коллектора через сепаратор 1 направляются на сжигание в факельный ствол 2, оснащенный дежурной горелкой 3 и запальной горелкой 4. Конденсат из сепаратора 1 через гидрозатвор 7 постоянно отводится и возвращается в производство.

По второй схеме (рис. 1.2) газы поступают в сепаратор 1, где освобождаются от конденсата. Основной объем газа направляется потребителю, а избыток сбрасывается в факельный ствол 6 через регулирующий клапан 3.

В состав факельной установки обязательно входит *факельная труба (ствол) с горелкой, трубопроводы сбросных газов, система зажигания и лабиринтный уплотнитель*. Кроме того, в факельную установку могут входить средства автоматизации и контроля, дренажные устройства, газголдеры, компрессоры и насосы, огнепреградитель, гидрозатвор, а также помещение для установки вспомогательного оборудования.

Факельная труба (рис.1.3), предназначенная для сжигания сбросных газов, является основной частью *факельной системы*. В устье факельного ствола происходит открытое сжигание газов и паров. Для обеспечения безопасной и удобной эксплуатации факельные стволы снабжаются дежурными горелками, горелочными и запальными устройствами, газостатическим затвором, устройством для бездымного сжигания. Факельный ствол размещают на спланированной и огражденной территории, обозначенной предупреждающими знаками.

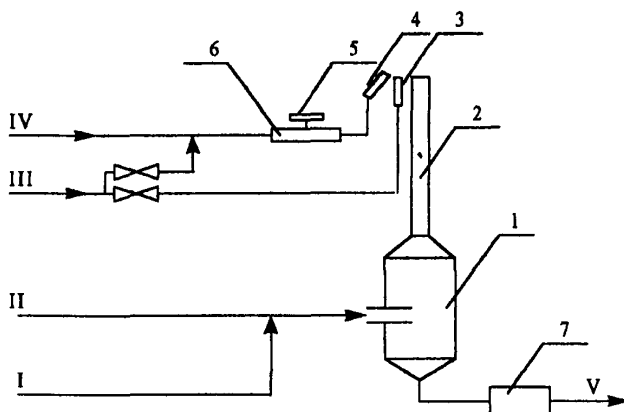


Рис.1.1. Схема факельной установки с постоянным отводом конденсата:

1 – сепаратор; 2 – факельный ствол; 3 – дежурная горелка; 4 – затворная горелка; 5 – зажигающее устройство; 6 – свечи; 7 – гидрозатвор. Потoki: I – факельный газ; II – азот для продувки; III – топливный газ; IV – воздух; V – конденсат

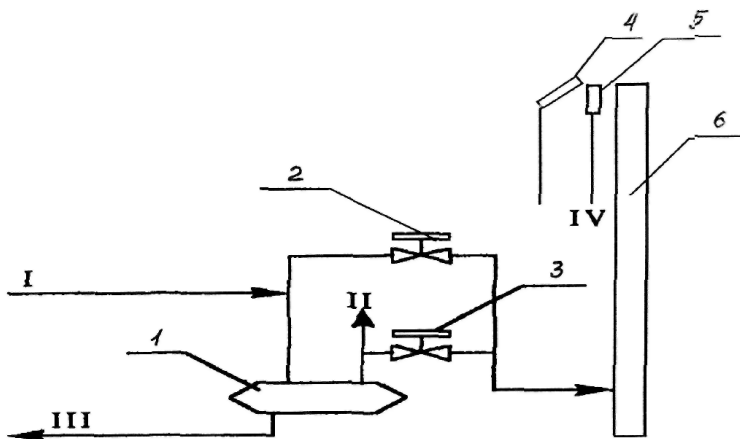


Рис.1.2. Схема факельной установки с сепаратором:

1 – сепаратор; 2,3 – регулирующие клапаны; 4 – запальная горелка; 5 – дежурная горелка; 6 – факельный ствол. Потoki: I – сбросный газ; II – газ потребителю; III – конденсат; IV – топливный газ

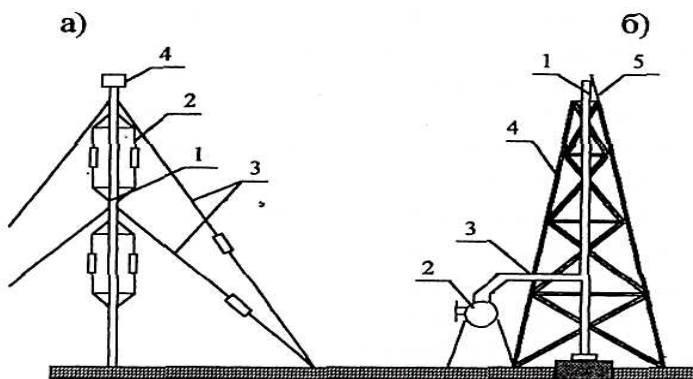


Рис. 1.3. Факельный ствол:

- а) 1 – центральная труба; 2 – шпренгельная тяга;
3 – растяжка; 4 – горелка.
- б) 1 – труба факела; 2 – отбойник; 3 – линия на факел;
4 – решетчатая мачта; 5 – дежурная горелка

Конструктивно факельные стволы выполняются:

- самонесущими;
- закрепленными на оттяжках (рис. 1.3а);
- размещенными в металлической конструкции решетчатого или трубчатого типа (рис. 1.3б).

При определении высоты факельного ствола, кроме плотности теплового потока, следует также учитывать возможное загрязнение окружающей территории вредными продуктами сгорания.

Факельная горелка, так называемая факельная свеча, представляет собой срез трубы, по окружности которой размещены дежурные горелки, это простейшая конструкция. Если предстоит сжигать различные газы, то в одной металлоконструкции на близком расстоянии одна от другой, располагают несколько факельных труб, к каждой из которых подводят определенный сбрасываемый газ, например факельные газы нефтеперерабатывающего предприятия, некондиционные газы химических производств. Зажигание производят от дежурной горелки, которую зажигают при помощи «бегущего» пламени. Если к простой

трубчатой горелке присоединить насадку *типа сопла Вентури*, то можно сжигать газы определенного состава в широком интервале нагрузок без образования дыма. В этой горелке пламя стабилизируется колосниковой решеткой (рис. 1.4).

Для получения бездымного пламени к факельной горелке должен поступать воздух, который всасывается струей сбрасываемого газа. Иногда необходимый для горения воздух нагнетают воздуходувкой или компрессором. При этом воздух следует подводить к ядру пламени так, чтобы обеспечить необходимые турбулентность и смешение сбрасываемых газов с воздухом.

Факельная горелка, в которую воздух поступает *под давлением* (рис. 1.5), пригодна для бездымного сжигания ацетилена, пропана, пропилена и других углеводородов.

Поджигание выходящей смеси осуществляется от дежурных горелок, что позволяет стабилизировать пламя при сильных ветрах и дождях.

В *инжекторные горелки* подача воздуха достигается подсосом выходящей струей горючего газа.

Кроме упомянутых горелок применяют *многосопловые (многоструйные) горелки*, в которые сжигаемые газы поступают под определенным давлением. Эти горелки пригодны для сжигания сбрасываемого газа различного состава и объема.

Горелка состоит из множества отдельных сопел на горизонтальных трубах, которые образуют колосники (рис. 1.6). В этой горелке имеется насадка, расположенная над соплами для сбрасываемых газов. Она способствует воспламенению каждой струи газа, стабилизации пламени и турбулентности струи газа, что обеспечивает хорошее смешение с воздухом. Для создания необходимой тяги и отвода дымовых газов многоструйную горелку раз размещают внутри наземной факельной установки (рис. 1.7).

Она состоит из камеры сгорания, футерованной огнеупорным материалом, и факельной трубы из железобетона.

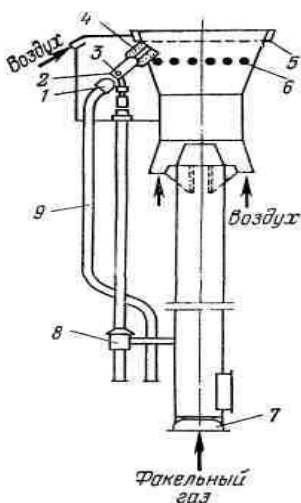


Рис. 1.4. Факельная горелка с соплом Вентури и колосниковой решеткой:

- 1 – дежурная горелка; 2 – трубка из пиролана; 3 – запальная свеча;
- 4 – футеровка; 5 – кольцо из жаропрочной стали; 6 – колосниковая решетка для стабилизации пламени;
- 7 – решетка огнепреградителя;
- 8 – электрозапал; 9 – трубопровод топливного газа

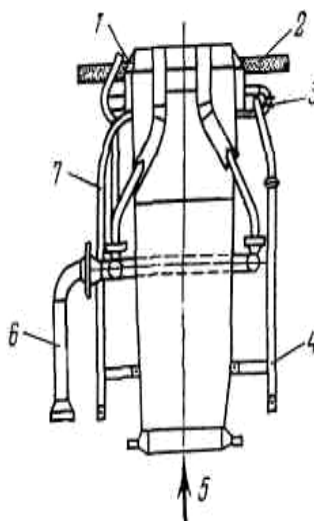


Рис. 1.5. Факельная горелка с подачей воздуха в ядро пламени под давлением:

- 1 – запальная камера; 2 – экран;
- 3 – сопло; 4 – запальный трубопровод; 5 – факельный газ;
- 6 – трубопровод для подачи воздуха; 7 – трубопровод к дежурным горелкам

Дымовые газы, выходящие из камеры сжигания с температурой около 1000°C , охлаждаются при разбавлении воздухом примерно до 350°C .

Другая конструкция наземной факельной установки с многоструйными горелками показана на рис. 1.8. Всасывающие воздух горелки, сконструированные по принципу трубы Вентури, расположены в несколько рядов под углом 90° к факельной трубе. Воспламенение производят от подвижной дежурной горелки. Для снижения температуры дымовых газов организован подсос холодного воздуха через пазы в обечайке трубы, расположенной над горелками.

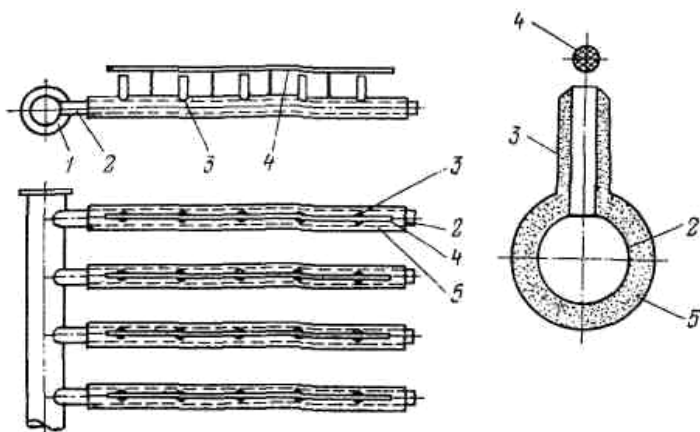


Рис. 1.6. Многосопловая горелка:

*1 – коллектор; 2 – труба для подвода газа; 3 – сопло ($D=25,4$ мм);
4 – стабилизатор пламени; 5 – изоляция*

Множество форсунок, расположенных на наружной части стенки факельной трубы, позволяет равномерно распределять газ, поступающий на сжигание, и обеспечивает высокую эффективность сгорания, при котором отсутствует коптящее пламя, дым и шум.

Для получения бездымного пламени используют также горелки, позволяющие подавать пар или распыленную воду в ядро пламени (рис. 1.9). Сбрасываемый газ, выходя из факельной трубы, проходит мимо ряда сопел для подачи пара, расположенных вокруг факельной горелки. Сопла установлены под углом к вертикали попеременно 30 и 45° . Такое размещение сопел позволяет уменьшить противодавление газа и повысить турбулентность. Зажигание производится от трех постоянно горящих горелок.

Горелки выпускаются в следующих исполнениях:

- горелки для электроискрового розжига;
- горелки для розжига бегущим огнем;
- горелки с двойным розжигом (электроискровой и бегущий огонь), обеспечивающие наибольший уровень безопасной работы установки.

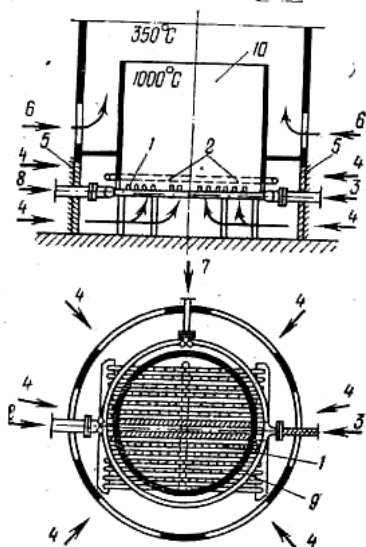


Рис. 1.7. Наземная факельная установка из железобетона с горизонтальной многоструйной горелкой:

1 – многоструйная горелка;
2 – дежурная горелка; 3, 8 – вход факельного газа; 4 – подача воздуха; 5 – жалюзи; 6 – воздух для охлаждения; 7 – вход газа в дежурную горелку; 9 – кольцевой трубопровод; 10 – камера сгорания

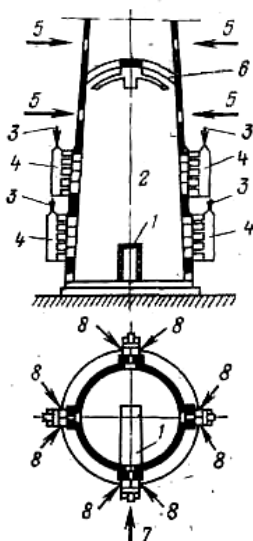


Рис. 1.8. Наземная факельная установка с вертикальным расположением многоструйных горелок:

1 – дежурная горелка; 2 – камера сгорания; 3 – вход факельного газа; 4 – многоструйные горелки; 5 – воздух для охлаждения; 6 – наукообразный распределитель; 7 – вход газа в дежурную горелку; 9 – воздух для горения

В зависимости от места расположения факельной горелки факельные установки разделяют на высотные и наземные.

В высотных (открытых) факельных установках горелка расположена в верхней части факельной трубы; продукты сгорания поступают сразу в атмосферу. В наземных (закрытых) установках горелка расположена на небольшом расстоянии от земли, а продукты сгорания отводятся в атмосферу через дымовую трубу.

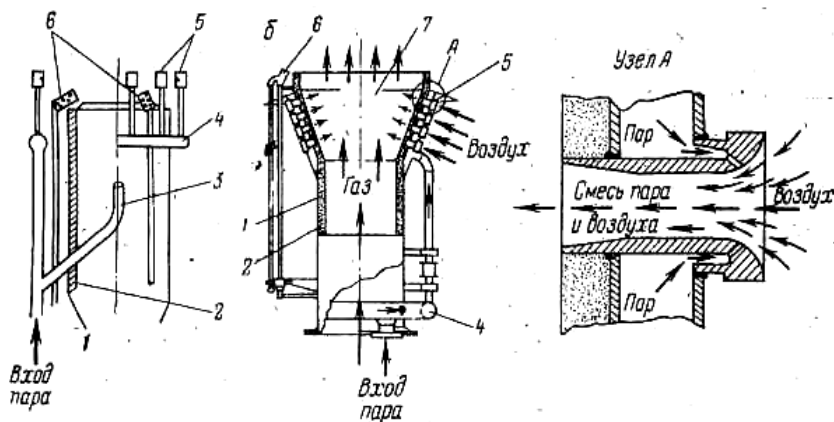


Рис.1.9. Факельные горелки с подачей водяного пара:
 а – по периферии и в центр факельной горелки; б – на основе эффекта Коанда; 1 – корпус горелки; 2 – теплоизоляция; 3 – центральное паровое сопло; 4 – паровой коллектор; 5 – сопла; 6 – дежурные горелки; 7 – камера смешения

При выборе типа факельной установки следует учитывать возможность токсического действия сбрасываемых газов. Высотные факельные установки можно разделить на *средние* (4 - 25 м) и *высокие* (25 - 92 м). Высота факельного ствола на современных нефтехимических предприятиях обычно более 60 м.

Современные закрытые факельные системы имеют три очень важных преимущества:

- обеспечивают бездымное сжигание наиболее тяжелых трудносжигаемых газообразных отходов, а также влагосодержащих отходов с низкой теплотворной способностью без использования дорогостоящего пара, воздуходувок или открытых горелок и насадок;
- могут быть рекомендованы в факельную систему термического окисления путем добавления регулятора тяги к свободной естественной тяге воздуха многофорсуночных многоструйных горелок;
- в одной камере сгорания (общей или конструкции «камера в камере») возможно сжигание нескольких разных потоков газообразных или жидких сбросов.

Эффективность удаления продуктов сгорания газообразных и жидких отходов для факельных систем термического окисления превышает 99,9 % – это лучший показатель сокращения выбросов окислов серы (SO_x), окислов азота (NO_x), а также других летучих канцерогенных выбросов. Закрытая факельная система может быть оснащена одной из двух типов систем утилизации тепла: это может быть предварительный нагрев (через теплообменник) потока холодных отходов с целью более эффективного их сжигания или котел для получения водяного пара.

В закрытых факельных системах производства достигнут высочайший уровень безопасности и надежности. Это обеспечивается сочетанием передовых методов проектирования с современным высокотехнологичным производством. В системах автоматизации закрытых факельных систем применены самые современные технические решения и разработки: автоматические схемы взаимоблокировок, жидкостные затворы, сканеры пламени, работающие в ультрафиолетовом диапазоне, отказоустойчивые системы запуска и остановки, световая сигнализация, многоступенчатые головки со встроенными огнепреградителями и устройствами предотвращения детонации, а также дежурные горелки с дистанционными генераторами искры и УФ-сканерами.

Полностью автоматизированные многоступенчатое функционирование многофорсуночных, многоструйных горелок с естественной тягой обеспечивает надежное сокращение выбросов с объектов добычи нефти и газа, нефтеперерабатывающих, химических и нефтехимических заводов, а также других предприятий обрабатывающих и перерабатывающих отраслей промышленности.

1.3. Факторы, влияющие на безопасную эксплуатацию факельных установок

При неправильно организованном сжигании газов происходит выделение большого количества продуктов неполного

сгорания – углерода (в виде дыма) и окиси углерода, которые интенсивно загрязняют окружающую среду.

Типы факелов:

- *стационарные факелы* можно классифицировать в зависимости *от скорости потока*, которая оказывает значительное влияние на процессы горения. Они подразделяются на *ламинарные и турбулентные*. В промышленных условиях все процессы сгорания протекают в турбулентной области, что обусловлено большими скоростями потока и значительными размерами установок.

- в зависимости *от характера поступления к горючему газу кислорода* (воздуха), необходимого для сжигания, факелы подразделяются на *факелы с предварительным смешением потоков (факел Бунзена) и диффузионные*, которые иногда называют предварительно несмешанными. В этих факелах смешение горючего газа и воздуха достигается диффузией; кислород соединяется с горючим газом только в момент горения. Процесс горения определяется скоростью смешения потоков, скорость химической реакции играет незначительную роль.

Примером факела с предварительным смешением потоков является факел, создаваемый в широко известной бунзеновской горелке. Последняя представляет собой вертикальную трубку, к нижнему концу которой подается горючий газ. Поток газа засасывает воздух в трубу. Протекая по трубке, газ и воздух перемешиваются, и их верхнего конца выходит однородная горючая смесь, т.е. потоки смешиваются вне зоны горения. При поджигании струи образуется характерный факел.

Основными факторами, определяющими степень дымообразования в факелах, являются:

- количество кислорода в зоне горения и его распределение;
- температура в зоне горения;
- вид сжигаемых углеводородов.

Количество и распределение кислорода в зоне горения является главным фактором, определяющим дымообразования.

Для полного сгорания углеводородов, содержащихся в газе, требуется подать в зону горения определенное количество кислорода (или эквивалентное количество воздуха).

Для бездымного горения парафиновых углеводородов требуется подать в зону первичного смешения около 20% воздуха, необходимого для полного сгорания. При сжигании олефиновых углеводородов расход воздуха увеличивается до 30%. Остальной воздух, необходимый для завершения процесса горения, поступает в пламя за счет засасывания и тепловой тяги.

Вторым фактором, определяющим бездымное горение, является *температура в зоне горения*. Повышение температуры в зоне горения влечет возрастание образующегося дыма за счет увеличения степени термодинамического разложения. Впрыскивание в горящий факел воды или пара является радикальным способом борьбы с дымообразованием благодаря разбавлению и перемешиванию, увеличению засоса воздуха и лучшему его распределению в потоке сжигаемого газа, а также благодаря протеканию эндотермической реакции между углеродом и водяным паром. Обычно подачу воды применяют для низких факелов, а для высоких предпочтительно подавать пар.

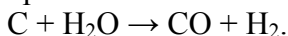
Тип углеводородов, направляемых на сжигание, также влияет на дымообразование. Установлено, что при данной температуре в зоне горения факела степень разложения увеличивается с повышением соотношения углеводород: водород. Поэтому ненасыщенные углеводороды образуют больше дыма, чем насыщенные. При сжигании ненасыщенных углеводородов требуется большее количество первичного воздуха для получения бездымного факела. При сжигании углеводородов определенного ряда склонность к дымообразованию изменяется в следующем порядке: ароматические углеводороды > ацетиленовые углеводороды > олефины > н-парафины.

Факельная установка, предназначенная для сжигания сбрасываемых газов, состав и расход которых колеблется в широких пределах, должна обеспечивать требуемую полноту сгорания газов, т. е. в продуктах сгорания должны отсутствовать токсич-

ные компоненты (кислоты, альдегиды), а также сажа. Особенно много сажи выделяется при сжигании сбросных газов, содержащих тяжелые и непредельные углеводороды. Чтобы предотвратить образование сажи необходимо подвести к пламени достаточное количество кислорода. Чаще всего к пламени подводят смесь водяного пара и атмосферного воздуха.

Степень образования сажи является функцией отношения водород : углерод (Н: С). С увеличением содержания углерода, т.е. с уменьшением отношения Н: С, возрастает тенденция к образованию сажи. При сгорании метана (Н: С =0,33) сажа не образуется, при сгорании этана (Н: С=0,25) образуется небольшое количество сажи, а при сгорании пропана (Н: С=0,22) – значительное; при сгорании газовых смесей количество образующейся сажи также определяется соотношением Н: С.

При подаче пара в дымовых газах сажа не содержится, что обусловлено более равномерным перемешиванием горючих газов с воздухом, а также образованием окиси углерода и водорода из сажи и водяного пара:



При сгорании окиси углерода и водорода образуется почти бесцветное пламя (бледно-голубое). Для определения требуемых количеств водяного пара и воздуха, при которых обеспечивается бессажевое сжигание, необходимо в каждом конкретном случае рассчитать равновесный состав продуктов реакции.

Факельные стволы являются источником *сильного шума и яркого свечения*. При проектировании факельного устройства необходимо учитывать, что повышение скорости истечения газа увеличивает шум факела. Суммарный шум складывается из шума, вызываемого процессом горения и шума, возникающего при истечении газа из сопла. Интенсивность шума горения линейно зависит от количества воздуха, смешивающегося с газом – с увеличением расхода воздуха увеличивается шум горения. Шум, возникающий при истечении газа из сопла, при определенном расходе увеличивается в прямой зависимости от перепада давления в сопле. Поэтому сопла паровых или газовых инжекторов

должны работать при минимальном перепаде давления, обычно не превышающем 0,7 МПа.

Необходимо отметить, что в экономически развитых странах при проектировании факельных устройств, для открытого сжигания газа большое внимание уделяется вопросам снижения яркости пламени. Для этого на факельных стволах устанавливаются светозащитные диафрагмы, разрабатываются конструкции низких факельных стволов с выводом продуктов сгорания в атмосферу через дымоход.

Для предотвращения проскока пламени, на газопроводах перед входом в факельный ствол необходимо устанавливать огнепреградители или гидрозатворы. Использование огнепреградителей мало привлекательно в связи со сложностью их ремонта, кроме того, они быстро забиваются продуктами окисления и полимеризации, что приводит к созданию повышенного давления в факельной системе. Более эффективна схема с гидрозатвором, несмотря на сложность эксплуатации в зимних условиях.

Важной задачей при эксплуатации факельного хозяйства является предотвращение попадания в факельные системы воздуха. Для предотвращения попадания воздуха в факельную систему и предупреждения образования в факельной системе взрывоопасной смеси следует предусматривать подачу продувочного (топливного или инертного) газа с интенсивностью, обеспечивающей следующие скорости потока в расчете на сечение факельного ствола под оголовком:

- не менее 0,05 м/с – с газовым затвором;
- не менее 0,9 м/с – без газового затвора при плотности продувочного (топливного) газа 0,7 кг/м³ и более;
- не менее 0,7 м/с – без газового затвора при инертном продувочном газе (азоте).

В комплекс факельной системы предприятия входят также:

- трубопроводы (коллекторы) низкого давления – для обслуживания цехов и установок, работающих под давлением до 0,2 МПа;
- коллекторы высокого давления – для обслуживания цехов

и установок, работающих под давлением выше 0,2 МПа;

- локальные аварийные трубопроводы – для обслуживания установок, работающих под низким давлением, исключаяющих прием газов в газгольдер;

- установка сбора и возврата факельных газов;

- факельные стволы с устройством для бездымного сжигания;

- огнепреградительные устройства; вспомогательные устройства.

Пропускную способность общих факельных систем следует рассчитывать на следующие расходы газов и паров:

- при постоянных и периодических сбросах – на сумму периодических (с коэффициентом 0,2) и постоянных выбросов от всех подключенных технологических установок, но не менее чем на сумму постоянных выбросов и максимального периодического сброса (с коэффициентом 1,2) от установки с наибольшей величиной этого сброса;

- при аварийных сбросах – на сумму аварийных сбросов (с коэффициентом 0,25) от всех подключенных установок, но не менее чем на величину аварийного сброса (с коэффициентом 1,5) от установки с наибольшей величиной этого сброса;

- при аварийных, постоянных и периодических сбросах – на сумму всех видов сброса, рассчитанных как указано выше.

Пропускную способность отдельных и специальных факельных систем следует рассчитывать на сумму постоянных сбросов от всех подключенных аварийных блоков и аварийного сброса от одного блока с наибольшей величиной этого сброса. Для отдельных и специальных факельных систем потери давления должны быть взаимосвязаны с условиями безопасной работы подключенных к ним аппаратов.

Потери давления в факельных системах при максимальном сбросе не должны превышать:

- для систем, в которые направляются аварийные сбросы газов и паров, - 0,02 МПа на технологической установке и 0,08 МПа на участке от технологической установки до выхода из

оголовка факельного ствола;

- для систем с установкой сбора углеводородных газов и паров – 0,05 МПа от технологической установки до выхода из оголовка факельного ствола.

Для обеспечения безопасных условий эксплуатации общей факельной системы нефтехимического предприятия используется двухтрубная (параллельная) система факельных коллекторов, теплоизолированных и обогреваемых. Факельные коллекторы и трубопроводы должны быть минимальной длины и иметь минимальное число поворотов, их необходимо прокладывать только над землей (на опорах и эстакадах). Врезка цеховых трубопроводов в факельный коллектор должна производиться сверху (“наклевом”) в целях исключения заполнения их жидкостью. Для предотвращения выделения жидких продуктов (газового конденсата, воды) на факельных коллекторах предусматриваются сепараторы-отбойники (рис. 1.10), а трубопроводы укладываются с уклоном в сторону этих отбойников, откуда конденсат сбрасывается в трубопровод или на утилизацию. Отделенный от конденсата газ направляется в газгольдеры переменного объема.

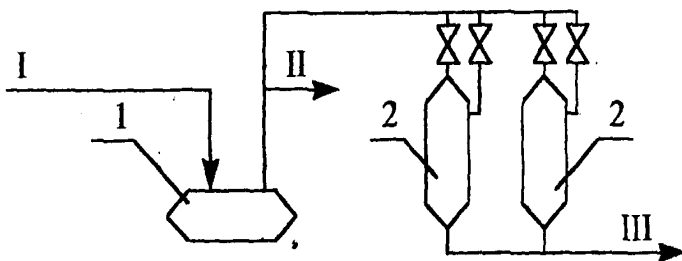


Рис.1.10. Схема улавливания конденсата:

1 – сепаратор; 2 – отбойники. Потoki: I – газ с установки;
II – газ на факел; III – конденсат

Объем газгольдерного парка определяется исходя из 5–10 минутного приема максимального факельного выброса, используемого при расчете общезаводского коллектора. Однако объем

газгольдерного парка не должен быть менее 3000 м³.

Современные факельные системы имеют *струйный затвор*, отменяющий необходимость в использовании *лабиринтного затвора*, что позволяет устранить горение внутри факельного оголовка, поскольку струйный затвор расположен у верхней кромки оголовка. Он обеспечивает открытый проход прямолинейного потока в одном направлении, не имеет никаких подвижных деталей, сложных изгибов или перегородок, ограничивающих расход сбросного или продувочного газов. Даже при минимальных расходах струйный затвор предотвращает попадание воздуха внутрь факельного оголовка.

Так, например, для факельного оголовка диаметром 900 мм рекомендуемый расход затворного газа составляет:

Факельный ствол без затвора	675 нм ³ /ч
Факельный ствол с лабиринтным затвором	
и с обеспечением видимого пламени	337 нм ³ /ч
Факельный ствол со струйным затвором	15 нм ³ /ч

Кроме того, футеровка, выложенная внутри лабиринтного затвора, обычно трескается и падает вниз, забивая дренажное отверстие. В результате конденсат и дождевая вода собирается внутри лабиринтного затвора. Во-первых, сбрасываемый будет проходить через жидкую пробку, захватывая жидкость, что приведет к выбросу через факельный оголовок горящих капель. Во-вторых, при минусовых температурах жидкая пробка замерзает и не пропускает сбрасываемый газ. Это представляет собой чрезвычайную опасность и может вызвать аварию на предприятии. В связи с этим для лабиринтного затвора необходим электро- или пароподогрев. Струйный затвор оснащен коническим козырьком, что приводит к увеличению срока службы, предотвращению соприкосновения пламени с оголовком при боковом ветре и снижению температуры, которой подвергается оголовок. Еще одно преимущество использования козырька заключается в защите пламени дежурной горелки при боковом ветре, который может сорвать пламя. Конструкция оголовка включает удерживатели пламени для высокой стабильности пламени при выход-

ной скорости до 0.8 скорости звука и выше, которая помогает поддерживать пламя в вертикальном положении против ветра, тем самым уменьшая наклон пламени и степень излучения. Кольцо удерживателя пламени прикрепляется к верхней части оголовка. Лопатки удержания создают зону рециркуляции пламени, чтобы обеспечить стабильное пламя и полное сгорание.

Таким образом, *струйный затвор имеет следующие преимущества:*

- уникальность и надежность конструкции;
- устранение горения внутри оголовка;
- устранение горения внутри факельного ствола;
- значительное снижение расхода затворного газа;
- устранение необходимости в футеровке и дренаже;
- отсутствие коррозии и экономии металла;
- отсутствие необходимости в подогреве затвора;
- устранение необходимости в частом ремонте и обслуживании.

1.4. Расчет факельных систем

Безопасность эксплуатации факельной установки во многом зависит от правильного выбора расчетных параметров. Расчет факельной трубы заключается в определении *диаметра ствола факела*, который должен обеспечить стабильное пламя в условиях переменной по составу и расходу нагрузки, *высоты ствола* и *расстояния вокруг ствола*, на котором тепловое излучение будет безопасным.

Пламя сжигаемого на факеле газа должно быть устойчивым. Проскок пламени в трубу, как и его отрыв, недопустимы. Подобные явления могут возникнуть только при нарушениях технологического режима или недостатках конструкции факельной установки.

Скорость движения газа в факельной трубе, независимо от колебаний нагрузки, всегда должна быть больше скорости распространения пламени, и в то же время меньше некоторой пре-

дельной скорости, при которой возможен отрыв пламени. Наибольшая нормальная скорость пламени метано-воздушной, ацетилено-воздушной и водородно-воздушной смесей составляет соответственно 0,37, 1,5 и 2,7 м/с. Практически скорость горения зависит не только от состава газовой смеси, но и от диаметра трубы и начальной скорости смеси, так как эти факторы определяют степень турбулентности горящего газа. Поэтому фактическая скорость горения в несколько раз превышает нормальную скорость распространения пламени. Диаметр трубы (а также горелки) факельной установки должен исключать возможность отрыва пламени в случае сброса больших количеств газа, например при аварийном режиме.

Отрыв пламени от трубок небольшого диаметра происходит при скорости истечения газа, составляющей 20-30 % от скорости звука. В этом случае пламя отрывается от факельной горелки, становится неустойчивым и может легко погаснуть. Для труб большого диаметра скорости отрыва пламени будут несколько больше. На практике принимают, что пламя будет устойчивым при скорости газа на выходе, не превышающей 20 – 30% от звуковой скорости.

Для обеспечения стабильного горения газов на факельной трубе применяют специальные стабилизаторы пламени. Стабилизатор пламени может быть выполнен в виде простого кольца, несколько приподнятого над срезом факельной трубы и расположенного в зоне пламени. Другим способом стабилизации пламени является использование постоянно действующих источников зажигания смеси, например искры, нагретой струи и др. Стабилизатор пламени допускает уменьшение диаметра трубы, что снижает материальные затраты. Отношение высоты пламени L к диаметру факельной горелки d (L / d) зависит от числа Маха. Число Маха представляет собой отношение u/u_z , (u – скорость истечения газа, м/с; u_z – скорость звука в этом газе, м/с). Эта зависимость характеризует высоту пламени для различных скоростей потока. Начиная со скоростей, равных 20 % от скорости звука (число Маха равно 0,2), высота пламени становится посто-

янной и равной 118 диаметра факельной горелки ($L = 118d$). Это выражение иногда используется при расчетах высоты факельной трубы. Следует отметить, что длину пламени вычислить очень трудно, поскольку она зависит от многочисленных факторов (состава газа, количества тепла, выделяющегося при сгорании, скорости сброса и др.).

Влияние тепловой радиации на оборудование и персонал.

При сгорании больших масс, сбрасываемых газов, например, при нарушениях технологического режима, выделяется большое количество тепла. Поэтому при расчете высоты факельного ствола и определении места его расположения следует учитывать три основных фактора пожарной безопасности:

- радиационно-тепловое воздействие пламени на персонал и оборудование;

- искрообразование;

- возможность воспламенения отдельных очагов взрывоопасных смесей с воздухом, образовавшихся при утечке горючих газов.

В случае аварийного сброса больших количеств газа на факел персонал во время обслуживания оборудования или эвакуации из опасной зоны не должен подвергаться воздействию значительного теплового излучения. Для этого необходимо, чтобы факельная труба была достаточно высокой или, если это невозможно, принимать защитные меры по обеспечению безопасности персонала. Максимальная интенсивность теплового излучения, которую может воспринимать персонал при аварийном выбросе, принимается от 5 до 17 МДж/(м²ч). Безопасный предел интенсивности теплоизлучения, который может вынести человек в течение неограниченного времени, составляет 5 МДж/(м²ч).

Определение размеров факельной трубы

Расчет диаметра факельной трубы

Расход сбрасываемого газа определяется по формуле

$$G=3600 \cdot \rho \cdot u \cdot S \quad (1.1)$$

где G – расход газа, кг/ч; ρ – плотность газа, кг/м³; u – скорость газа на выходе из факельной трубы, м/с; S – площадь поперечного сечения трубы, м².

Плотность сбрасываемого газа равна

$$\rho = P \cdot M / R \cdot T, \quad (1.2)$$

где M – молекулярная масса газа, кг/кмоль; P – абсолютное давление газа, Па; T – температура, К; R – универсальная газовая постоянная, равная 8 314,8 Па·м³/(кмоль·К).

Скорость газа на выходе из факельной трубы принимается равной 20% от скорости звука в этом же газе. В идеальном газе скорость звука может быть выражена формулой

$$u_3=91,5 \sqrt{kT / M} . \quad (1.3)$$

Тогда скорость газа

$$u = 0,2 \cdot u_3 = 18,3 \sqrt{kT / M} , \quad (1.4)$$

где k – показатель адиабаты ($k=C_p/C_v$).

Поперечное сечение факельной трубы равно

$$S = 0,785 \cdot D^2, \quad (1.5)$$

где D -диаметр факельной трубы, м.

После подстановки уравнений (2-5) в уравнение (1) получим

$$D = 0,4 \cdot \left(\frac{T}{kM} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{G}{P} \right)^{0,5} . \quad (1.6)$$

Если расход газа задан G (м³/ч), диаметр факельной трубы рассчитывают по уравнению

$$D = 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot (G')^{0,5} \cdot \left(\frac{M}{kT} \right)^{0,25} . \quad (1.7)$$

Если сжигаются газы, не выделяющие дыма, расчетный диаметр можно уменьшить на 15%.

Длину факела $L(m)$ рассчитывают по формуле

$$L = 118 D. \quad (1.8)$$

Расчет высоты факельной трубы

Интенсивность теплоизлучения пламени определяется уравнением

$$q = \psi \cdot Q / (4\pi \cdot l^2), \quad (1.9)$$

где ψ – коэффициент светового излучения; Q – количество тепла, выделяемого пламенем, МДж/ч; l – расстояние от центра пламени (м), при котором интенсивность теплоизлучения снижается до безопасной величины $q = 5 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Коэффициент излучения ψ учитывает количество тепла, рассеивающегося излучением. Коэффициент излучения выражается эмпирическим уравнением

$$\psi = 0,2 (Q_H \cdot 26,9/900)^{0,5}, \quad (1.10)$$

где Q_H – низшая теплота сгорания факельного газа, МДж/м³, определяемая по формуле

$$Q_H = (1/26,9) \cdot (50M + 100), \quad (1.11)$$

где M – молекулярная масса газа.

Для газовых смесей

$$Q_H = \sum y_i' \cdot Q_i, \quad (1.12)$$

где y_i' – мольная доля компонента i в смеси, Q_i – низшая теплота сгорания компонента.

Количество тепла, выделяемого пламенем, определяется

$$Q = G_{\text{ф.г.}} \cdot Q_H, \quad (1.13)$$

где $G_{\text{ф.г.}}$ – расход факельного газа, м³/ч.

Максимальную интенсивность теплоизлучения q_m определяют по формуле

$$q_m = \psi \cdot Q / (4\pi \cdot l_1^2), \quad (1.14)$$

где l_1 – расстояние от центра пламени до основания факельной трубы, м, равное

$$l_1 = \sqrt{H \cdot (H + L)}, \quad (1.15)$$

где H – высота факельной трубы, L – высота (длина) пламени, м.

Подставляя формулу (15) в формулу (14) и решая уравнение относительно H , получим

$$H = 0,5 \left\{ \left[L^2 + \psi \cdot Q / 4\pi \cdot q_m \right]^{0,5} - L \right\} \quad (1.16)$$

Высота факельной трубы должна обеспечивать безопасность радиационно-теплого воздействия на персонал. Максимальная величина q_m , которую может выдерживать персонал в течение некоторого промежутка времени, составляет 17 МДж/(м²·ч). Подставив эту величину в уравнение (1.16), получим

$$H = 0,5 \left\{ \left[L^2 + \psi \cdot Q / \pi \cdot 17 \right]^{0,5} - L \right\} \quad (1.17)$$

Расстояние l_2 от основания факельной трубы до безопасной зоны (рис. 1.11а) можно вычислить как длину катета в прямоугольном треугольнике

$$l_2 = \sqrt{l^2 - l_1^2} \quad \text{или} \quad l_2 = \sqrt{l^2 - H \cdot (H + L)}. \quad (1.18)$$

Эта зависимость справедлива для случая, когда сброс газа проводится в неподвижную атмосферу.

При ветре (рис. 1.11б) пламя будет отклонено под углом α к оси трубы. Площадь у основания трубы, на которой интенсивность излучения будет выше допустимого предела, имеет форму эллипса.

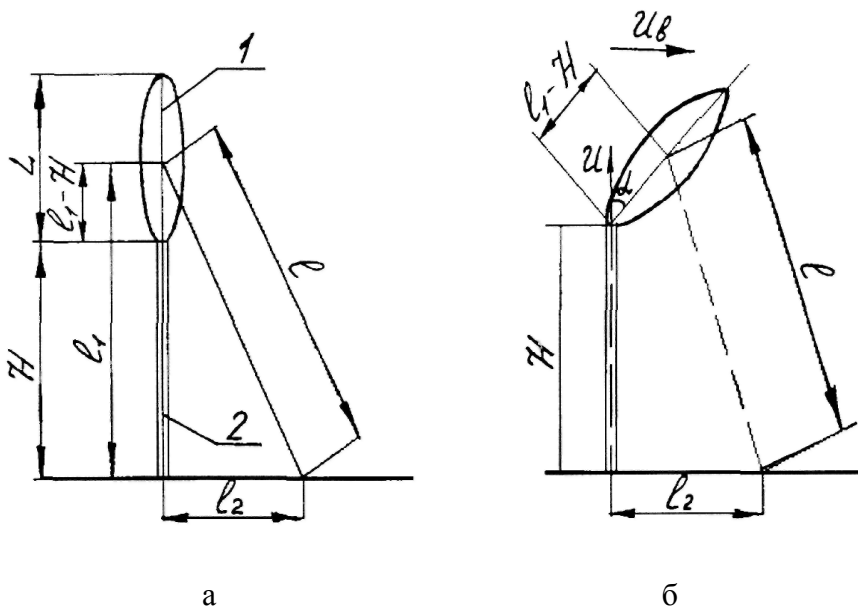


Рис. 1.11. Расположение факела в отсутствие ветра (а) и при наличии ветра (б)

Таким образом, расстояние от факельной трубы до безопасной зоны увеличивается. Как следует из рис. 1.11а,б

$$\operatorname{tg} \alpha = u_{\text{в}} / u, \quad (1.19)$$

где $u_{\text{в}}$ – скорость ветра, м/с; u – скорость сброса газов, м/с; α – угол наклона пламени. Тогда

$$l_2 = \left\{ l^2 - [H + (l_1 - H) \cdot \cos \alpha]^2 \right\}^{0,5} + (l_1 - H) \cdot \sin \alpha \quad (1.20)$$

Пример решения задачи

Задание: Определить размеры факельной трубы для разгрузки предохранительных клапанов при следующих исходных данных: давление газа в сбросной трубе $P = 100$ кПа; температура окружающего воздуха $t = 20^\circ\text{C}$; характеристика выброса G :

углеводороды 181800 кг/ч, водяной пар 16000кг/ч.

Решение:

Расход сбросного газа может быть задан либо в кг/ч, либо в кмоль/ч. Для перевода пользуемся следующими формулами:

$$G' = G / M \quad \text{или} \quad G = G' \cdot M$$

Переводим расход газа кг/ч в кмоль/ч и полученные данные вносим в таблицу 2:

$$G' (\text{УВ}) = 181800 / 36,5 = 4980,8 \quad \text{кмоль/ч}$$

$$G' (\text{вод.п}) = 16000 / 18 = 888,9 \quad \text{кмоль/ч}$$

Таблица 1.2. — Характеристика сбросного газа

Газ	M, кг/кмоль	G', кмоль/ч	G, кг/ч
УВ	36,5	4980,8	181800
Водяной пар	18	888,9	16000
Σ		5869,7	197800

Определяем мольную долю сбрасываемых компонентов в выбросах в окружающую среду по формуле:

$$y_i' = G'_i / \sum G'$$

$$y_i' (\text{УВ}) = 4980,8 / 5869,7 = 0,8486;$$

$$y_i' (\text{вод.п}) = 888,9 / 5869,7 = 0,1514.$$

Низшая теплота сгорания одного компонента факельного газа определяется по формуле (1.11). Водяной пар не горит, для него $Q_H = 0$, рассчитываем Q_H для УВ:

$$Q_H = (1/26,9) (50 \cdot 36,5 + 100) = 71,6 \text{ МДж/м}^3.$$

Для газовых смесей $Q_H = \sum (y_i \cdot Q_i)$

$$Q_H = 0,8486 \cdot 71,6 = 60,8 \text{ МДж/м}^3$$

Полученные данные сводим в таблицу 1.3. C_V , C_P - справочные данные теплоемкости компонентов сбрасываемого газа, КДж/(моль•К).

Таблица 1.3. — Свойства сбросного газа

Газ	y_i	C_V , кДж/моль•К	C_P , кДж/моль•К	$y_i \cdot C_{V_i}$	$y_i \cdot C_{P_i}$	Q_H , МДж/м ³	$y_i \cdot Q_H$
УВ	0,8486	41,6	54,4	35,3	46,2	71,6	60,8
Водя- ной пар	0,1514	25,0	33,3	3,8	5,0	0	0
Σ	1,0000	—	—	39,1	51,2	—	60,8

Расчет:

1. Показатель адиабаты определяется по формуле:

$$k = \Sigma(y_i \cdot c_p) / \Sigma(y_i \cdot c_v)$$

$$k = 51,2 / 39,1 = 1,309.$$

2. Скорость звука u_3 в сбрасываемом газе определяется по формуле (1.4). Первоначально находим молекулярную массу M сбросного газа исходя из мольного содержания компонента:

$$M = y_i \cdot M_i$$

$$M = 0,8486 \cdot 36,5 + 0,1514 \cdot 18 = 33,70 \text{ кг/кмоль},$$

тогда

$$u_3 = 91,5 \cdot \sqrt{1,309(20 + 273) / 33,70} = 308,7 \text{ м/с}.$$

3. Плотность ρ сбрасываемого газа определяется по формуле (1.2):

$$\rho = (100000 \cdot 33,70) / (8314,8 \cdot 293) = 1,3833 \text{ кг/м}^3.$$

4. Скорость газа u на выходе из факельной трубы принимаем равной 20% u_3 скорости звука:

$$u = 0,2 \cdot 308,7 = 61,7 \text{ м/с}.$$

5. Площадь поперечного сечения S факельной трубы определяется по формуле (1.1):

$$S = 197800 / (3600 \cdot 1,3833 \cdot 61,7) = 0,644 \text{ м}^2.$$

6. Диаметр факельной трубы определяется по формуле (1.5):

$$D = \sqrt{0,644 / 0,785} = 0,906 \text{ м}.$$

7. Общее тепловыделение Q определяется по формуле (1.13). Первоначально находим расход факельного газа $G_{ф.г.}$:

$$G_{ф.г.} = G / \rho$$

$$G_{ф.г.} = 197800 / 1,3833 = 142991,39 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$Q = 142991,39 \cdot 60,8 = 8693876,5 \text{ МДж/ч}.$$

8. Коэффициент излучения ψ определяется по формуле (1.20):

$$\psi = 0,2 (60,8 \cdot 26,9 / 900)^{0,5} = 0,270.$$

9. Предельное безопасное расстояние от центра пламени l определяется по формуле (1.9):

$$l = \sqrt{0,270 \cdot 8693876,5 / 4 \cdot 3,14 \cdot 5} = 193,3 \text{ м}$$

10. Длина пламени L определяется по формуле (1.8):

$$L = 118 \cdot 0,906 = 106,9 \text{ м}$$

11. Высота факельной трубы H определяется по формуле (1.16) при значении $q_m = 17 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \text{ ч})$:

$$H = 0,5 \cdot [(106,9^2 + 0,207 \cdot 8693876,5 / 3,14 \cdot 17)^{0,5} - 106,9] = 64,2 \text{ м}$$

12. Расстояние от основания факельной трубы до безопасной зоны l_2 определяется по формуле (1.18):

$$l_2 = \sqrt{193,3^2 - 64,2 \cdot (64,2 + 106,9)} = 162,4 \text{ м}$$

Эта зависимость справедлива для случая, когда сброс газа производится в неподвижную атмосферу. При ветре пламя будет отклонено под углом α к оси трубы (рис. 1.9а,б), $\text{tg } \alpha$ при скорости ветра $u_b = 10 \text{ м/с}$ находится по формуле (1.19):

$$\text{tg } \alpha = 10 / 61,7 = 0,162,$$

тогда угол α равен: $\alpha = \arctg 0,162 = 9,2020^\circ$, отсюда $\sin \alpha = 0,160$ и $\cos \alpha = 0,987$.

13. Расстояние от основания факельной трубы до безопасной зоны в *присутствии ветра* l_2 определяется по формуле (1.20). Расстояние от центра пламени до основания факельной трубы l_1 определяется по формуле (1.15)

$$l_1 = \sqrt{64,2 \cdot (64,2 + 106,9)} = 104,8 \text{ м},$$

составляющие формулы (1.20):

$$(l_1 - H)\cos \alpha = (104,8 - 64,2) 0,987 = 40,1 \text{ м}$$

$$(l_1 - H)\sin \alpha = (104,8 - 64,2) 0,160 = 6,5 \text{ м}$$

$$l_2 = \{193,3^2 - (64,2 + 40,1)^2\}^{0,5} + 6,5 = 169,2 \text{ м}$$

Вывод: таким образом, оборудование, требующее постоянного внимания со стороны обслуживающего персонала, должно располагаться за пределами зоны радиусом 169,2 м.

Варианты контрольных заданий представлены в табл.1.4.

Варианты заданий № 1

Определить размеры факельной трубы для разгрузки предохранительных клапанов при следующих исходных данных: давление газа в сбросной трубе (Р) кПа; температура окружающего воздуха (t) °С; расход сбросного газа (углеводороды с молекулярной массой 36,5 кг/моль и водяной пар) G кг/ч или G' кмоль/ч; при средней удельной теплоемкости при постоянном объеме c_v и средней удельной теплоемкости при постоянном давлении c_p :

Газ	C_v	C_p	размерность
углеводороды	41,6	54,4	кДж/мольК
водяной пар	25,0	33,3	кДж/мольК

Таблица 1.4 - Варианты контрольных заданий

Но мер	Р, кПа	С	Углеводороды		Водяной пар	
			G, кг/ч	G', кмоль/ч	G, кг/ч	G', кмоль/ч
1	100	20	181800	—	16000	—
2	100	20	—	4890,4	—	1072,2
3	100	20	176100	—	21700	
4	100	20	-	4756,2	-	1344,4
5	100	20	169900	—	27900	—
6	100	20	—	4049,3	—	1144,4

Продолжение таблицы 1.4.

7	100	20	156400	—	21800	—
8	100	20	—	3813,7	—	1077,8
9	100	20	165000	—	23000	—
10	100	21	100000		20000	
11	100	21	—	1200	—	200
12	120	25	80000	—	15000	—
13	100	30	170000	—	18000	—
14	100	30	—	4000	—	1600
15	115	21	180000		10000	
16	100	21	—	4200	—	1400
17	100	21	—	4300	—	1300
18	100	30	—	4400	—	1200
19	100	21	164000	—	20000	—
20	105	30	—	4500	—	1150
21	100	25	—	4000	—	1600
22	100	21	—	4200	—	1400
23	110	30	—	4300	—	1300
24	100	25	—	4200	—	1300
25	100	25	175000	—	15000	—
26	115	25	155000	—	30000	—
27	110	25	—	4400	—	1200
28	95	21	170000	—	15000	—
29	100	25	180000	—	30000	—

Продолжение таблицы 1.4.

30	100	20	130601	—	18200	—
31	100	35	—	4756,2	—	1344,4
32	100	25	173600	—	24200	
33	100	15	—	4756,2	—	1344,4
34	100	5	173600	—	24200	—
35	100	0	—	4756,2	—	1344,4
36	100	-5	173600	—	24200	—
37	100	-15	173601	—	24199	—
38	100	-25	—	4756,2	—	1344,4
39	100	-35	173601	—	24199	—
40	105	20	—	4756,2	—	1344,4
41	110	20	173601	—	24199	—
42	115	20	173600	—	24200	—
43	120	20	173601	—	24199	—
44	100	-10	—	4756,2	—	1344,4
45	120	-20	173600	—	24200	—
46	120	-30	173601	—	24199	—
47	120	30	—	4980,8	—	888,9
48	110	30	—	4824,7	—	1205,6
49	100	35	169900	—	27900	—
50	95	35	181800	—	16000	—

1.5. Выбросы из одиночного источника

Предприятия химической и нефтехимической промышленности в различных технологических процессах выбрасывают в атмосферу значительное количество газов и пыли. Например, при хранении и переработке сернистых нефтей вместе с углеводородами выбрасывается и сероводород. Заводы по производству технического углерода выбрасывают в воздух мелкодисперсную сажу. Пыль выделяется в процессах, связанных с применением твердых катализаторов, при размоле, просеивании, транспортировке пылящих веществ и других операциях.

Выбрасываемые в атмосферу предприятиями нефтехимии оксид углерода, оксиды азота и сероводород оказывают негативное влияние на окружающую среду. Например, диоксид серы способен в атмосферном воздухе окисляться до триоксида серы, который при взаимодействии с атмосферной водой образует серную кислоту, являющейся причиной “кислотных” дождей.

Выбросы сажи и пыли в атмосферу являются причиной раздражающего действия на кожные покровы и слизистые оболочки верхних дыхательных путей и препятствуют естественным процессам самоочищения атмосферы, снижают прозрачность атмосферы, в том числе для ультрафиолетовой радиации, обладающей бактерицидными свойствами.

Санитарно-эпидемиологическими органами установлены нормы предельно допустимые концентрации (ПДК) различных веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Различают несколько видов ПДК – максимально разовую, рабочей зоны и среднесуточную.

Максимально разовая ПДК вредных веществ (ПДК МР) – это такая концентрация вредных веществ, которая в течение 30 минут не приводит к превышению ПДК среднесуточного в жилом массиве. ПДК рабочей зоны – это такая концентрация вредных веществ в рабочей зоне, которая при восьмичасовом рабочем дне и не более 41 часа в неделю не оказывает вредного воздействия на организм и здоровье работающего и последующего

поколения. ПДК среднесуточная (ПДК СС) – это такая концентрация вредных веществ в атмосфере жилого массива, которая не приводит к вредному влиянию на здоровье человека и его последующего поколения. ПДК СС иногда называют ПДК атмосферного воздуха. Все показатели ПДК определяются современными медицинскими методиками. Ниже приведены ПДК некоторых веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов (мг/м^3):

	ПДК МР	ПДК СС
Диоксид серы	0,5	0,05
Диоксид азота	0,085	0,085
Оксид углерода	3,0	1,0
Сероводород	0,008	0,008
Бензин (малосернистый в пересчете на С)	5,0	1,5
Бензол	1,5	0,8
Толуол	0,6	0,6
Ксилол	0,2	0,2
Пыль нетоксичная	0,5	0,1
Сажа	0,15	0,05

Наибольший вклад в загрязнение атмосферы вносят выбросы углеводородов. Сложность технологической очистки от таких выбросов обуславливается большим количеством источников, рассредоточенных на большой территории.

Негативное влияние выбросов оксидов углерода и азота можно устранить внедрением современных технологических приемов сгорания топлива и предварительной подготовкой сырья и сжигаемого топлива с целью извлечения нежелательных компонентов, оказывающих негативное влияние на окружающую среду.

Степень загрязнения атмосферного воздуха также зависит от высоты выброса. При ветровом потоке воздуха, направленном на здание, над крышей и за зданием создается область пониженного давления, называемая зоной аэродинамической тени.

Внутри этой зоны возникает циркуляция воздуха, в результате в зону вовлекаются пыль и газовые сбросы. Поэтому все организованные выбросы должны направляться выше этой зоны. При этом приземные концентрации вредных веществ могут быть уменьшены до 6 раз.

Расчет выброса из одиночного источника

Методика расчета основана на определении концентрации вредных веществ в приземном слое воздуха. Концентрация вредных веществ зависит от метеорологических условий: скорости и направления ветра, температурной стратификации атмосферы, определяющей условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных веществ и характеризующейся коэффициентом A , имеющим различные значения для разных районов страны.

Величина максимальной приземной концентрации вредных веществ C_M для выброса нагретой газовой смеси из одиночного источника с круглым устьем при неблагоприятных метеорологических условиях на расстоянии l_M от источника определяется по формуле

$$C_M = \frac{A \cdot G_c \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{G' \cdot \Delta t}}, \quad (1.21)$$

где A – коэффициент, определяющий условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе, $c^{2/3} \cdot \text{мг} (^{\circ}\text{C})^{1/3}/\text{г}$; G_c – количество вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу, г/с ; F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе; m и n – безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса; H – высота источника выброса над уровнем земли; Δt – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси t_r и температурой окружающего атмосферного воздуха t_b , $^{\circ}\text{C}$; G' – объем газовой смеси, $\text{м}^3/\text{с}$;

Объем газовойоздушной смеси вычисляется по формуле

$$G' = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot u \quad , \quad (1.22)$$

где D – диаметр источника выброса, м; u – средняя скорость выхода газовойоздушной смеси из устья источника выброса, м/с.

Коэффициент A принимается равным: для субтропической зоны Средней Азии (лежащей южнее 40° с.ш) – 240; для Казахстана и остальных государств Средней Азии, Нижнего Поволжья, Кавказа, Молдавии, Сибири, Дальнего Востока – 200; для Севера и Северо-Запада европейской части России, Среднего Поволжья, Урала, государств Балтии, Белоруссии и Украины – 160; для Центральной европейской части России – 120.

Величины G_C и G' должны определяться расчетом в технологической части проекта или приниматься в соответствии с действующими для данного производства нормативами.

Величину Δt ($^\circ\text{C}$) следует определять, принимая температуру окружающего атмосферного воздуха t_b средней температурой наружного воздуха в 13 ч самого жаркого месяца года по соответствующей главе СНиП “Строительная климатология и геофизика”, а температуру t_r – по действующим для данного производства технологическим нормативам.

Величина F для различных веществ принимается равной: для газообразных веществ (SO_2 , CS_2 и т.п.) и мелкодисперсных аэрозолей (скорость упорядоченного оседания которых практически равна нулю) – 1; для пыли и золы, если средний коэффициент очистки не менее 90 % - 2; от 75 до 90 % - 2,5 и менее 75 % - 3.

Коэффициент m определяется по формуле:

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}} \quad , \quad (1.23)$$

$$\text{где} \quad f = 1 \cdot 10^3 \frac{u^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta t} \quad . \quad (1.24)$$

Коэффициент n находится в зависимости от параметра v_M :

$$\text{при } v_M \leq 0,3 \quad n = 3, \quad (1.25)$$

$$\text{при } 0,3 < v_M \leq 2 \quad n = 3 - \sqrt{(v_M - 0,3)(4,36 - v_M)}, \quad (1.26)$$

$$\text{при } v_M > 2 \quad n = 1, \quad (1.27)$$

$$\text{где } v_M = 0,65 \cdot \sqrt[3]{G' \cdot \Delta t / H}. \quad (1.28)$$

Величину l_M вычисляют по формуле

$$l_M = \zeta \cdot H, \quad (1.29)$$

где ζ – безразмерная величина, определяемая из следующих формул:

$$\text{при } v_M \leq 2 \quad \zeta = 4,95 \cdot v_M \cdot (1 + 0,28 \sqrt[3]{f}), \quad (1.30)$$

$$\text{при } v_M > 2 \quad \zeta = 7 \cdot \sqrt{v_M} \cdot (1 + 0,28 \sqrt[3]{f}). \quad (1.31)$$

Если коэффициент $F \geq 2$, величину l_M вычисляют по формуле:

$$l_M = \frac{5 - F}{4} \cdot \zeta \cdot H. \quad (1.32)$$

Опасная скорость ветра u_M (м/с) на уровне флюгера (обычно 10 м от уровня земли), при которой имеет место наибольшее значение приземной концентрации вредных веществ в атмосфере C_M , должна приниматься равной

$$\text{при } v_M \leq 0,5 \quad u_M = 0,5, \quad (1.33)$$

$$\text{при } 0,5 < v_M \leq 2 \quad u_M = v_M, \quad (1.34)$$

$$\text{при } v_M > 2 \quad u_M = v_M (1 + 0,12 \sqrt{f}) \quad (1.35)$$

Максимальную приземную концентрацию вредного вещества C_{MU} (мг/м³) при неблагоприятных метеоусловиях и скорости ветра u (м/с), отличающейся от опасной скорости ветра u_M , определяют по формуле

$$C_{MU} = r \cdot C_M, \quad (1.36)$$

где r -безразмерная величина, определяемая в зависимости от соотношения u/u_M по следующим формулам:

$$\text{при } \frac{u}{u_M} \leq 1 \quad r = 0,67 \cdot \left(\frac{u}{u_M} \right) + 1,67 \cdot \left(\frac{u}{u_M} \right)^2 - 1,34 \cdot \left(\frac{u}{u_M} \right)^3, \quad (1.37)$$

$$\text{при } \frac{u}{u_M} > 1 \quad r = \frac{3 \cdot (u/u_M)}{2 \cdot (u/u_M)^2 - (u/u_M) + 2}. \quad (1.38)$$

Расстояние от источника выброса l_{MU} (м), на котором приземная концентрация вредных веществ достигнет максимального значения C_{MU} , мг/м³, находят из соотношения

$$l_{MU} = p \cdot l_M \quad (1.39)$$

$$\text{где при } u/u_M \leq 0,25 \quad p=3 \quad (1.40)$$

$$\text{при } 0,25 < u/u_M \leq 1 \quad p=8,43(1 - u/u_M)^5 + 1, \quad (1.41)$$

$$\text{при } u/u_M > 1 \quad p=0,32(u/u_M) + 0,68. \quad (1.42)$$

Величина наибольшей приземной концентрации каждого вредного вещества C_M в приземном слое атмосферы не должна превышать величины максимальной разовой ПДК, установленной “Санитарными нормами проектирования предприятий”, т.е. $C_M \leq ПДК$.

Выбросы сернистого ангидрида из дымовых труб печей технологических установок и ТЭЦ при использовании в качест-

ве топлива сернистого мазута и неочищенного топливного газа – главный источник загрязнения атмосферы. Наиболее сильно атмосферный воздух загрязняется в зимний период. Это происходит в результате увеличения количества сжигаемого топлива. К числу мероприятий, позволяющих уменьшить загрязнение атмосферы сернистым ангидридом, относятся:

- увеличение высоты дымовых труб;
- снижение содержания серы в котельном топливе;
- замена жидкого котельного топлива газом топливным или природным;
- осуществление очистки дымовых газов от сернистого ангидрида.

Опыт расчета загрязнения сернистым ангидридом воздушного бассейна для ряда нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) показывает, что величина максимальной приземистой концентрации сернистого ангидрида (C_m) для каждой установки не должна 0.02- 0.03 мг/м³. В этом случае в приземном слое воздуха близлежащих от НПЗ районов суммарная концентрация сернистого ангидрида от выбросов всех установок не будет превышать ПДК. Перспективным является строительство общей дымовой трубы большой высоты для нескольких рядом стоящих установок.

Пример решения задачи

Задание: Определить зависимость величины максимальной приземной концентрации диоксида серы, выбрасываемого из дымовой трубы ТЭЦ, сжигающей сернистый мазут, от диаметра трубы.

Исходные данные:

- количество сжигаемого мазута $G_m = 90000$ кг/ч;
- содержание серы в мазуте 2% мас.;
- место нахождения ТЭЦ — район Крайнего Севера европейской части РФ;
- высота дымовой трубы $H = 100$ м;

диаметр трубы $D = 4$ м (1), 4,5 м (2), 5.5 м (3);
средняя скорость дымовых газов $u = 15$ м;
температура дымовых газов $t_r = 300$ °C;
температура воздуха $t_b = 30$ °C.

Решение:

1. При сжигании 1 кг серы образуется 2 кг SO_2 (исходя из уравнения реакции). Количество вредного вещества (диоксида серы), выбрасываемого в атмосферу определяется следующим образом:

$$G_c = 90000000 (0.02 \cdot 2) / 3600 = 1000 \text{ г/с}$$

2. Коэффициент A , определяющий условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе, принимаем исходя из района Крайнего Севера европейской части РФ равным 160.

3. Объем газозооушной смеси определяется по формуле (1.22). Поскольку в исходных данных дается три значения диаметра D , находим три значения объема (G'_1, G'_2, G'_3):

$$G'_1 = (3,14 \cdot 4^2 / 4) \cdot 15 = 188,4 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$G'_2 = (3,14 \cdot 4,5^2 / 4) \cdot 15 = 238,4 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$G'_3 = (3,14 \cdot 5,5^2 / 4) \cdot 15 = 356,2 \text{ м}^3/\text{с}$$

4. Параметр f определяется по формуле (1.24):

$$f_1 = 1 \cdot 10^3 \frac{15^2 \cdot 4}{100^2 \cdot (300 - 30)} = 0,333$$

$$f_2 = 1 \cdot 10^3 \frac{15^2 \cdot 4,5}{100^2 \cdot (300 - 30)} = 0,375$$

$$f_3 = 1 \cdot 10^3 \frac{15^2 \cdot 5,5}{100^2 \cdot (300 - 30)} = 0,458$$

5. Безразмерный коэффициент m , учитывающий условия выхода газовой смеси из устья источника выброса, определяется по формуле (1.23):

$$m_1 = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,333} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,333}} = 1,038$$

$$m_2 = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,375} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,375}} = 1,024$$

$$m_3 = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,458} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,458}} = 1,000$$

6. Параметр v_m определяется по формуле (1.28):

$$v_{m1} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{188,4 \cdot (300 - 30)/100} = 5,19$$

$$v_{m2} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{238,4 \cdot (300 - 30)/100} = 5,61$$

$$v_{m3} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{356,2 \cdot (300 - 30)/100} = 6,42$$

7. Безразмерный коэффициент n , учитывающий условия выхода газовой смеси из устья источника выброса, находится в зависимости от параметра v_m по формуле (1.27). Так как v_{m1} , v_{m2} и v_{m3} больше 1, n_1 , n_2 и n_3 принимаем равным 1.

8. Безразмерная величина ζ определяется по формуле (1.31):

$$\zeta_1 = 7 \cdot \sqrt{5,19} \cdot (1 + 0,28 \sqrt[3]{0,333}) = 19,04$$

$$\zeta_2 = 7 \cdot \sqrt{5,61} \cdot (1 + 0,28 \sqrt[3]{0,375}) = 19,93$$

$$\zeta_3 = 7 \cdot \sqrt{6,42} \cdot (1 + 0,28 \sqrt[3]{0,458}) = 21,56$$

9. Величина l_m зависит от коэффициента F , учитывающего скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе. Величина F для газообразного SO_2 принимается равной 1 и значение l_m вычисляется по формуле (1.29):

$$l_{m1} = 19,04 \cdot 100 = 1904 \text{ м}$$

$$l_{m2} = 19,93 \cdot 100 = 1993 \text{ м}$$

$$l_{m3} = 21,56 \cdot 100 = 2156 \text{ м}$$

10. Величина опасной скорости ветра u_m (м/с) на уровне флюгера (обычно 10 м от уровня земли), при которой имеет место наибольшее значение приземной концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе C_m , зависит от параметра v_m . В данном случае $v_m > 2$, поэтому величина u_m находится по формуле (1.35):

$$u_{m1} = 5,19 \cdot (1 + 0,12 \sqrt{0,333}) = 5,55 \text{ м/с}$$

$$u_{m2} = 5,61 \cdot (1 + 0,12 \sqrt{0,375}) = 6,02 \text{ м/с}$$

$$u_{m3} = 6,42 \cdot (1 + 0,12 \sqrt{0,458}) = 6,94 \text{ м/с}$$

11. Величина максимальной приземной концентрации вредных веществ (в данном случае SO_2) C_m для выброса нагретой газовой воздушной смеси из одиночного источника с круглым устьем при неблагоприятных метеорологических условиях на расстоянии l_m от источника определяется по формуле (1.21).

При $l_m = 1904 \text{ м}$

$$C_{m1} = \frac{160 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot 1,038 \cdot 1}{100^2 \cdot \sqrt[3]{188,4 \cdot (300 - 30)}} = 0,4482 \text{ мг/м}^3.$$

При $l_m = 1993$ м

$$C_{m2} = \frac{160 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot 1,024 \cdot 1}{100^2 \cdot \sqrt[3]{238,4 \cdot (300 - 30)}} = 0,4088 \text{ мг/м}^3.$$

При $l_m = 2156$ м

$$C_{m3} = \frac{160 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot 1,000 \cdot 1}{100^2 \cdot \sqrt[3]{356,4 \cdot (300 - 30)}} = 0,3492 \text{ мг/м}^3.$$

Вывод: полученные величины C_m не превышают максимальную разовую ПДК = 0,5 мг/м³, следовательно, дымовая труба с указанными параметрами работы и размерами соответствует предъявляемым требованиям.

Варианты контрольных заданий представлены в табл.1.5.

Варианты заданий № 2

Определить зависимость величины максимальной приземной концентрации диоксида серы, выбрасываемого из дымовой трубы ТЭЦ, сжигающей сернистый мазут, от диаметра трубы.

Исходные данные: количество сжигаемого мазута G_m кг/ч; содержание серы в мазуте x % масс.; место нахождения ТЭЦ (район по варианту); высота дымовой трубы H м; диаметр трубы D м; средняя скорость дымовых газов u м/с; температура дымовых газов t_r °С; температура воздуха t_B °С.

Таблица 1.5. – Варианты расчетных контрольных заданий

Но- мер	G_m , кг/ч	x , %масс.	Место	H , м	D , м	u , м/с	t_r , °С	t_B , °С
1	90 000	2,0	Север европейкой части РФ	100	4,0 4,5 5,5	15	300	30
2	120 000	2,5	Урал	90 100 110	6,0	15	300	30

Продолжение таблицы 1.5

3	100 000	1,8	г.Казань	90 95 105	6,0	15	300	30
4	100 000	2,0	Западная Сибирь	100	3,0 4,5 6,0	18	300	30
5	90 000	2,3	Сахалин	100	5,0	15 20 25	300	0
6	90 000	2,0	Ямало-Ненец- кий АО	100	5,0	15 20 25	250	- 20
7	130 000	2,0	Урал	100	5,0	10 20 30	300	30
8	90 000	2,0	Урал	110 115 120	5,0	15	300	30
9	150 000	2,0	г. Москва	90 110 130	6,0	15	300	10
10	90 000	2,0	г. Сургут	100	5,0	10 15 25	300	15
11	90 000	2,0	г.Нижнекамск	100	5,0	15	200 250 350	35
12	90 000	2,0	г. Казань	100	5,0	15	300	22 27 32
13	150 000	2,0	г. Уфа	105 115 125	5,0	15	300	30
14	90 000	2,0	г. Нижний Тагил	100	3,5 5,5 7,5	15	300	30
15	90 000	2,0	г.Альметьевск	100	5,0		300	30

Продолжение таблицы 1.5

16	150 000	2,0	г. Уренгой	100	5,0	15	200 250 350	0
17	90 000	2,0	г. Казань	100	5,0	15	300	20 25 35
18	150 000	2,0	г. Красноярск	90 100 110	6,0	15	300	30
19	90 000	2,0	г. Москва	105	4,0 5,0 6,0	15	300	30
20	100 000	2,5	г. Тюмень	110	5,0	10 15 25	300	30
21	150 000	2,0	г. Москва	100	5,0	15	200 250 350	35
22	90 000	2,0	г. Кременчуг	100	5,0	15	250	20 25 35
23	150 000	2,0	г. Владикавказ	90 100 110	4,0	15	300	30
24	100 000	1,5	г. Астрахань	95	4,0 5,0 6,0	15	300	30
25	90 000	2,2	Урала	110	7,0	10 15 25	300	30
26	150 000	2,0	г. Казань	90	5,0	15	200 250 350	30
27	90 000	2,0	г. Нижнекамск	100	5,0	15	400	20 25 35

Продолжение таблицы 1.5

28	150 000	2,0	г. Наб.Челны	95 105 115	7,0	15	300	30
29	90 000	2,3	г. Астрахань	110	4,0 5,0 6,0	15	300	30
30	150 000	2,0	г. Москва	90	6	15	300	-25 0 20
31	150 000	2,0	г. Москва	90	6	15	300	30 35 40
32	150 000	2,0	г. Москва	90	4 5 6	15	300	30
33	150 000	2,0	г. Москва	90	6	10 20 30	300	30
34	90 000	2,0	г. Москва	105	4	10 20 30	300	40
35	120 000	2,0	г. Москва	105 115 125	4	15	300	40
36	120 000	2,0	г. Казань	130	5	20 30 40	350	43
37	120 000	2,0	г. Казань	130	5 6 7	20	350	43
38	90 000	2,0	г. Казань	130	5	20 30 40	350	43
39	150 000	2,0	г. Казань	90 110 130	5	15	250	30

Продолжение таблицы 1.5

40	150 000	2,0	г. Казань	90	5 6 7	15	250	30
41	150 000	2,0	г. Казань	90	5	15 25 35	250	30
42	150 000	2,0	г. Казань	90	5	35	250	30 35 40
43	120 000	2,0	г. Астрахань	120	7	10 20 30	350	45
44	120 000	2,0	г. Астрахань	120	7	20	350	-5 5 15
45	120 000	2,0	г. Астрахань	120	6	10	350	10 20 30
46	100 000	2,0	г. Астрахань	110 120 130	4	15	300	30
47	90 000	2,0	г. Астрахань	115 120 125	4	15	300	30
48	100 000	2,0	г. Сургут	100	5	15 25 35	300	15
49	110 000	2,0	г. Сургут	100	5	35	300	-15 -5 5
50	110 000	2,0	г. Сургут	100	5 6 7	20	300	20

2. ЭЛЕМЕНТЫ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

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

При проектировании канализационных очистных сооружений необходимо учитывать состав и свойства производственных сточных вод, нормы водоотведения на единицу продукции, условия выпуска производственных стоков в канализацию и водоемы, а также необходимую степень их очистки.

2.1. Классификация сточных вод

Производственные сточные воды можно классифицировать по следующим показателям:

Первый показатель – по их физическим свойствам, например *по температуре кипения*:

- кипящие ниже 120°C,
- кипящие 120-250°C,
- кипящие выше 250°C.

Второй показатель – *по степени агрессивности* сточных вод:

- *слабоагрессивные* (слабокислые – pH 6-6.5, слабощелочные – pH 8-9),
- *сильноагрессивные* (сильнокислые – pH меньше 6, сильнощелочные pH выше 9),
- *неагрессивные* (pH 6.5- 8).

Третий показатель – *по содержанию загрязняющих веществ*:

- *слабоконцентрированные* (1-500 мг/л и 500-5000 мг/л),
- *высококонцентрированные* (5000-30000 мг/л и более $3 \cdot 10^5$ мг/л).

Четвертый показатель – *по составу* сточные воды предприятий можно подразделить:

- *промышленные*
- *условно-чистые*
- *хозяйственно-бытовые* (сточные воды от санитарных узлов производственных и непроизводственных корпусов и зданий, от душевых установок, имеющих на территории промышленных предприятий).
- *ливневые* (атмосферные – дождевые и образующиеся от таяния снега).

Промышленные сточные воды – это чрезвычайно сложные многокомпонентные растворы, содержащие растворимые и нерастворимые вещества, агрессивные, токсичные, пожаро- и взрывоопасные соединения.

Условно-чистые воды – *сточные воды*, которые не контактировали с химическими продуктами, сточные воды поступающие от холодильных, теплообменных аппаратов. Однако в случае нарушения герметичности оборудования эти стоки могут оказаться химически загрязненными.

Любой сброс промышленных сточных вод в водоемы нарушает водопотребление (применение воды для питьевых нужд) и ухудшает водопользование (использование воды для купания, полива и других потребностей). Неочищенные сточные воды также нарушают биологическое равновесие водоема.

Сбрасываемые нефтеперерабатывающими предприятиями органические вещества под действием микроорганизмов окисляются до оксида углерода и воды. Проявляется способность самоочищения водоема, при этом расходуется кислород, содержащийся в воде водоема и поступающий туда из атмосферы.

Количество кислорода в мг O_2 на 1 л (мг/л), которое поглощают в процессе окисления органические вещества за определенный промежуток времени, называется биологической по-

требностью в кислороде (БПК). Различают БПК пятидневный (БПК₅), БПК двадцатидневный (БПК₂₀), БПК полный, когда вещество окисляется полностью (БПК_{полн}). Сточные воды нефтеперерабатывающих предприятий до очистки имеют БПК_{полн} 250-450 мг/л, в то время как по санитарным нормам этот показатель в воде водоема должен составлять 3-6 мг/л. При сбросе неочищенных сточных вод концентрация имеющегося в водоеме кислорода может резко снизиться (либо он израсходуется полностью), что вызывает гибель планктона, бентоса, рыб и других организмов, потребляющих растворенный в воде кислород.

Нефтепродукты могут покрывать поверхность водоема пленкой, которая нарушает процесс поглощения водой кислорода из атмосферы и приводит к гибели живого мира водоема. Около 40% нефти, попавшей в водоем, оседает в виде донных отложений, очень стойких к самоочищению. Взвешенные в воде минеральные частицы наносят повреждения рыбам, некоторые водные организмы обволакиваются этими частицами и теряют способность к передвижению и погибают. Соли неорганических кислот нарушают биохимические процессы в водоеме.

Поверхностно-активные вещества придают воде неприятный вкус и запах, дают стойкую пену, препятствующую аэрации водоема. Вода, содержащая всего 0,001 мг/л фенола, становится непригодной для питья.

Таким образом, возникает необходимость очистки сточных вод нефтеперерабатывающих предприятий до такой степени, чтобы после смешения их с водой водоема не были превышены нормативные требования, обеспечивающие нормальную жизнь в водоеме.

2.2. Системы канализации нефтеперерабатывающего предприятия

Правильность решения вопросов отведения и очистки сточных вод предприятия, то есть их канализации, имеет боль-

шое значение в предотвращении ущерба, который может быть нанесен окружающей среде.

На нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) предусматриваются:

- *первая система производственно-ливневой канализации* предназначена для отведения и очистки производственных и ливневых нейтральных сточных вод, загрязненных основными нефтепродуктами, механическими примесями и различными растворенными в воде органическими веществами;

- *вторая система промышленной канализации* для отведения и последующей очистки эмульсионных и химзагрязненных сточных вод, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, реагентами, солями и другими органическими и неорганическими веществами;

- *ливневая канализация* для отведения и последующей очистки ливневых, талых вод с дорог, незастроенных территорий и крыш зданий, расположенных вне установок;

- *хозяйственно-фекальная канализация* для отведения и последующей очистки этого вида стоков.

Первая система канализации состоит из одной канализационной самотечной сети для сбора и отведения на очистные сооружения сточных вод:

- от охлаждения сальников насосов,
- от промывки лотков и полов производственных помещений,
- нефтесодержащие стоки от промывки и пропарки аппаратуры,
- от конденсаторов смешения и скрубберов отдельных установок,
- подтоварная вода из товарных резервуаров,
- технологические конденсаты с технологических установок,
- ливневых вод с площадок технологических установок и резервуарных парков.

Сточные воды *первой системы* ($pH = 7,8 \div 8,6$) содержат (в мг/л):

- | | |
|-----------------------|-------------|
| • нефтепродукты | ≤ 5000 |
| • соли общие | ≤ 1500 |
| • взвешенные вещества | ≤ 100 |
| • аммонийный азот | ≤ 30 |
| • БПК _{пол.} | 250 – 450 |
| • ХПК | 400 – 550 |

Вторая система промышленной канализации состоит из отдельных сетей для каждого вида стока от установок и объектов общезаводского хозяйства до сооружений локальной очистки или до общезаводских очистных сооружений. Система включает следующие сети вывода стоков с различными загрязнениями:

- сеть стоков электрообезвоживающих установок (ЭЛОУ) для отведения сточных вод от установок или секций установок по подготовке (обессоливания) нефти, подтоварной воды от сырьевых, солевых резервуаров, битумных установок;

- сеть для концентрированных сернисто-щелочных стоков, в которую подается отработанная щелочь из технологических процессов;

- сеть для кислых сточных вод, отводимых с установок производства серной кислоты, сернокислотных стоков от очистки НП;

- сеть для отведения кислых сточных вод, загрязненных парафином и жирными кислотами, от установок получения жирных синтетических и установок получения твердых парафинов;

- сеть для отведения стоков, содержащих тетраэтилсвинец, от установок этилирования бензинов;

- сеть для отведения технологических конденсатов с установок каталитического крекинга, контактного коксования.

В качестве примера приведены составы двух видов стоков этой системы канализации. Стоки ЭЛОУ ($pH = 7,5 \div 7,8$) содержат (в мг/л):

• нефтепродукты	≤ 10000
• соли общие	≤ 50000
• взвешенные вещества	≤ 1000
• поверхностно-активные вещества	80 – 100
• фенолы	15 – 20
• аммонийный азот	20 – 30
• БПК _{пол.}	250 – 450
• ХПК	400 – 550

Концентрированные сернисто-щелочные стоки, сбрасываемые с установок заводов, перерабатывающих сернистые и высокосернистые нефти, имеют (при концентрации 10 % и рН = 14) следующий расчетный состав (в мг/л):

• нефтепродукты	3000
• сера общая	35000
• сульфиды	26000
• общая щелочность (NaOH)	100000
• БПК _{пол.}	75000
• ХПК	85000

Биологическое обрастание

В промышленных водоемах и оборотных системах водоснабжения, канализации существуют различные виды бактерий, жизнедеятельность которых приводит к биологическому обрастанию трубопроводов и зарастанию водоемов водорослями. Источниками биологического обрастания могут быть:

- *интифицирующие бактерии* – могут быть двух видов: одни окисляют соли аммония в нитраты, другие переводят нитриты в нитраты.

- *железобактерии* – ассимилируют растворенные соли железа и выделяют его в виде гидроксида железа, вызывая тем са-

мым зарастание водопроводных труб и образование в них бугристых отложений.

- *сульфатовосстанавливающие бактерии*, которые одновременно окисляют органические соединения и восстанавливают сернистые соединения до сероводорода, часто вызывая коррозию наружной, а иногда и внутритрубной поверхности уложенных в грунт водопроводных труб, а также загрязнение воды. Они способны превращать элементарную серу, которая может содержаться в природной воде или образоваться при окислении сероводорода, в серную кислоту, способную в дальнейшем вызывать коррозию металлических и бетонных поверхностей сооружений. Для борьбы с ними используют: арсенат натрия (1-6 мг/л); гипс, хлораты, медный купорос.

Для очистки водоемов и водостоков от водорослей в воду вводят полиметаллические медьсодержащие рудные компоненты – медистый оксид цинка, содержащий ионы меди, Zn, Sn, Ag, Pb. Введение в воду 3-5 мг/л этих соединений снижает через 28 дней количество водорослей на 95-99%.

В промышленных водоемах и оборотных системах водоснабжения наиболее распространенным эффективным средством для устранения биологических обрастаний является обработка воды хлором и медным купоросом. Дозы 4-10 мг/л (с учетом хлорпоглощаемости воды) должны обеспечить остаточное содержание хлора 0.5-1 мг/л на выходе и последних точек сети водопровода. Для гибели насекомых, червей необходима доза 15-50 мг/л, для гибели железобактерий 3-4 мг/л. Если обрастания образуются микроорганизмами, для которых характерен быстрый темп роста, то период подачи хлора 5-15 мин с интервалом 45-55 мин.

Другие методы борьбы с биологическими обрастаниями:

- покрытие теплообменных поверхностей токсичными красками, битумами, которые наносят одним двумя слоями на внутреннюю поверхность трубопровода. Такие покрытия действуют 2-3 года, потом их обновляют.

- промывка водой со скоростью подачи воды 2,5 - 4 раза превышающей скорость обычной циркуляции воды
- механическая очистка путем транспортировки под давлением воды, пружинных ножей, скребков, деревянных или резиновых шаров.

2.3. Очистные сооружения

Канализационные сооружения химических предприятий можно подразделить:

- Сооружения для усреднения и механической очистки сточных вод (усреднители, решетки, песколовки, отстойники, фильтры);
- Сооружения для биологической очистки сточных вод (поля фильтрации, биологические пруды, аэротенки, циркулирующие окислительные каналы, биологические фильтры);
- Сооружения для механической и физико-химической очистки сточных вод. Основными методами механохимической очистки сточных вод являются нейтрализация и окисление, а физико-химической очистки – коагуляция, сорбция, флотация, ионный обмен;
- Сооружения для обработки осадков, полученных в процессе механической и биологической очистки сточных вод (метантенки, аэробная стабилизация, вертикальный и радиальный илоуплотнители, флотационный илоуплотнитель, вакуум-фильтрация, центрифугирование)

На НПЗ предусматриваются следующие комплексы очистных сооружений:

- Комплекс сооружений полной механической, биохимической очистки и доочистки стоков первой системы канализации, которые после очистки в полном объеме возвращаются на завод для пользования в системе производственного водоснабжения;
- Комплекс сооружений полной механической, биохимической очистки и доочистки смеси стоков второй системы кана-

лизации, которые после доочистки в полном объеме сбрасываются в водоем;

- Сооружения локальной очистки (стоков ЭЛОУ, сернисто-щелочных стоков, стоков от промывки нефтепродуктов после защелачивания, ливневых стоков);

- Комплекс сооружений механической и биохимической очистки хозяйственно-фекальных стоков;

- Комплекс сооружений по обезвреживанию уловленных нефтепродуктов;

- Комплекс сооружений по обезвреживанию и уничтожению нефтешламов, избыточных активных илов от биохимической очистки всех видов стоков.

На очистных сооружениях сточные воды очищают используя отстаивание, нейтрализацию, биологическую очистку и хлорирование перед сбросом в водоемы. Если промышленные сточные воды загрязнены легковоспламеняющимися веществами, то они направляются в отстойники с заполнением газового объема инертным газом (азотом). Для предотвращения коррозии внутренние поверхности стенок резервуаров футеруют кислотоупорным кирпичем или другими кислотостойкими материалами. Для перекачки кислых и содержащих вредные газы стоков сооружают насосные станции, оборудование которых располагают в машинном зале с учетом агрессивности сточных вод.

2.4. Сооружения механической очистки производственных сточных вод

Одним из основных видов загрязнений производственных вод являются нерастворимые минеральные и органические примеси, концентрация которых колеблется в широких пределах.

Для механической очистки сточных вод от нефтепродуктов (плавающих и эмульгированных) и взвешенных веществ, применяются процеживание, отстаивание и фильтрование. В зависимости от требований к качеству очищенной производственной сточной воды применяют различные очистные сооружения.

Механическая очистка, как правило, является в известной степени самым дешевым и предварительным способом очистки производственных сточных вод. Она обеспечивает удаление взвешенных веществ из бытовых сточных вод на 60-65%, а из некоторых производственных сточных вод на 90-95% и подготавливает сточные воды к физико-химической и биологической очисткам.

К сооружениям механической очистки относятся песколовки, резервуары-отстойники, нефтеловушки, пруды-отстойники, напорные полые и полочные отстойники. Для задержания крупных загрязнений и частично взвешенных веществ применяют процеживание воды через различные решетки и сита.

Для выделения из сточной воды взвешенных веществ, имеющих большую или меньшую плотность по отношению к плотности воды, используют отстаивание. При этом тяжелые частицы оседают, а легкие всплывают. Сооружения, в которых при отстаивании сточных вод выпадают тяжелые частицы, называются пескололками. Сооружения, в которых при отстаивании загрязненных промышленных вод всплывают более легкие частицы, называются в зависимости от всплывающих веществ жирололками, маслоуловителями, нефтеловушками, мазутоловками, бензололками и др.

Фильтрование применяют для задержания более мелких частиц. В фильтрах для этих целей используют фильтровальные материалы в виде тканей (сеток), слоя зернистого материала или химических материалов, имеющих определенную пористость. При прохождении сточных вод через фильтрующий материал на его поверхности или в поровом пространстве задерживается выделенная из сточной воды взвесь.

Механическую очистку как самостоятельный метод применяют тогда, когда осветленная вода после этого способа очистки может быть использована в технологических процессах производства или спущена в водоемы без нарушения их экологического состояния.

гического состояния. Во всех других случаях механическая очистка служит первой ступенью очистки сточных вод.

Стоки производственно-ливневой системы нефтеперерабатывающих заводов очищаются последовательно в песколовках, нефтеловушках, отстойниках дополнительного отстоя, флотационных установках или песчаных фильтрах.

2.4.1. Песколовки

Песколовки применяются для задержания тяжелых нерастворимых примесей, главным образом песка. Органические загрязнения с потоком воды должны поступать на последующие очистные сооружения. Принцип действия песколовки основан на изменении скорости движения твердых тяжелых частиц в потоке жидкости. Если кинетическая энергия струи в потоке велика, то частицы поддерживаются во взвешенном состоянии и медленно выпадают в осадок. При уменьшении скорости потока более тяжелые частицы опускаются на дно. Обычно песколовки рассчитывают на выпадение в осадок крупных механических примесей (мелкие не должны успевать осесть). В связи с этими требованиями в песколовках принимаются минимальные и максимальные скорости. Скорость движения сточных вод через песколовку должна составлять 0,15 – 0,3 м/с. При скорости более 0,3 м/с песок не будет успевать осаждаться, при скорости менее 0,15 м/с в песколовке будут осаждаться органические примеси, что крайне нежелательно.

В зависимости от направления и характера движения воды песколовки (рис.2.1) могут быть подразделены на:

- *горизонтальные* (жидкость движется в горизонтальном направлении, с прямолинейным или круговым движением воды);
- *вертикальные* (жидкость движется вертикально вверх);
- *с винтовым* (поступательно-вращательным) движением воды. В последних песколовках винтовое движение сточной воды может создаваться различными методами.

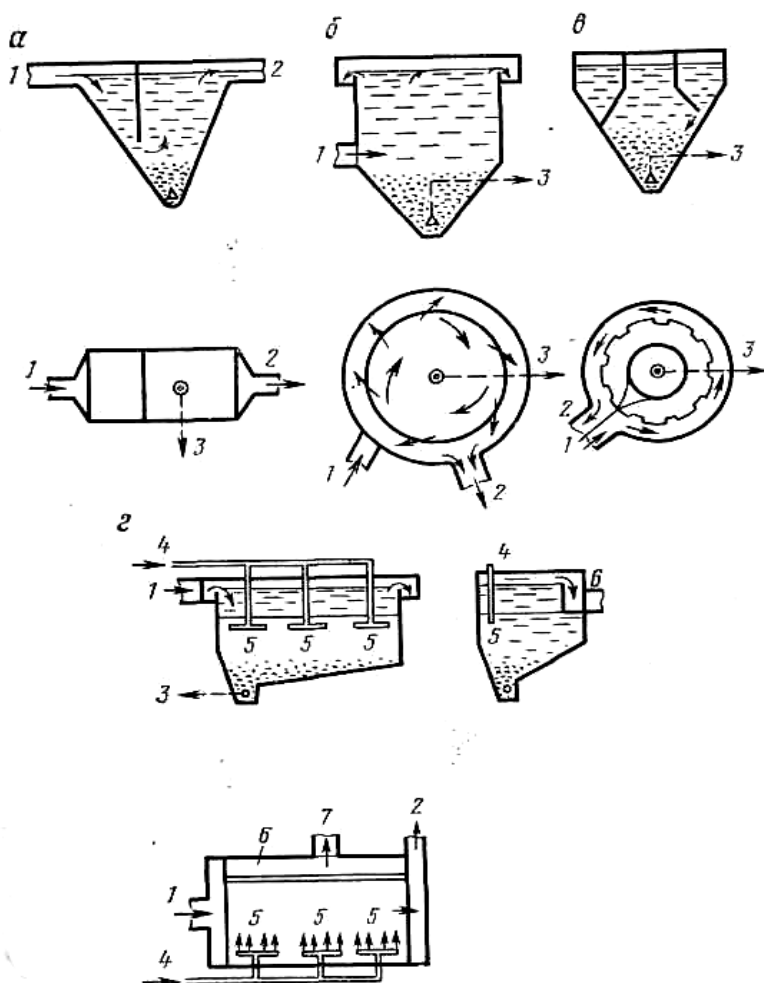


Рис. 2.1. Основные схемы песколовок:

- а — вертикальной, б и в — горизонтальных с круговым движением воды;
 г — аэрируемой; 1 — подача сточной воды; 2 — отвод воды;
 3 — удаление пульпы; 4 — воздуховод; 5 — воздухораспределители; 6 —
 сборник всплывающих веществ; 7 — отвод всплывающих средств

В зависимости от этого песколовки с винтовым движением сточной воды подразделяются на тангенциальные и аэрируемые.

Самая простейшая горизонтальная песколовка – щелевая (рис.2.2). Принцип ее работы основан на том, что песок канали-

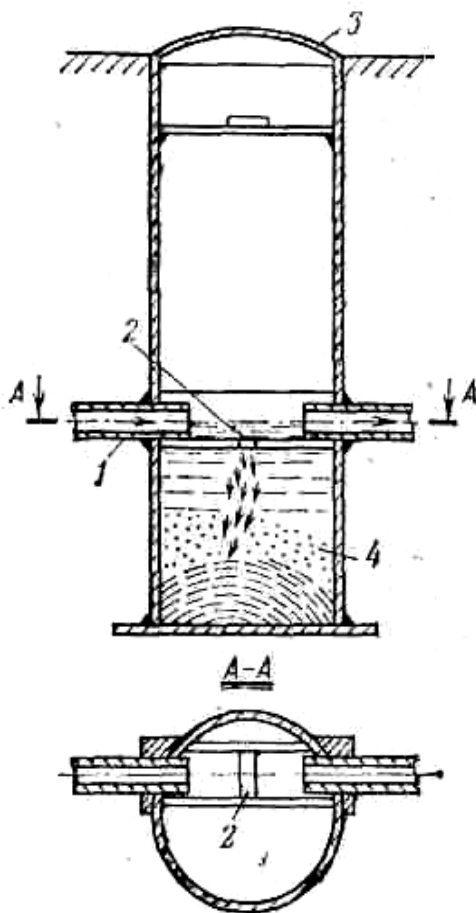


Рис. 2.2. Схема щелевой песколовки:
1 – труба; 2 – лоток со щелью;
3 – крышка; 4 – иловая часть

зационной сети продвигается в основном в нижней части коллектора и при небольшом уменьшении скорости потока более тяжелые частицы проваливаются вниз. Песколовки выполняют диаметром 1- 2 м. Ширина щелей в лотках 10—15 см, а длина 0,75 диаметра песколовки.

Горизонтальные песколовки с прямолинейным движением сточной воды. Они представляют собой удлиненные прямоугольные резервуары (рис.2.3). На входе в песколовку установлены решетки для задержания крупных механических примесей. Кроме решеток в начале и конце песколовки установлены деревянные шиберы для равномерного поступления воды и отключения песколовки. Дно песколовки выполнено под углом к центру сооружения для сбора и откачки

выпавшего осадка. На входе в песколовку установлены решетки для задержания крупных механических примесей. Кроме решеток в начале и конце песколовки установлены деревянные ши-

беры для равномерного поступления воды и отключения песколовки. Дно песколовки выполнено под углом к центру сооружения для сбора и откачки выпавшего осадка. Длина и ширина песколовки напрямую зависят от глубины проточной части, которая колеблется от 0,4 до 1,0 м, время пребывания 30–120 с. Песколовка предназначена для задержания минеральных частиц крупностью 0,15 мм и более.

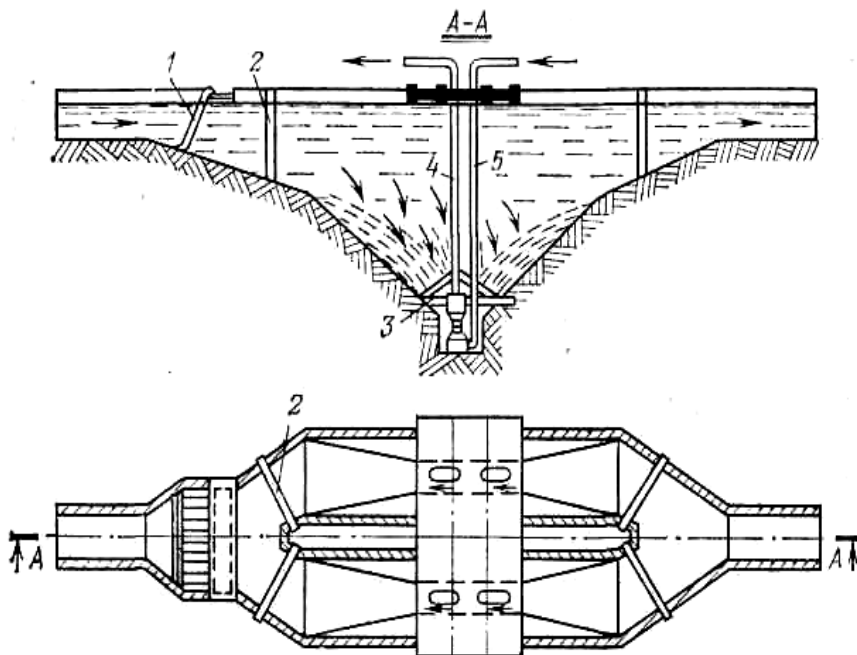


Рис.2.3. Схема горизонтальной песколовки:

- 1 — решетка; 2 — шибер; 3 — эжектор; 4 — пульпровод;
5 — напорный водопровод

При входе сточной воды в песколовку скорость ее течения замедляется. Песчинки под действием силы тяжести опускаются на дно. Существенным недостатком горизонтальных песколовки является то, что осадок в них располагается по всей площади дна. Песколовки оборудуются специальными скребковыми

механизмами, которые собирают песок в бункер для осадка. Большая часть осадка выпадает в начале песколовок, поэтому бункера располагают в начале песколовок. Осадок из бункера периодически удаляется.

Скорость течения воды в песколовке не должна превышать 0,3 м/с, так как при больших ее значениях происходит вынос песка из песколовок. Продолжительность пребывания сточной воды в песколовках – не менее 30 сек, так как уменьшение времени может привести к ухудшению эффективности работы песколовок по задержанию песка. Устройство песколовок из нескольких отделений позволяет поддерживать постоянные скорости течения сточной воды.

Эксплуатация этих песколовок показала, что они работают эффективно при выравнивании средних скоростей по длине песколовки. Это достигается применением одиночных плоских решеток у входного устройства, выполненных из деревянных стержней шириной 15 см с прозорами 6 см. Решетки, устанавливаемые на расстоянии 1,2 м от входа, для удобства эксплуатации свободно качаются в потоке и легко снимаются.

Горизонтальные песколовки с круговым движением сточной воды (рис.2.4).

Они предназначены для удаления песка из производственных сточных вод, имеющих нейтральную и слабощелочную реакцию. Сточная вода подводится к песколовкам и отводится от них лотками. Подводящий лоток располагается на уровне поверхности земли или насыпи высотой 1 - 5 м. Осадок из песколовок удаляют гидроэлеваторами. Имеется устройство для сбора нефти. Песколовки могут применяться после нейтрализаторов сернокислотных сточных вод в том случае, если выпадение нерастворимых примесей известкового молока и крупных кристаллических частиц гипса приводит к появлению тяжелых взвешенных частиц, отсутствующих в водах до нейтрализации.

Горизонтальные квадратные песколовки (рис.2.5) с механическим удалением и отмывкой песка. Песколовка представляет собой квадратный резервуар, в который через регулируемые

вертикальные выпуски поступает сточная вода. Из резервуара вода выходит через водослив со свободным изливом.

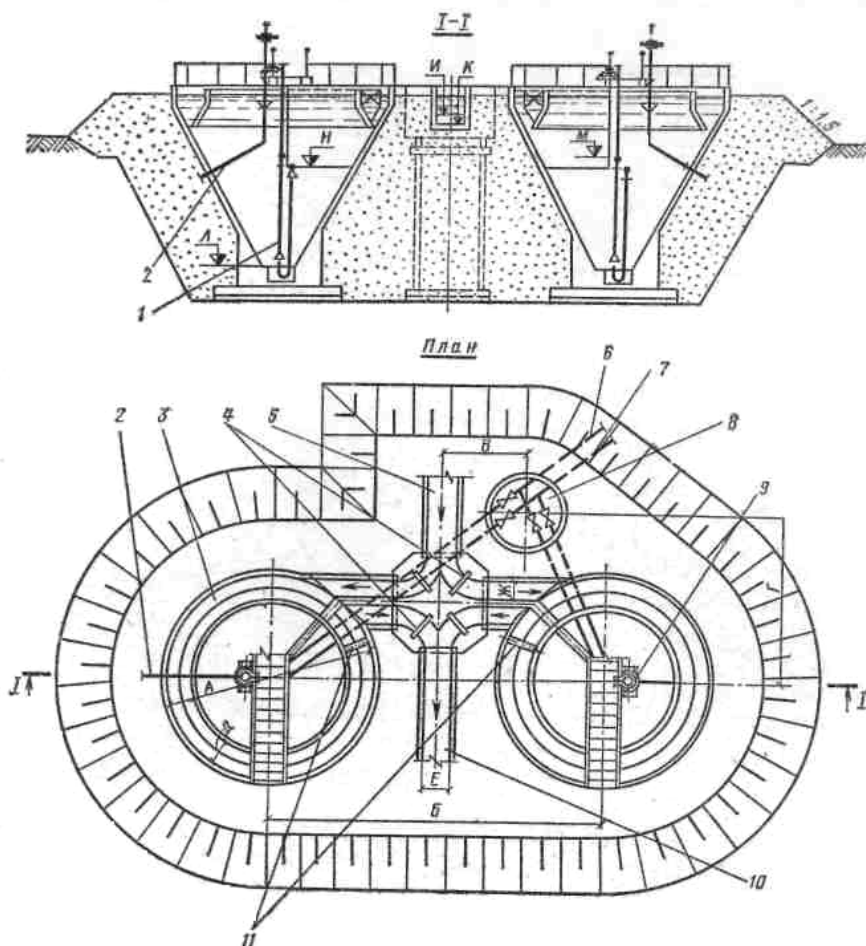


Рис. 2.4. Горизонтальные песколовки с круговым движением сточных вод:

1 — гидроэлеватор; 2 — трубопровод для отвода всплывающих примесей; 3 — желоб; 4 — поверхностные затворы с ручным проводом; 5 — подводящий лоток; 6 — пульпопровод; 7 — трубопровод для рабочей жидкости; 8 — камера переключения; 9 — устройство для сбора всплывающих примесей; 10 — отводящий лоток; 11 — полупогруженные щиты (при очистке нефтесодержащих вод)

Отложившийся осадок сгребается в приямок вращающимся скребковым механизмом классификатора.

Вертикальная песколовка (рис.2.6) также состоит из рабочей и осадочной частей. Особенностью таких песколовок является то, что подъем песка из них можно легко осуществить при помощи различного рода механизмов – гидроэлеваторов, эрлифта и пр.

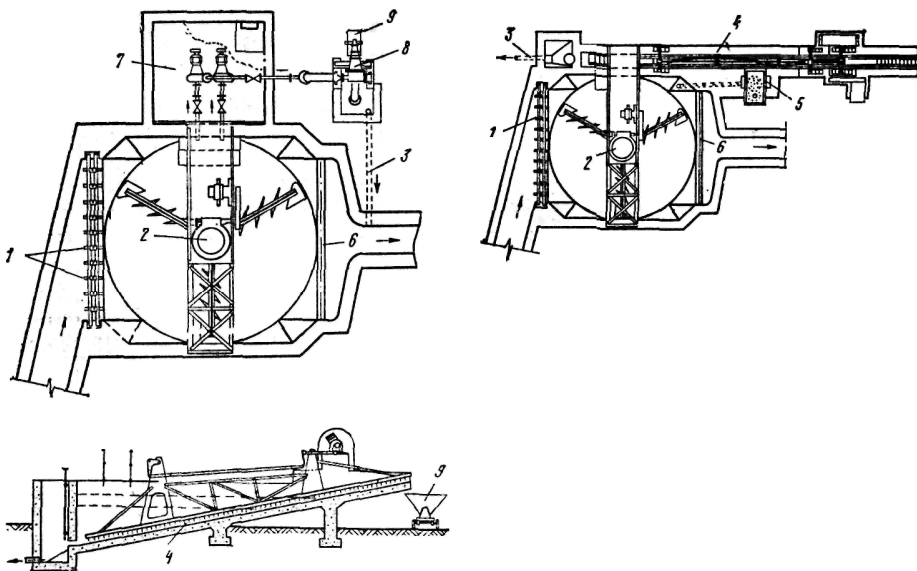


Рис.2.5. Горизонтальные квадратные песколовки:

1 — впускное распределительное устройство; 2 — привод скребкового механизма; 3 — дренаж; 4 — механизм для отмывки и обезвоживания песка; 5 — рециркуляционный насос; 6 — водослив; 7 — песковые насосы; 8 — классификатор; 9 — бункер для выгрузки песка

Тангенциальные песколовки (рис.2.7) имеют, как правило, круглую форму в плане и подвод воды по касательной (тангенциально). Подвод воды по касательной и движение воды по кругу вызывают вращательное движение песка. Суммирование поступательного и вращательного движений создает винтовое движение с круговой осью.

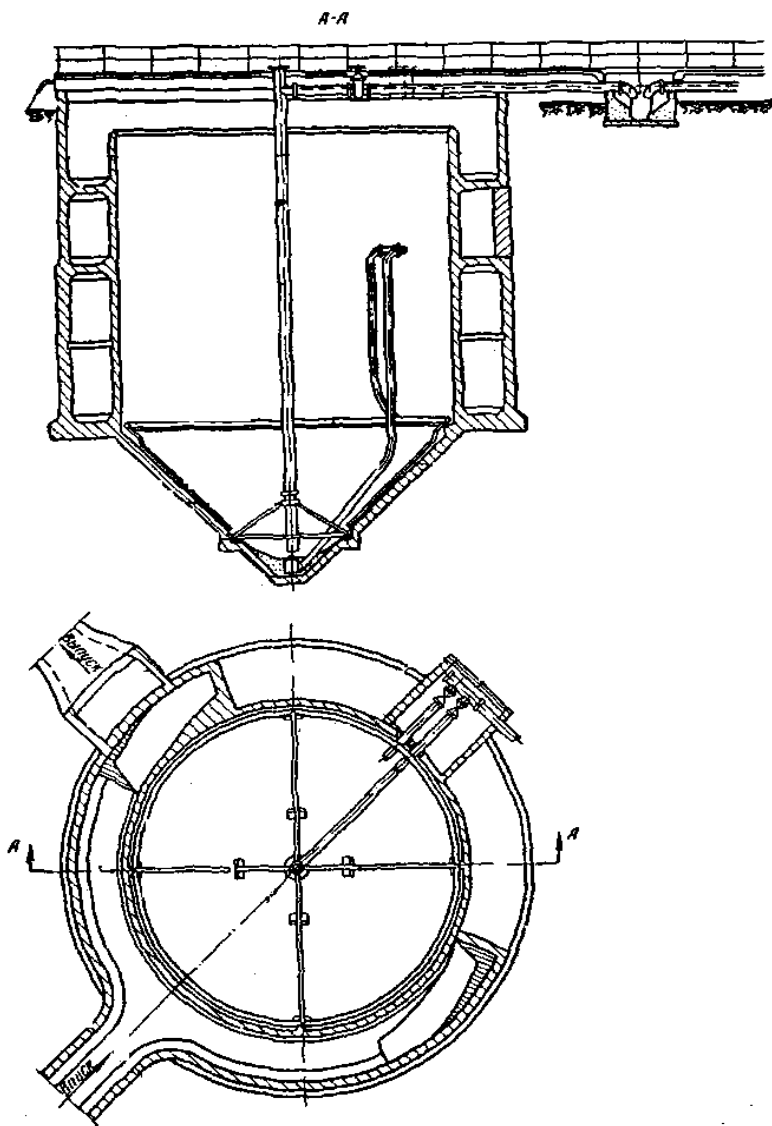


Рис. 2.6 Вертикальная песколовка

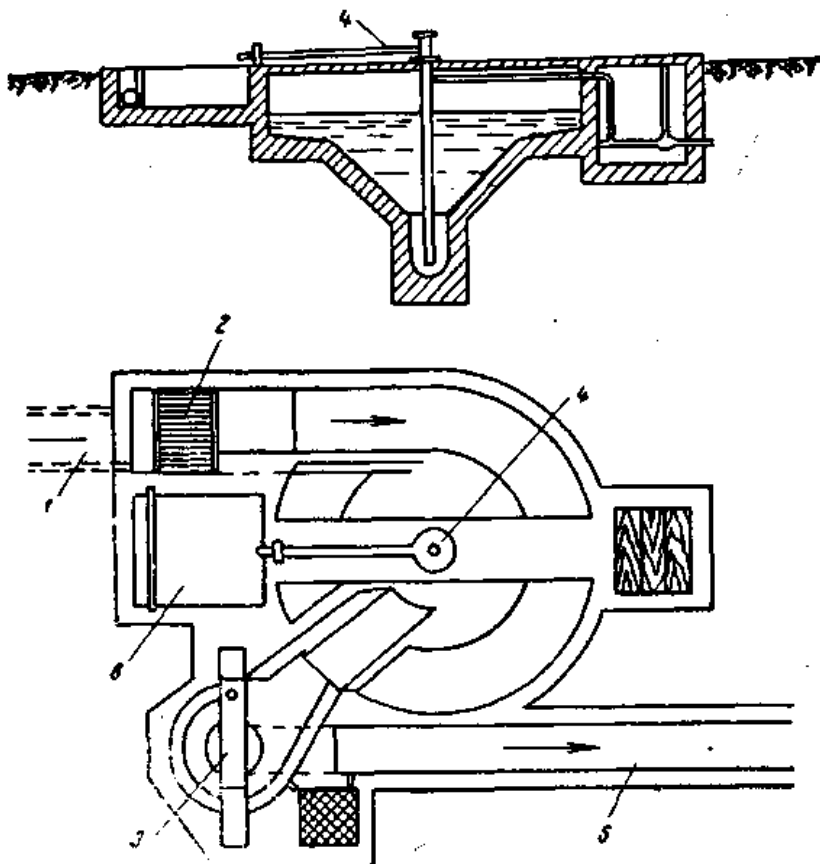


Рис. 2.7. Тангенциальная песколовка:

*1 – подвод воды; 2 – грубая решетка; 3 – решетка-дробилка; 4 – эрлифты;
5 – выпуск воды; 6 – приямок песка*

Вращательное движение положительно сказывается на работе песколовков. Оно способствует отмывке органики от песка и исключает выпадение в осадок органических веществ. Благодаря этому осадок из тангенциальных песколовков содержит меньше органических загрязнений, чем в песколовках других типов.

Тангенциальная песколовка с вихревой водяной воронкой (рис.2.8). Песколовка имеет круглую форму. Тангенциальный

подвод сточной воды сообщает ей движение по кругу. ИмPELLер (с электродвигателем), расположенный в центре песколовки, усиливает вращательное движение воды. Одновременно с вращением вода опускается вниз вдоль стенок песколовки, а затем всасывается имPELLером через отверстие вихревой водяной воронки, образующейся ниже имPELLера.

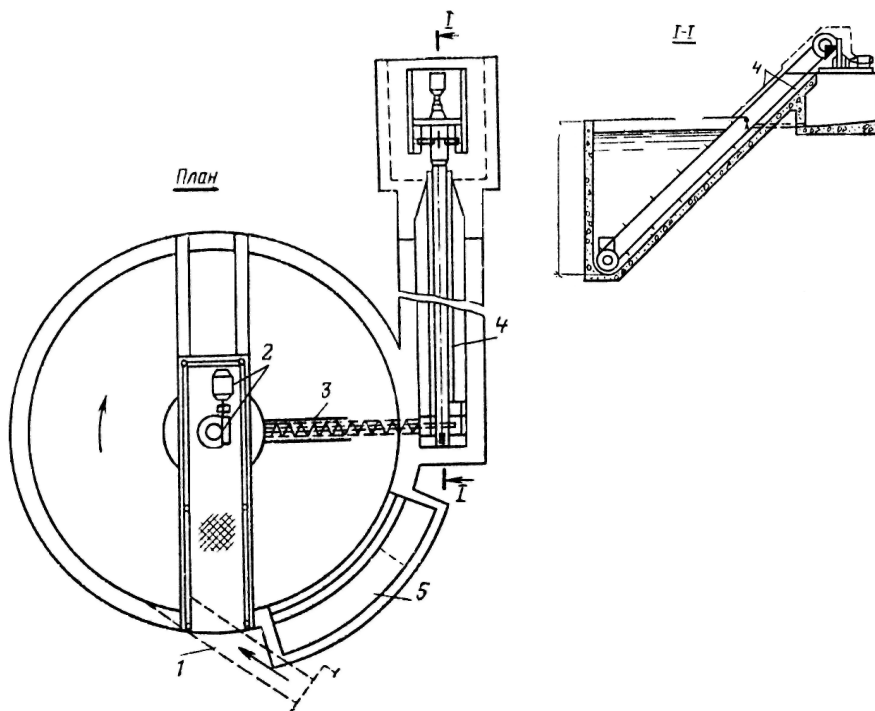


Рис.2.8. Тангенциальная песколовка с водяной воронкой:
 1 – трубопровод для подачи сточной воды; 2 – имPELLер с электродвигателем; 3 – горизонтальный шнек; 4 – скребковый подъемник;
 5 – отводящий лоток сточной воды

Скорость движения воды в песколовке зависит от количества и характера взвешенных частиц и регулируется частотой вращения имPELLера. Осаждаемый песок опускается на дно песколовки и турбулентными потоками воды сдвигается к центру, откуда горизонтальным шнеком подается к боковой вертикальной шахте, в которой установлено скребковое устройство для

подъема песка. При подъеме песок отмывается от органических загрязнений с помощью брызгальных насадок, расположенных у скребкового устройства на уровне поверхности воды в песколовке. Поток воды, идущей от импеллера, попадает в брызгальные насадки со скоростью, достаточной для отмывки песка от органических частиц. Вихревое движение воды не позволяет органическим загрязнениям оседать в песколовке. Песок, поднимаемый шнеком, обезвоживается и поступает в бункер для хранения. Таким образом, песколовка обеспечивает улавливание чистого песка.

Песколовки выпускаются диаметром от 2 до 18 м. Высота песколовки составляет $1/4 - 2/3$ их диаметра. Расчетная продолжительность пребывания сточной воды в песколовках 3-4 мин.

Разновидностью вышеописанной песколовки является *песколовка с пневматической аэрацией очищаемой воды*, работающая одновременно как преаэратор (рис.2.9). Подаваемый в песколовку сжатый воздух диспергируется импеллером. Песколовка отличается большей высотой сооружения, наличием воздуховода и более удлиненным вертикальным валом импеллера. Удаление осадка осуществляется так же, как и в тангенциальной песколовке. Песколовки-преаэраторы выпускаются диаметром от 2 до 16 м. Высота песколовки составляет $1/3 - 2/3$ их диаметра. Расчетная продолжительность пребывания сточной воды в песколовках-преаэраторах 15 мин. Эффект изъятия органических загрязнений в песколовках-преаэраторах на 7,5 % выше, чем в подобных песколовках без пневматической аэрации. Более высоким является также эффект изъятия песка.

Аэрируемые песколовки имеют преимущественно прямоугольную в плане форму. Винтовое движение в них создается в результате суммирования поступательного и вращательного движения сточной воды, последнее из которых создается искусственно - аэрацией сточной жидкости при помощи аэраторов, расположенных вдоль одной из боковых продольных стенок.

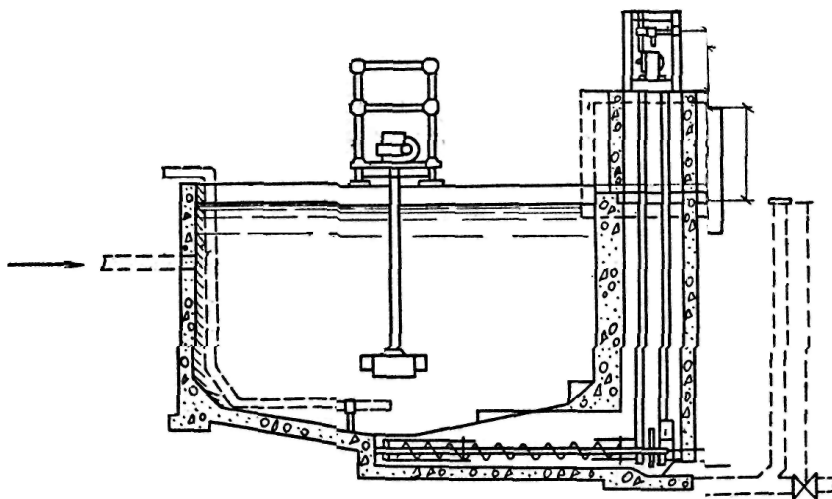


Рис.2.9. Песколовка-преаэратор

В аэрируемых песколовках может быть создана такая скорость вращательного движения, при которой исключается выпадение в осадок органических веществ. Поступательную скорость рекомендуется принимать равной $0,03 - 0,1$ м/с, вращательную — $0,25 - 0,3$ м/с. Вследствие большой разницы между поступательной и вращательной скоростями суммарная скорость в песколовке оказывается практически постоянной и равной $0,3$ м/с даже при значительном колебании расходов.

Аэрируемая песколовка с круговым движением сточной воды (рис.2.10). Сточная вода из подводящего канала по вкусовому устройству шахтного типа поступает в аэрационную зону. Впускное устройство шахтного типа (сечение II-II) необходимо для придания первого импульса вращательного движения воды в аэрационной зоне, оборудованной аэратором, выполненным в виде перфорированной трубы.

В аэрационной зоне под влиянием пузырьков воздуха возникает вращательно-поступательное движение воды с практически постоянной скоростью независимо от изменения продольной скорости движения воды, вызываемого колебаниями притока.

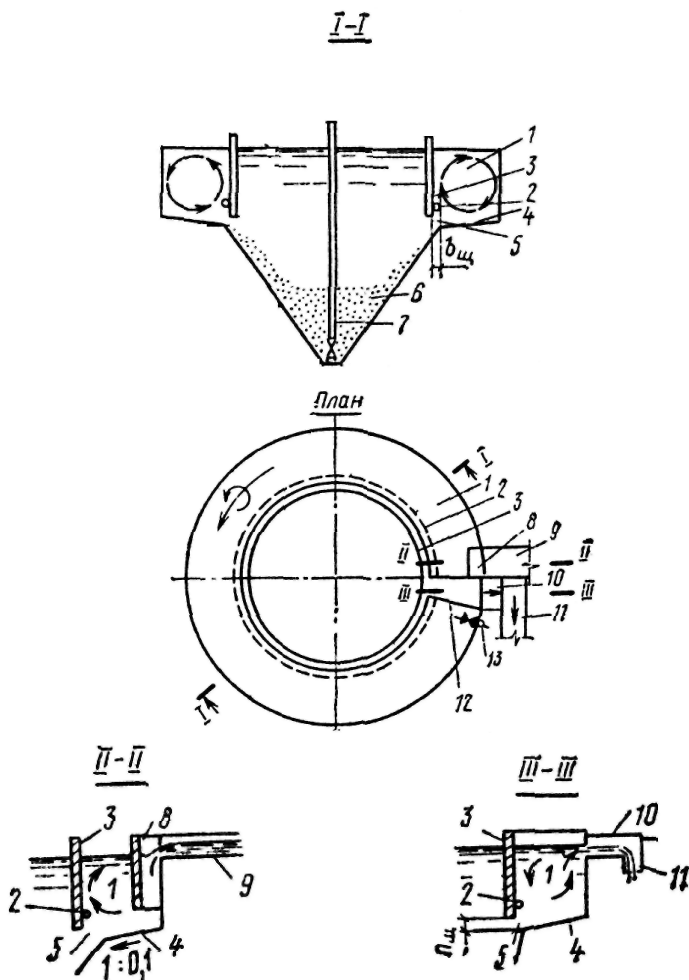


Рис. 2.10 Аэрируемая песколовка:

1 – аэрационная зона; 2 – аэратор; 3 – разделительная перегородка; 4 – дно; 5 – щель; 6 – конусная часть; 7 – гидроэлеватор; 8 – впускное устройство; 9 – подводящий канал; 10 – выпускное устройство; 11 – отводящий канал; 12 – перегородка с затопленным отверстием; 13 – задвижка и трубопровод для удаления всплывающих примесей

Твердые минеральные частицы, отмытые от органических загрязнений, оседают на дно, имеющее уклон, а органические загрязнения, находящиеся во взвешенном состоянии, выносятся из песколовки.

Осевшие минеральные частицы под действием вращательного потока жидкости постепенно перемешаются по наклонному дну в сторону аэратора и через щель под раздельной перегородкой проваливаются в конус. Для сползания песка стенки конуса должны быть наклонены не менее чем на 55° к горизонту. Накопившийся в конусе песок периодически откачивается гидроэлеватором. Освобожденная от твердых минеральных частиц сточная вода выходит в отводящий канал через выпускное устройство (сечение III-III), выполненное в виде водослива. Непосредственно перед выпускным устройством в конце аэрационной зоны устанавливается перегородка с центральным затопленным отверстием. Перегородка способствует задержанию всплывших нефтепродукты и препятствует выносу их из песколовки. Всплывшие нефтепродукты периодически удаляются.

2.4.2 Расчет песколовки

Цель расчета песколовки заключается в определении ее размеров: длины, ширины, высоты, или количества секций при выбранных размерах.

Длину рабочей части песколовки рассчитывают по формуле:

$$L_n = (h / u_0) \cdot u, \quad (2.1)$$

где L_n – длина рабочей части песколовки, м; h – глубина рабочей части песколовки, м; u_0 – скорость осаждения частиц определенного диаметра в движущемся турбулентном потоке жидкости, м/с; u – скорость движения сточной воды, м/с.

Скорость осаждения u_0 находят по формуле Карпинского

$$u_0 = 10^{-3} \cdot (u_r^2 - u_t^2)^{0,5}, \quad (2.2)$$

где u_r – средняя гидравлическая крупность частиц, мм/с, т.е. скорость выпадения частиц песка определенного размера из воды, находящейся в спокойном состоянии; u_t – вертикальная турбулентная составляющая, мм/с.

Величину u_r принимают по табл. 2.1, в зависимости от диаметра частиц песка.

Вертикальную турбулентную составляющую вычисляют по формуле:

$$u_t = 0,05 \cdot u, \quad (2.3)$$

Таблица 2.1- Гидравлическая крупность песка (мм/с)

Температура сточной воды $t, ^\circ\text{C}$	Гидравлическая крупность песка при диаметре его частиц в мм						
	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,50
15	13,2	18,8	24,2	30,0	35,5	41,2	52,4
10	11,5	17,1	22,5	28,3	34,3	39,5	50,7

При определении u_r должны соблюдаться следующие ограничения: при осаждении частиц диаметром 0,15 мм допустимая скорость потока через песколовку не должна превышать 0,25 м/с при температуре воды 15 $^\circ\text{C}$ и 0,2 м/с при температуре воды 10 $^\circ\text{C}$.

И.Л.Монгайт и И.Д.Родзиллер рекомендуют проводить расчет песколовок с использованием формулы:

$$L_n = K_1 \cdot K_2 \cdot (h / u_0) \cdot u, \quad (2.4)$$

где K_1 – коэффициент для учета влияния различных факторов на работу сооружения, в большинстве случаев принимается равным 1; K_2 – коэффициент, учитывающий влияние турбулентности потока, несовершенство гидравлических условий работы, расслоение песка и других факторов.

Для определения K_2 используют формулу:

$$K_2 = u_r / (u_r^2 - u_t^2)^{0,5} \quad (2.5)$$

Для данного метода расчета u_T вычисляют по формуле

$$u_T = 0,08 \cdot u \text{ — } 2,3. \quad (2.6)$$

При этом должны соблюдаться следующие ограничения: при осаждении частиц с диаметром 0,15 мм скорость потока u должна быть не более 0,15 м/с, при осаждении частиц с диаметром 0,20 мм – не более 0,2 м/с.

Другие размеры сечения песколовки находят из уравнения неразрывности струи:

$$G' = S \cdot u = S_1 \cdot u_0, \quad (2.7)$$

где G' – расход сточной воды, м³/с; S – площадь поперечного сечения песколовки, м²; S_1 – площадь свободной поверхности сточной воды, м².

Для прямоугольного сечения песколовки:

$$S = h \cdot B_n \quad (2.8)$$

$$S_1 = L_n \cdot B_n, \quad (2.9)$$

где B_n – ширина песколовки, м.

На основании уравнений (2.7) — (2.9) можно рассчитать величину B_n .

$$B_n = G' / (h \cdot u) = G' / (L_n \cdot u_0). \quad (2.10)$$

Для многосекционной песколовки по принятой ширине одной секции находят число последних:

$$n = B_n / b, \quad (2.11)$$

где b – ширина одной секции, м. В зависимости от общего размера песколовки принимают равной 0,6 – 6 м.

Пример решения задачи

Задание: Произвести расчет песколовки для очистки нейтральных сточных вод НПЗ мощностью 15 млн. т нефти в год.

Исходные данные: удельный расход сточных вод $g=2,5 \text{ м}^3/\text{т}$ нефти; скорость потока $u=0,2 \text{ м/с}$; высота проточной части песколовки $h=0,6 \text{ м}$; наименьший диаметр осаждаемых частиц $d=0,2 \text{ мм}$; средняя температура сточной воды в песколовке $t_b=15^\circ\text{C}$.

Решение:

1. Расход сточной воды определяется по формуле:

$$G' = G \cdot g / (m \cdot 24 \cdot 3600), \quad (2.12)$$

где G' – расход сточной воды $\text{м}^3/\text{с}$; G – расход нефти, т/год; g – удельный расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{т}$ нефти; m – количество дней в году:

$$G' = 15\,000\,000 \cdot 2,5 / (365 \cdot 24 \cdot 3600) = 1,189 \text{ м}^3/\text{с}.$$

2. Гидравлическая крупность песка для частиц $d=0,2 \text{ мм}$ при 15°C равна $18,8 \text{ мм/с}$ (см табл. 2.1).

3. Вертикальная турбулентная составляющая определяется по формуле (2.6):

$$u_T = 0,08 \cdot 200 - 2,3 = 13,7 \text{ мм/с}.$$

4. Коэффициент K_2 определяется по формуле (2.5):

$$K_2 = 18,8 / (18,8^2 - 13,7^2)^{0,5} = 1,46.$$

5. Средняя скорость осаждения частиц определяется по формуле (2.2):

$$u_0 = 10^{-3} \cdot (18,8^2 - 13,7^2)^{0,5} = 0,01287 \text{ м/с}.$$

6. Длина песколовки определяется по формуле (2.4):

$$L_n = 1 \cdot 1,46 \cdot (0,6 / 0,01287) \cdot 0,2 = 13,6 \text{ м.}$$

7. Ширина песколовки определяется по формуле (2.10):

$$B_n = 1,189 / (0,6 \cdot 0,2) = 9,91 \text{ м.}$$

8. Принимаем ширину одной секции $b=1,6$ м, тогда число секций по формуле (2.11) составит:

$$n = 9,91 / 1,6 = 6,19 \text{ или } 7 \text{ шт.}$$

Вывод: для обеспечения очистки нейтральных сточных вод НПЗ мощностью 15 млн. тонн нефти в год при заданных условиях необходимо поставить семисекционную песколовку длиной 13,61 м и шириной 9,91 м.

Варианты контрольных заданий представлены в табл.2.2.

Варианты заданий № 3

Произвести расчет песколовки для очистки нейтральных сточных вод НПЗ мощностью G млн. т/год.

Исходные данные: удельный расход сточных вод g м³/т нефти; скорость потока u м/с; высота проточной части песколовки h м; наименьший диаметр осаждаемых частиц d мм; средняя температура сточной воды в песколовке t_b °C.

Таблица 2.2 – Варианты расчетных контрольных заданий

Вариант	G , млн. т/г	g , м ³ /т	u , м/с	h , м	d , мм	t_b , °C
1	15	2,5	0,2	1,0	0,25	15
2	15	2,5	0,2	1,0	0,30	15
3	15	2,5	0,2	1,0	0,35	15
4	15	2,5	0,2	0,7	0,20	15

Продолжение таблицы 2.2

5	15	2,5	0,2	0,8	0,20	15
6	15	2,5	0,2	0,6	0,20	10
7	15	2,5	0,2	0,8	0,25	10
8	15	2,5	0,2	0,9	0,30	10
9	15	2,5	0,2	1,0	0,35	10
10	15	2,5	0,2	0,5	0,20	10
11	15	2,5	0,2	0,8	0,20	10
12	13	2,5	0,15	0,6	0,15	15
13	13	2,5	0,15	1,0	0,20	15
14	13	2,5	0,15	1,0	0,25	15
15	13	2,5	0,15	0,8	0,15	15
16	13	2,5	0,15	0,7	0,15	15
17	13	2,5	0,15	0,9	0,15	15
18	13	2,5	0,15	0,9	0,20	15
19	13	2,5	0,3	0,6	0,25	15
20	13	2,5	0,3	0,6	0,3	15
21	13	2,5	0,3	0,6	0,35	15
22	13	2,5	0,3	0,4	0,25	15
23	13	2,5	0,3	0,5	0,25	15
24	10	2,5	0,25	0,6	0,25	10
25	10	2,5	0,25	0,6	0,3	10
26	10	2,5	0,25	0,7	0,35	10
27	10	2,5	0,25	0,7	0,25	10

Продолжение таблицы 2.2

28	10	2,5	0,25	0,9	0,25	10
29	10	2,5	0,25	0,8	0,3	15
30	15	2,5	0,2	0,9	0,25	15
31	15	2,5	0,2	0,9	0,2	15
32	15	2,5	0,2	1,0	0,2	15
33	15	2,5	0,2	0,9	0,25	10
34	15	2,5	0,2	1,0	0,25	10
35	15	2,5	0,2	1,0	0,3	10
36	15	2,5	0,2	0,7	0,2	10
37	15	2,5	0,2	0,9	0,2	10
38	13	2,5	0,3	0,5	0,3	15
39	13	2,5	0,3	0,7	0,3	15
40	10	2,5	0,25	0,9	0,35	10
41	10	2,5	0,25	0,8	0,35	10
42	10	2,5	0,25	1,0	0,35	10
43	13	2,5	0,3	0,7	0,4	15
44	13	2,5	0,3	0,9	0,4	15
45	13	2,5	0,3	1,0	0,4	15
46	13	2,5	0,3	0,8	0,4	15
47	13	2,5	0,3	0,9	0,5	15
48	13	2,5	0,3	1,0	0,5	15
49	13	2,5	0,3	0,8	0,5	15
50	17	3,0	0,25	1,0	0,4	10

2.4.3. Нефтеловушки

Нефтеловушки применяют для очистки сточных вод, содержащих грубодиспергированные нефть и нефтепродукты при концентрации более 100 мг/л. Эти сооружения представляют собой прямоугольные вытянутые в длину резервуары, в которых происходит разделение нефти и воды за счет разности их плотности. Нефть всплывает на поверхность, а содержащиеся в сточной воде минеральные примеси оседают на дно нефтеловушки. Выделение всплывающих примесей из воды по существу аналогично осаждению твердых взвешенных частиц; отличие лишь в том, что плотность частицы в этом случае меньше плотности воды и частица вместо осаждения всплывает.

Многоярусные полочные нефтеловушки (рис.2.11). Рабочий объем таких нефтеловушек разделяется наклонными параллельными пластинами, объединенными в блоки, на отдельные ярусы с высотой 100 мм. Полочные блоки устанавливаются в конце нефтеловушки перед полупогруженной перегородкой. Полки наклонены под углом 60° . Полочные блоки устанавливаются на подставку, сваренную из уголков. Полки к каркасу привариваются. Пространство, не занятое блоками, перекрывается металлическими щитами, что обеспечивает проход потока воды только через ярусы блока. Полочные блоки изготавливаются из полипропилена.

Поток сточной воды проходит через щелевую водораспределительную перегородку и попадает в отстойную часть нефтеловушки. Здесь из сточной воды выделяется основное количество находящихся в ней нефтепродуктов и осаждающихся примесей. Далее поток воды проходит через полочные блоки, в которых происходит ее доочистка, обеспечивающая надежное удаление всех частиц нефтепродуктов с гидравлической крупностью 0,7 мм/с и более. Пройдя через ярусы блока сверху вниз, осветленная вода проходит под погруженной перегородкой и удаляется в водосборный лоток. При этом нефтепродукты, выделившиеся из воды в ярусах блока, движутся вверх навстречу

потоку и собираются на поверхности воды вместе с нефтепродуктами, выделившимися в отстойной части нефтеловушки.

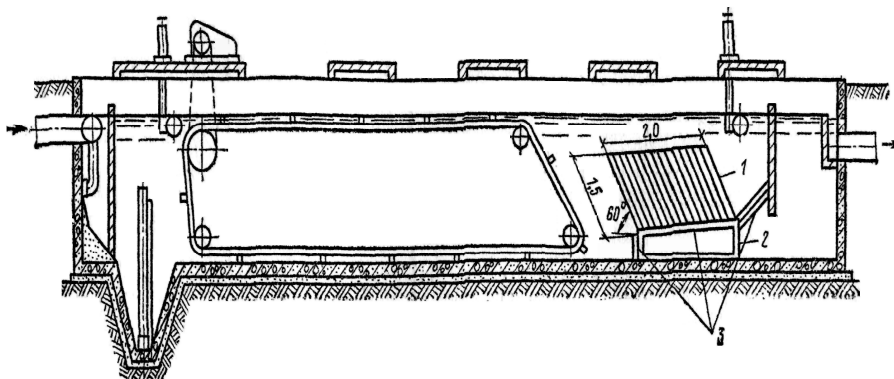


Рис.2.11. Полочная нефтеловушка:

1 – полочные блоки; 2 – подставка; 3 – металлические щиты

Нефтепродукты скребками сгоняются к нефтесборной трубе и выводятся через нее. Осадок, выделенный из воды в отстойной части нефтеловушки, сгребается в приямок и удаляется с помощью гидроэлеватора. Так как в воде, поступающей в полочные блоки, количество оседающих загрязнений будет очень мало, количество осадка, скапливающегося под блоками, будет также незначительно, и его можно удалять при периодических чистках нефтеловушки.

Радиальные нефтеловушки (рис.2.12). В них предусматривается принципиально новая система распределения отстаиваемой воды, позволяющая в значительной степени повысить коэффициент использования объема сооружения.

Нефтеловушка оборудована вращающимся механизмом с донными и поверхностными скребками для сгребания осадка и сгона нефтепродуктов.

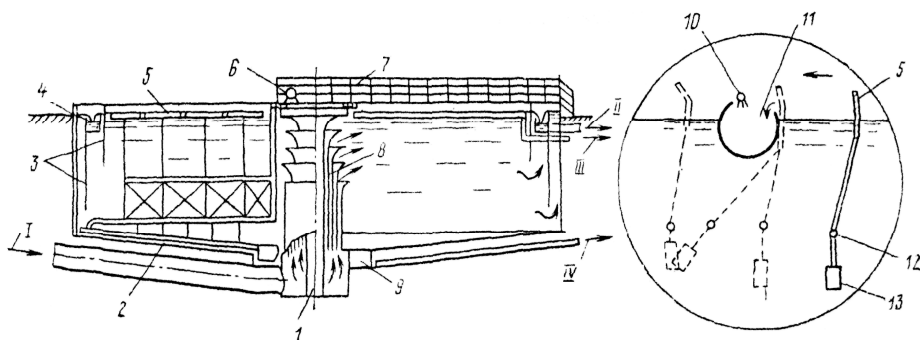


Рис.2.12. Нефтеловушка радиального типа:

- I – подающий трубопровод нефтесодержащей воды; II –отводящий трубопровод осветленной воды; III - трубопровод уловленных нефтепродуктов; IV – трубопровод осадка; 1 – центральная опора; 2 – донные скребки; 3 – погружные стенки; 4 – водосборный лоток; 5 – нефтесборные скребки; 6 – центральный привод скребкового механизма; 7 – ходовой мостик; 8 – коаксиально-козырьковый водораспределитель; 9 – прямок для осадка; 10 – трубопровод с брызгальными насадками; 11 – нефтесборная труба; 12 – шарнир; 13 - противовес*

2.4.4. Расчет нефтеловушки

Для расчета выбрана нефтеловушка — прямоугольный железобетонный резервуар, разделенный на несколько секций и предназначенный для удаления нефти, а также взвешенных осадков, прошедших через песколовку. Глубина ловушки составляет 2–2,4 м, ширина секции 2–6 м, длина определяется из расчета, чтобы средняя продолжительность пребывания воды в ловушке составляла около 2 часов при расчетной скорости потока 0,003 – 0,008 м/с. Содержание нефтепродуктов в воде, выходящей из нефтеловушки, составляет около 100 мг/л.

Расчет нефтеловушки может быть выполнен в приведенной ниже последовательности.

Длина нефтеловушки определяется по формуле:

$$L_{\text{л}} = 3600 \cdot u \cdot \tau, \quad (2.13)$$

где $L_{\text{л}}$ – длина нефтеловушки, м; u – скорость движения воды в ловушке, м/с; τ – время пребывания воды в ловушке, ч.

Ширина нефтеловушки определяется по формуле:

$$B_{\text{л}} = G' / (h \cdot u), \quad (2.14)$$

где $B_{\text{л}}$ – ширина нефтеловушки, м; G' – расход сточной воды, м³/с; h – глубина ловушки, м.

Число секций определяется по формуле:

$$n = B_{\text{л}} / b, \quad (2.15)$$

где b — ширина одной секции.

Пример решения задачи

Задание: Произвести расчет нефтеловушки для очистки сточных вод НПЗ мощностью 15 млн. тонн нефти в год.

Исходные данные: удельный расход сточных вод $g = 1,3$ м³/т нефти; скорость потока $u = 0,007$ м/с; глубина ловушки $h = 2,0$ м; время пребывания воды $\tau = 2$ часа.

Решение:

1. Расход сточной воды определяется по формуле (2.12)

$$G' = 15\,000\,000 \cdot 1,3 / (365 \cdot 24 \cdot 3600) = 0,62 \text{ м}^3/\text{с}.$$

2. Длина нефтеловушки определяется по формуле (2.13):

$$L_{\text{л}} = 3600 \cdot 0,007 \cdot 2 = 50,4 \text{ м}.$$

3. Ширина нефтеловушки рассчитывается с использованием формулы (2.14):

$$B_{\text{л1}} = 0,62 / (2,0 \cdot 0,007) = 44,3 \text{ м}.$$

4. Число секций в нефтеловушке при $b = 5$ м, тогда число секций составит:

$$n = 44,3 / 5 = 8,86 \text{ или } 9 \text{ шт.}$$

Вывод: для очистки сточных вод НПЗ мощностью 15 млн. тонн нефти в год при заданных исходных данных необходимо поставить нефтеловушку длиной 50,4 м и шириной 44,3 м с числом секций в ловушке равным 9.

Варианты контрольных заданий представлены в табл.2.3.

Варианты заданий № 4

Произвести расчет нефтеловушки для очистки сточных вод НПЗ мощностью G млн. т/год.

Исходные данные: удельный расход сточных вод g м³/т нефти; скорость потока u м/с; глубина ловушки h м; время пребывания воды τ часа.

Таблица 2.3 – Варианты расчетных контрольных заданий

Вариант	G , млн. т/г	g , м ³ /т	u , м/с	h , м	τ , ч
1	12	1,0	0,006	2,0	2
2	12	1,0	0,007	2,1	2
3	12	1,0	0,006	2,2	2
4	12	1,0	0,008	2,3	2
5	12	1,0	0,007	2,4	2
6	13	1,1	0,008	2,2	2
7	13	1,1	0,006	2,0	2
8	13	1,1	0,007	2,1	2
9	13	1,1	0,006	2,1	2

Продолжение таблицы 2.3

10	13	1,1	0,007	2,2	2
11	15	1,3	0,008	2,3	2
12	15	1,3	0,008	2,2	2
13	15	1,3	0,007	2,3	2
14	15	1,3	0,008	2,4	2
15	15	1,3	0,008	2,1	2
16	12	1,0	0,007	2,3	2
17	12	1,0	0,008	2,2	2
18	12	1,0	0,005	2,3	2
19	12	1,0	0,006	2,4	2
20	12	1,0	0,007	2,2	2
21	14	1,2	0,008	2,0	2
22	14	1,2	0,007	2,1	2
23	14	1,2	0,006	2,2	2
24	14	1,2	0,006	2,3	2
25	14	1,2	0,007	2,4	2
26	14	1,2	0,008	2,1	2
27	15	1,3	0,008	2,0	2
28	15	1,3	0,007	2,1	2
29	15	1,3	0,007	2,2	2
30	15	1,2	0,007	2,4	2
31	14	1,2	0,008	2,4	2
32	14	1,2	0,007	2,3	2

Продолжение таблицы 2.3

33	14	1,2	0,006	2,4	2
34	15	1,3	0,007	2,0	2
35	12	1,0	0,008	2,0	2
36	12	1,0	0,008	2,1	2
37	12	1,0	0,006	2,1	2
38	12	1,0	0,005	2,4	2
39	12	1,1	0,006	2,4	2
40	12	1,2	0,006	2,4	2
41	12	1,3	0,006	2,4	2
42	12	1,2	0,008	2,3	2
43	13	1,2	0,008	2,3	2
44	14	1,2	0,008	2,3	2
45	15	1,2	0,008	2,4	2
46	10	1,2	0,008	2,3	2
47	11	1,2	0,008	2,3	2
48	13	1,2	0,007	2,2	2
49	13	1,3	0,007	2,2	2
50	13	1,0	0,007	2,2	2

2.5. Сооружения биологической очистки сточных вод

Сточные воды, прошедшие механическую очистку, подлежат физико-химической очистке. *Физико-химическая очистка* заключается в том, что в очищаемую воду вводят какое-либо

вещество-реагент (коагулянт или флокулянт). Вступая в химическую реакцию с находящимися в воде примесями, это вещество способствует более полному выделению нерастворимых примесей, коллоидов и части растворимых соединений. При этом уменьшается концентрация вредных веществ в сточных водах, растворимые соединения переходят в нерастворимые или растворимые, но безвредные. В зависимости от необходимой степени очистки сточных вод, физико-химический метод может быть окончательным или второй ступенью очистки перед биологической, так как сточные воды содержат еще достаточно большое количество растворенных и тонкодиспергированных нефтепродуктов, а также других органических загрязнений и не могут быть выпущены в водоемы без дальнейшей очистки.

Наиболее универсален для очистки сточных вод от органических загрязнений *биологический метод*. Биологическое окисление – широко применяемый на практике метод очистки производственных сточных вод, позволяющий очистить воду от органических примесей при помощи микроорганизмов. Он основан на способности микроорганизмов использовать разнообразные вещества, содержащиеся в сточных водах, в качестве источника питания в процессе их жизнедеятельности. Задачей биологической очистки является превращение органических загрязнений в безвредные продукты окисления — воду, диоксид углерода, нитрат- и сульфат-ионы и др. Процесс биохимического разрушения органических загрязнений в очистных сооружениях происходит под воздействием комплекса бактерий и простейших микроорганизмов, развивающихся в данном сооружении.

Преимущества биологического метода очистки — возможность удалять из сточных вод разнообразные органические соединения, в том числе токсичные, простота конструкции аппаратуры, относительно невысокая эксплуатационная стоимость.

К недостаткам следует отнести высокие капитальные затраты, необходимость строгого соблюдения технологического режима очистки, токсичное действие на микроорганизмы некоторых органических и неорганических соединений и необходи-

мость разбавления сточных вод в случае высокой концентрации примесей.

Всю совокупность сооружений биологической очистки целесообразно разделить на три группы по признаку расположения в них активной биомассы. В сооружениях первой группы активная биомасса закреплена на неподвижном материале, а сточная вода тонким слоем скользит по материалу загрузки. В сооружениях второй группы активная биомасса находится в воде в свободном (взвешенном) состоянии. В сооружениях третьей, промежуточной группы сочетаются оба варианта расположения биомассы.

Первую группу сооружений составляют биофильтры; вторую – аэротенки, циркуляционные окислительные каналы, окситенки; третью – погруженные биофильтры, биотенки, аэротенки с заполнителями.

Очистные сооружения делятся на аэробные и анаэробные. Аэробные методы очистки получили большее распространение по сравнению с анаэробными. При аэробном методе жизнедеятельность микроорганизмов поддерживается с помощью свободного кислорода в воде. Эти методы широко применяют при очистке сточных производственных вод. Анаэробный (сбраживание) применяют в основном для очистки бытовых сточных вод.

Основой процесса биологической очистки является постоянное воспроизводство микроорганизмов. Этот процесс хорошо прослеживается на схеме рис.2.13.

Сточная вода подается в аэротенк аэробной биологической очистки 1. Сюда также подаются активный ил и воздух. Все эти три компонента перемешиваются. Микроорганизмы уничтожают загрязнения и воздух, находящиеся в воде. Этот процесс сопровождается постоянным увеличением биомассы.

Смесь очищенной воды и активного ила поступает во вторичный отстойник 2, где происходит разделение смеси на воду (очищенную) и активный ил. Очищенная вода выпускается в во-

доем. Часть активного ила из отстойника подается в аэротенк, а другая часть выходит в накопитель ила.

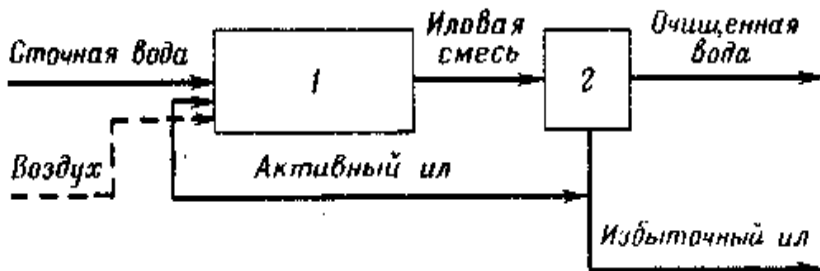


Рис. 2.13. Принципиальная схема установки биологической очистки сточных вод:

1 – аэротенк; 2 – вторичный отстойник

В биофильтрах очистка сточных вод производится микроорганизмами биопленки, находящейся на поверхности наполнителя.

Биологическую очистку сточных вод можно проводить в естественных и искусственных сооружениях. В качестве естественных сооружений биологической очистки используются поля фильтрации, орошения и биологические пруды.

Промышленные сточные воды, особенно содержащие нефть, медленно очищаются в естественных сооружениях, поэтому их очистку проводят в искусственных сооружениях. К таким сооружениям чаще всего относят биофильтры, аэротенки, и биологические пруды.

2.5.1 Биофильтры

Биофильтрами называются сооружения, в которых сточная вода фильтруется через загрузочный материал, покрытый биологической пленкой, образованной колониями микроорганизмов. Они представляют собой цилиндрические аппараты из же-

лезобетона, высотой 2–6 м, диаметром 15–25 м. Иногда биофильтры выполняются в виде прямоугольного аппарата.

Биофильтр состоит из следующих основных частей:

- фильтрующей загрузки;
- водораспределительного устройства, обеспечивающего равномерное орошение сточной водой поверхности загрузки биофильтра;
- дренажного устройства для удаления профильтрованной воды;
- воздухораспределительного устройства, с помощью которого поступает необходимый для окислительного процесса воздух.

В качестве загрузочного материала биофильтров применяют шлак, щебень, керамзит, пластмассу, гравий, ткани и др. К этим материалам предъявляются следующие требования: они должны обладать водоустойчивостью, устойчивостью к химическим и биологическим загрязненным сточным водам и достаточной прочностью. При выборе загрузки предпочтение необходимо отдавать материалам с развитой поверхностью (шлак, керамзит, кольца и решетки).

При контакте сточной жидкости с биологической пленкой микроорганизмы извлекают из воды органические вещества, в результате чего сточная вода очищается.

Биофильтры могут работать на полную и неполную биологическую очистку и классифицируются по различным признакам, основным из которых является конструктивная особенность загрузочного материала. По этому признаку биофильтры делятся на *биофильтры с объемной загрузкой* и *биофильтры с плоскостной загрузкой*.

Биофильтры с объемной загрузкой подразделяются на:

- *капельные биофильтры* (рис. 2.14) – крупность фракций загрузочного материала 20-30 мм, высота слоя загрузки 1-2 м;
- *высоконагружаемые биофильтры* (рис.2.15) – крупность фракций загрузочного материала 40-60 мм, высота слоя загрузки 2-4 м;

- биофильтры большой высоты (башенные) – крупность загрузочного материала 60-80 мм, высота слоя загрузки 8-16 м.

Объемный загрузочный материал имеет плотность 500-1500 кг/м³ и пористость 40-50%.

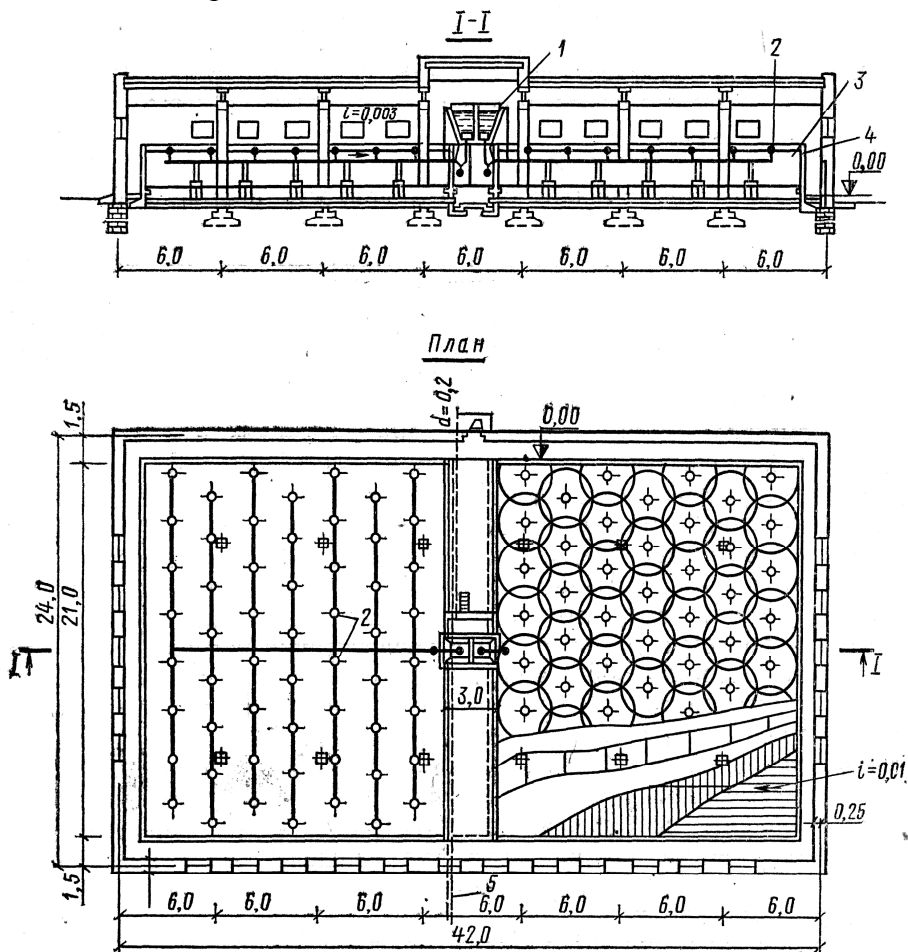


Рис.2.14. Капельный биофильтр:

- 1 – дозирующие баки сточной воды; 2 – спринклеры;
- 3 – загрузка биофильтра; 4 – железобетонные стенки;
- 5 – подача сточной воды на очистку

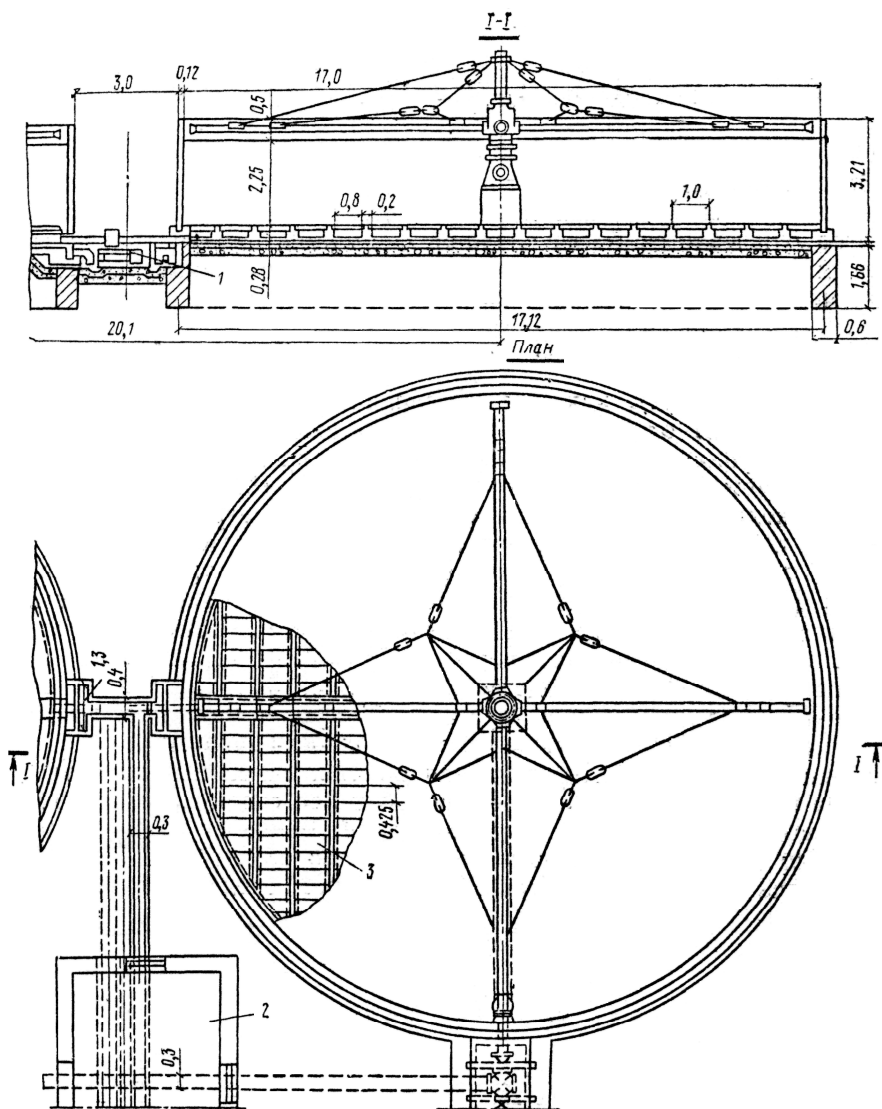


Рис.2.15. Высоконагружаемый биофильтр:
 1 – сборные железобетонные плиты; 2 – вентиляционная установка;
 3 – сборные колосниковые плиты

Биофильтры с плоскостной загрузкой подразделяются на:

- *биофильтры с жесткой засыпной загрузкой* – в качестве загрузки используют керамические, пластмассовые и металлические засыпные элементы; в зависимости от материала загрузки ее плотность составляет $100-600 \text{ кг/м}^3$, пористость 70-90%, высота слоя загрузки 1-6 м;

- *биофильтры с жесткой блочной загрузкой* – в качестве загрузки используют гофрированные и плоские листы пластмассы или пространственные элементы, а также асбестоцементные листы; плотность пластмассовой загрузки составляет $40-100 \text{ кг/м}^3$, пористость 90-97%, высота слоя загрузки 2-16 м, плотность асбестоцементной загрузки $200-250 \text{ кг/м}^3$, пористость 80-90%, высота слоя загрузки 2-6м;

- *биофильтры с мягкой или рулонной загрузкой* – загрузка выполнена из металлических сеток, пластмассовых пленок, синтетических тканей (нейлон, капрон), которые крепятся на каркасных или укладываются в виде рулонов; плотность составляет $5-60 \text{ кг/м}^3$, пористость 94-99%, высота слоя загрузки 3-8 м.

Типы загрузок биофильтров с плоскостной загрузкой представлены на рис.2.16.

Капельные биофильтры применяют при расходах сточных вод до $1000 \text{ м}^3/\text{сут}$, высоконагружаемые и башенные – до 50 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$. Плоскостные биофильтры с засыпкой и мягкой загрузкой рекомендуется применять при расходах до 10 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$, с блочной загрузкой – до 50 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$.

По способу подачи воздуха биофильтры делятся на сооружения с естественной (рис.2.17а) и принудительной (рис.2.17б) системой поступления в них воздуха.

Сооружения с естественной подачей воздуха применяют для сточных вод малых расходов (до $1000 \text{ м}^3/\text{сут}$) и с небольшой концентрацией вредных веществ. Биофильтры с принудительной подачей воздуха устроены таким образом, что потоки воздуха и воды направлены в противоположные стороны. Это намного улучшает снабжение воды кислородом воздуха.

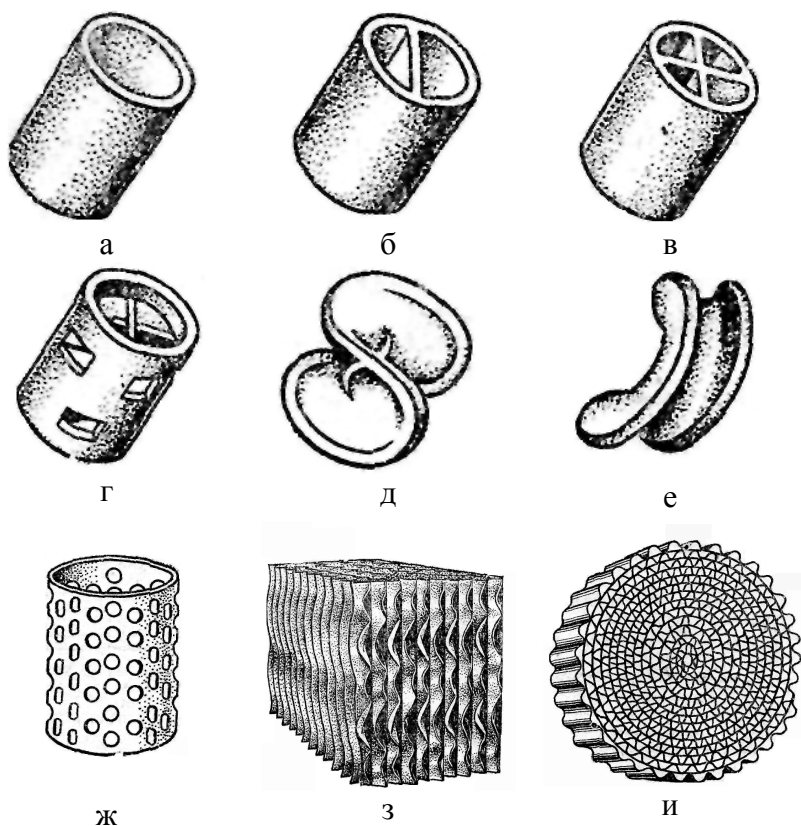


Рис.2.16. Типы загрузок:

а – кольца Рашига; б – кольца с перегородкой; в – кольца с крестообразной перегородкой; г – кольца Паля; д – седла Берля; е – седла «Инталокс»; ж – полые цилиндры с отверстиями; з – жесткая блочная загрузка; и – мягкая загрузка

Сточная вода подается на биофильтры непрерывно или периодически с продолжительностью цикла (наполнение и опорожнение дозирующего бачка) 5–10 мин. Увеличение времени цикла неблагоприятно сказывается на продуктивности биопленки. Подача воды на фильтр должна быть равномерной на поверхности биофильтра. Биофильтр вышел на нормальную работу в том случае, если на загрузочном материале образовалась

биологическая пленка, микроорганизмы которой адаптировались в данной сточной воде. Этот период может длиться от двух недель до нескольких месяцев.

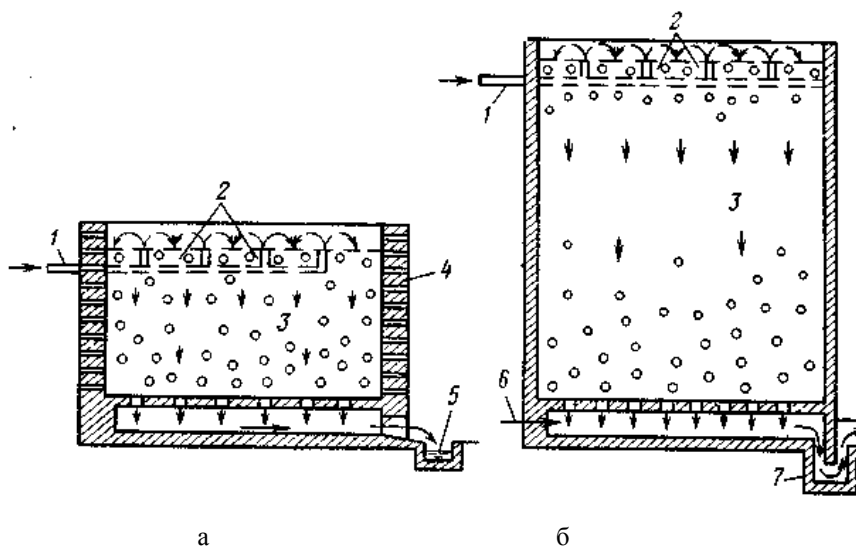


Рис. 2.17. Биофильтры с естественной а и принудительной б подачей воздуха:

1 – водоподводящая труба; 2 – водораспределительное устройство;
3 – загрузка; 4 – воздухопроницаемая стенка; 5 – водоотводящий лоток;
6 – воздухопроводящая труба; 7 – гидравлический затвор

По мере роста биопленки нижние слои отмирают и смываются водой. При правильной работе биофильтра процессы нарастания и отмирания биопленки идут параллельно. В разных частях биофильтра рост пленки неодинаков. На поверхности она растет быстрее, а в глубине медленнее. Процесс роста зависит от концентрации загрязнений и состава очищаемой воды.

Эффективность работы биофильтров зависит от ряда факторов, важнейшими из которых являются: нагрузка на первом биофильтре по органическим веществам, выражаемая через БПК (в г/м^3 кислорода); высота биофильтров; гранулометрический состав загрузочного материала; интенсивность промывки загрузочного материала орошаемой сточной водой; температура по-

даваемой сточной воды и окружающего воздуха; равномерность распределения сточной воды по поверхности биофильтра.

По режиму работы биофильтры могут быть подразделены на фильтры с рециркуляцией и без рециркуляции.

Рециркуляция – технологически необходимый прием, без которого нормальная работа биофильтров невозможна. Физически рециркуляцию можно считать равноценной увеличению слоя загрузки. Рециркуляция приводит к следующим результатам:

- увеличивается содержание растворенного кислорода в смеси, подаваемой на биофильтр;
- выравнивается концентрация биопленки по высоте сооружения;
- поддерживается более равномерная, но увеличенная гидравлическая нагрузка;
- выравниваются пики по концентрации загрязнений;
- незначительно повышается нагрузка на биофильтр по загрязнениям;
- значительно возрастает потребность в объемах отстойников;
- значительно увеличивается потребность в энергии на перекачивание воды.

2.5.2. Расчет биофильтров

Биофильтр заданной высоты при заданной степени чистоты сточных вод C_τ может удовлетворительно работать только при определенной степени загрязнения поступающих на очистку сточных вод $C_{см}$. Допустимая степень загрязнения сточных вод перед биофильтром может быть определена по формуле:

$$C_{см} = K_\phi \cdot C_\tau, \quad (2.16)$$

где $C_{см}$ – БПК₂₀ поступающей на биофильтр сточной воды, г/м³; C_τ – БПК₂₀ очищенной воды, г/м³; K_ϕ – коэффициент, характеризующий гидродинамические и температурные условия работы

биофильтра. Значения коэффициента K_{ϕ} представлены в таблице 2.4

Если найденная по формуле (2.16) величина C_{cm} больше БПК₂₀ поступающей на очистку сточной жидкости C , то рециркуляция не нужна. Зная величины C_{cm} и C , рассчитывают необходимый коэффициент рециркуляции n_p :

$$n_p = (C - C_{cm}) / (C_{cm} - C_{\tau}) = q_p / q, \quad (2.18)$$

где n_p – коэффициент рециркуляции; C – БПК₂₀ поступающей на очистку жидкости, г/м³; q_p – гидравлическая нагрузка по рециркуляту, м³/(м²·сут); q – общая гидравлическая нагрузка, м³/(м²·сут).

Таблица 2.4 - Значение коэффициента K_{ϕ} для определения величины C_{cm}

Средняя зимняя температура сточных вод $t, ^\circ\text{C}$	Рабочая высота биофильтров, м				
	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
От 8 до 10	2,5	3,3	4,4	5,7	7,5
От 10 до 14	3,3	4,4	5,7	7,5	9,6
Более 14	4,4	5,7	7,5	9,6	12,0

Площадь биофильтра находят по формуле

$$S = G' \cdot (n_p + 1) \cdot C_{cm} / g_d, \quad (2.19)$$

где S – площадь биофильтра, м²; G' – расход сточной воды, м³/сут; g_d – допустимая нагрузка в г на 1 м² площади биофильтра в сутки.

Допустимая нагрузка g_d выбирается в зависимости от среднегодовой температуры наружного воздуха по таблице 2.5.

Таким образом, гидравлическая нагрузка на поверхность биофильтра определяется по формуле

$$q = g_d / C_{cm}, \quad (2.20)$$

Таблица 2.5 - Значение величины g_d

Среднегодовая температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$	Значение g_d
До 3	1700
От 3 до 6	2300
Выше 6	3000

Величина q должна быть в пределах $10 - 30 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{сут})$. Если $q < 10 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{сут})$, необходимо увеличить коэффициент рециркуляции n_p или уменьшить высоту биофильтра и расчет повторить.

Пример решения задачи

Задание. Определить число биофильтров, необходимых для очистки сточных вод II системы канализации НПЗ мощностью 13 млн. тонн нефти в год.

Исходные данные: удельный расход сточных вод $g=1,6 \text{ м}^3/\text{т}$ нефти; рабочая высота биофильтров $H=4,0 \text{ м}$; средняя зимняя температура сточных вод $t=9^{\circ}\text{C}$; средняя годовая температура наружного воздуха $t_b=5^{\circ}\text{C}$; БПК₂₀ после биофильтров $C_t=20 \text{ г/м}^3$; БПК₂₀ поступающей на очистку сточной воды $C=200 \text{ г/м}^3$.

Решение:

1. Коэффициент K_{ϕ} , характеризующий гидродинамические и температурные условия работы биофильтра принимаем по табл. 2. При заданных значениях рабочей высоты $H=4,0 \text{ м}$ и температуре сточных вод $t=9^{\circ}\text{C}$ коэффициент K_{ϕ} равен 7,5.

2. Допустимая степень загрязнения сточных вод перед биофильтром определяется по формуле 2.16:

$$C_{cm} = 7,5 \cdot 20 = 150 \text{ г/м}^3.$$

В данном случае $150 < 200$, следовательно биофильтр должен работать с рециркуляцией.

3. Необходимый коэффициент рециркуляции определяется по формуле (2.18):

$$n_p = (200 - 150) / (150 - 20) = 0,38.$$

4. Среднесуточный приток сточной воды определяется по формуле

$$G' = G \cdot g / m, \quad (2.21)$$

где G' – среднесуточный приток сточной воды, $\text{м}^3/\text{сут}$; G – расход нефти, $\text{т}/\text{год}$; g – удельный расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{т}$ нефти; m – количество дней в году.

$$G' = 13\,000\,000 \cdot 1,6 / 365 = 56986 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

5. Допустимую нагрузку g_d принимаем по таблице 3. При заданном значении температуры наружного воздуха $t_b = 5^\circ\text{C}$, допустимая нагрузка $g_d = 2300$.

6. Площадь биофильтра определяется по формуле (2.19)

$$S = 56986 \cdot (0,38 + 1) \cdot 150 / 2300 = 5129 \text{ м}^2.$$

7. Число биофильтров определяется по формуле

$$n = 4 \cdot S / (\pi \cdot d^2), \quad (2.22)$$

где d – диаметр биофильтра, м. Принимаем диаметр одного биофильтра $d = 25$ м, тогда число биофильтров составит:

$$n = 4 \cdot 5129 / (3,14 \cdot 25^2) = 10,45 \text{ или } 11 \text{ шт.}$$

8. Гидравлическая нагрузка на поверхность биофильтра определяется по формуле 2.20:

$$q = 2300 / 150 = 15,33 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут}).$$

В данном случае $q > 10$, следовательно, увеличивать коэффициент рециркуляции или уменьшать высоту биофильтра нет необходимости.

Вывод: для очистки сточных вод II системы канализации НПЗ мощностью 13 млн. тонн нефти в год при заданных исходных данных необходимо поставить 11 биофильтров.

Варианты контрольных заданий представлены в табл.2.6.

Варианты заданий № 5

Определить число биофильтров, необходимых для очистки сточных вод II системы канализации НПЗ мощностью G млн. т/год.

Исходные данные: удельный расход сточных вод g м³/т нефти; рабочая высота биофильтров H м; средняя зимняя температура сточных вод t °С; средняя годовая температура наружного воздуха t_b °С; БПК₂₀ после биофильтров C_τ г/м³; БПК₂₀ поступающей на очистку сточной воды C г/м³.

Таблица 2.6 – Варианты расчетных контрольных заданий

Вариант	G , млн. т/Г	g , м ³ /т	H , м	t , °С	t_b , °С	C_τ , г/м ³	C , г/м ³
1	12	1,5	3	10	6	30	200
2	12	1,5	2	9	2	40	150
3	12	1,5	2,5	9	3	40	200
4	12	1,5	3,0	8	4	35	200
5	12	1,5	3,5	9	5	35	250
6	12	1,5	4,0	8	6	20	200
7	13	1,6	2.0	11	7	40	200
8	13	1,6	2,5	12	2	35	200

Продолжение таблицы 2.6

9	13	1,6	3,0	13	6	25	200
10	13	1,6	3,5	14	6	20	200
11	13	1,6	4,0	12	5	20	250
12	14	1,8	2,0	15	6	40	200
13	14	1,8	2,5	15	7	25	200
14	14	1,8	3,0	15	6	20	200
15	14	1,8	3,5	15	5	15	200
16	14	1,8	4,0	15	6	15	250
17	12	1,5	2,0	11	6	40	200
18	12	1,5	2,0	15	7	40	200
19	12	1,5	2,5	11	5	35	200
20	12	1,5	2,5	15	7	25	200
21	12	1,5	3,0	11	6	30	200
22	12	1,5	3,0	15	7	20	200
23	12	1,5	3,5	12	6	20	200
24	12	1,5	3,5	15	7	15	200
25	12	1,5	4,0	11	5	15	200
26	12	1,5	4,0	15	7	15	250
27	13	1,6	2,5	15	7	25	200
28	13	1,6	3,0	15	7	20	200
29	13	1,6	3,5	9	5	25	200

Продолжение таблицы 2.6

30	13	1,6	3,5	12	6	20	200
31	13	1,6	3,0	12	5	30	250
32	13	1,6	2,5	12	7	40	250
33	13	1,6	2,0	12	6	40	200
34	13	1,5	4,0	9	5	20	200
35	14	1,5	2,5	15	6	25	200
36	14	1,6	2,5	15	6	25	200
37	14	1,7	2,5	15	6	25	200
38	14	1,5	2,5	13	6	30	200
39	11	1,5	3,5	13	3	25	230
40	11	1,5	2,5	15	3	25	230
41	11	1,5	3,0	13	3	25	230
42	11	1,5	4,0	9	3	25	230
43	11	1,4	3,0	9	5	20	150
44	11	1,4	3,0	9	5	25	150
45	11	1,4	3,0	9	5	30	150
46	11	1,8	2,5	15	6	2,5	200
47	11	1,4	3,0	9	5	30	160
48	11	1,4	3,0	9	5	30	180
49	11	1,4	3,5	9	5	30	200
50	11	1,4	4,0	9	5	30	210

2.5.2 Аэротенки

Аэротенки представляют собой длинные железобетонные или бетонные резервуары, в который насыщается воздухом и перемешивается смесь очищаемой сточной воды и активного ила. Длина аэротенков колеблется в пределах 40–120 м, ширина 6–10 м, высота 4–5 м. Сточные воды поступают в аэротенки, как правило, после сооружений механической очистки.

Эффективность процесса очистки в аэротенках, качественное состояние и окислительная способность активного ила определяются условиями, к которым относятся: состав и свойства сточных вод, гидродинамические условия перемешивания, соотношение количества поданных загрязнений и жизнеспособного ила, кислородный режим в сооружении, температура, активная реакция среды, наличие элементов питания, присутствие активаторов или ингибиторов процесса и др. Аэротенки дают возможность эффективно влиять на скорость и полноту очистки сточных вод. Особенно это важно для производственных стоков, в которых колебание концентрации загрязнений достигает больших значений.

Аэротенки проектируют либо на полную, либо на частичную биологическую очистку. Схема работы аэротентов на полную очистку представлена на рис.2.18.

Прошедшая аэротенк сточная вода вместе с активным илом поступает во вторичный отстойник, где происходит отделение активного ила от сточной воды. Отделенный активный ил снова перекачивается в канал перед аэротенком для дальнейшего использования. Этот ил называется циркуляционным. Однако в процессе окисления им органического вещества количество ила в связи с ростом микроорганизмов и наличием органических загрязнений непрерывно возрастает. Поэтому часть ила приходится все время удалять.

Схема работы аэротенка на частичную очистку представлена на рис.2.19.

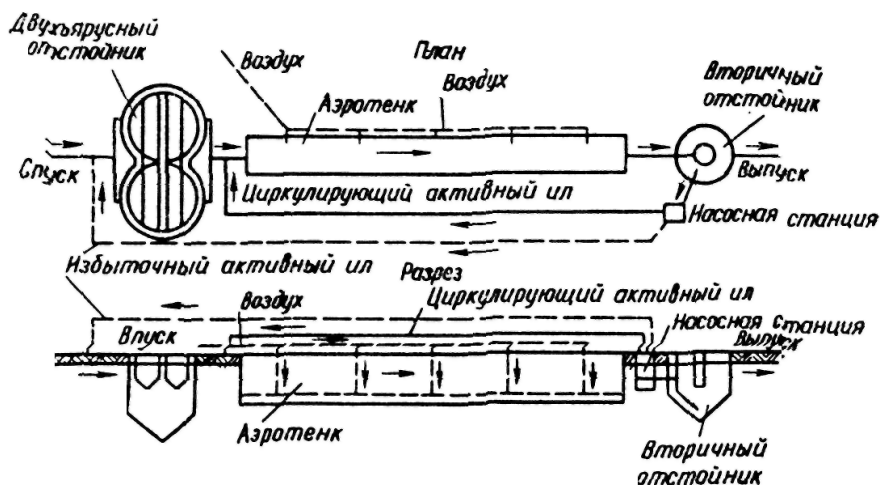


Рис. 2.18. Схема работы аэротенка на полную очистку

При частичной очистке сточной жидкости восстановление сорбирующей способности активного ила достигается дополнительной аэрацией в устанавливаемых для этой цели резервуарах, носящих название регенераторов.

Степень очистки сточной жидкости после аэротенков колеблется от 10 до 50 мг/л. Продолжительность аэрации составляет 4–12 ч. Окислительная мощность аэротенков зависит от степени загрязненности сточных вод. Так, для аэротенков, работающих на полную очистку, она составляет 500–2000 г/сут на 1 м³ загрузки. Концентрация активного ила 2–4 мг/л, расход воздуха на 1 м³ очищаемой воды составляет 20–25 м³ при высоте слоя в аэротенке 4 м.

Аэротенки могут быть одноступенчатые и двухступенчатые, при этом в том или другом случае их применяют как с регенерацией, так и без нее. На рис.2.20 представлены основные технологические схемы очистки сточных вод. Одноступенчатые аэротенки без регенерации применяют при БПК_{полн} сточной воды не более 150мг/л, с регенерацией – более 150мг/л и при наличии вредных производственных примесей. Двухступенчатые

аэротенки применяют при очистке высококонцентрированных сточных вод.

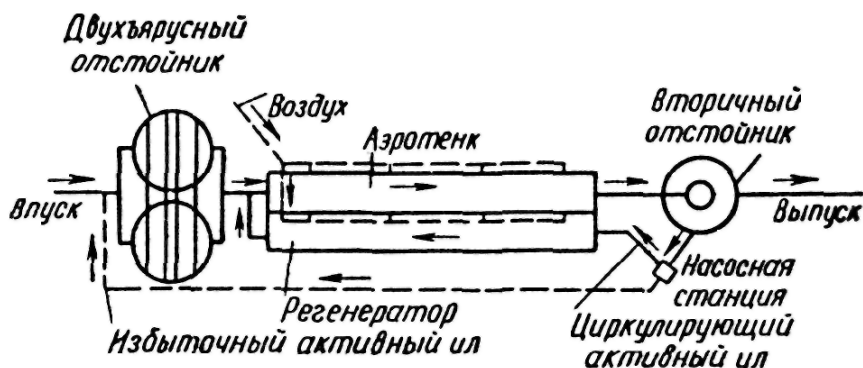


Рис.2.19. Схема работы аэротенка на частичную очистку

По структуре движения потоков очищаемой воды и возвратного ила аэротенки подразделяются на:

- аэротенки-вытеснители;
- аэротенки-смесители;
- аэротенки с рассредоточенной подачей сточной воды (аэротенки промежуточного типа).

В аэротенках-вытеснителях (рис.2.21а) вода и ил подаются в начало сооружения, а смесь отводится в конце его.

В аэротенках-смесителях (рис.2.21б) вода и ил подводятся и отводятся равномерно вдоль длинных сторон сооружения.

В аэротенках с рассредоточенной подачей воды (рис.2.21в) последняя подводится в нескольких точках по длине аэротенка, а отводится сосредоточенно в его торцевой части. Возвратный активный ил подается в начале аэротенка.

Аэротенки используют в чрезвычайно широком диапазоне расходов сточных вод от нескольких сот до миллионов кубических метров в сутки. Аэротенки-вытеснители целесообразно применять при величине БПК_{полн} поступающей воды до 300 мг/л, а аэротенки-смесители – до 1000 мг/л.

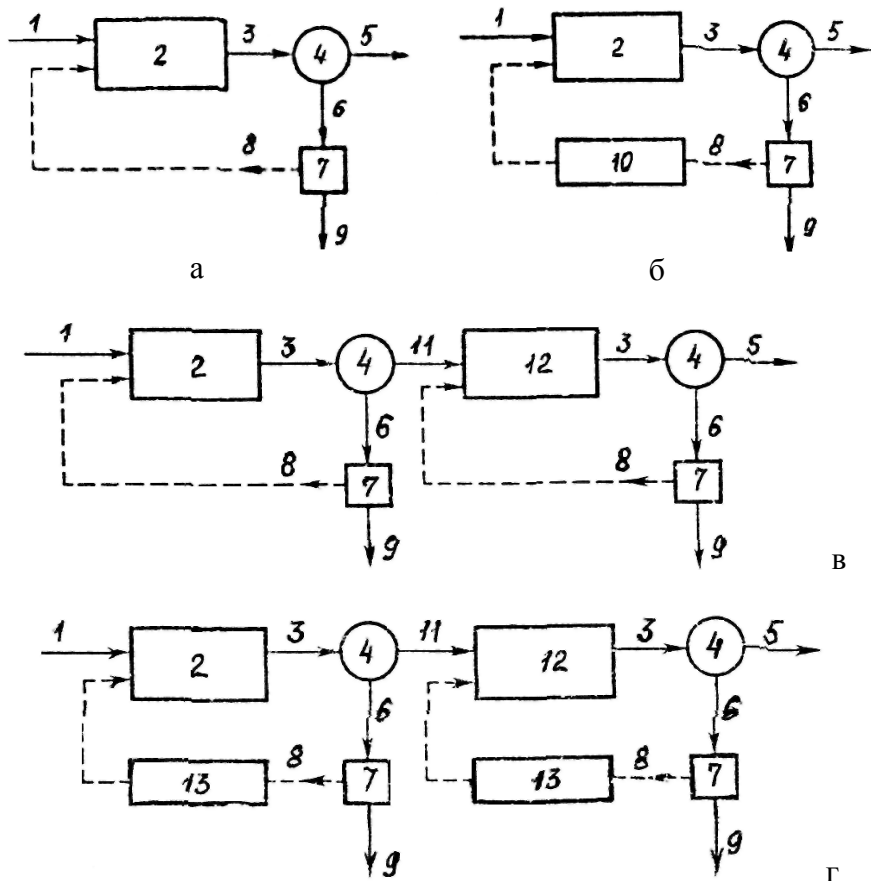


Рис. 2.20. Основные технологические схемы очистки сточных вод в аэротенках:

а – с одноступенчатым аэротенком без ренегерации; б – с одноступенчатым аэротенком с ренегерацией; в – с двухступенчатым аэротенком без ренегерации; г – с двухступенчатым аэротенком с ренегерацией;
1 – подача неочищенных сточных вод; 2 – аэротенк; 3 – выпуск иловой смеси; 4 – отстойник; 5 – выпуск очищенных сточных вод; 6 – выпуск отстаенного активного ила; 7 – иловая насосная станция; 8 – подача возвратного активного ила; 9 – выпуск избыточного активного ила;
10 – регенератор; 11 – выпуск сточных вод после первой ступени очистки; 12 – аэротенк второй ступени; 13 – регенератор второй ступени

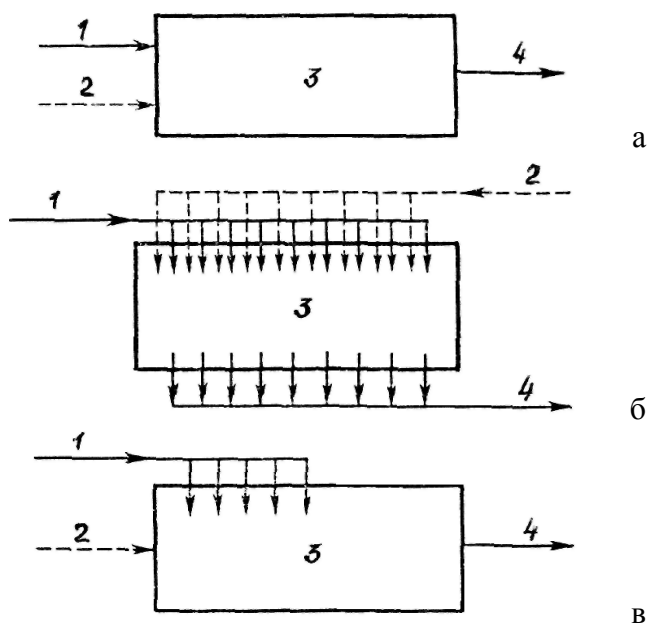


Рис. 2.21. Схемы аэротенков с различной структурой потоков сточной воды и возвратного активного ила:
 а – аэротенк-вытеснитель; б – аэротенк-смеситель;
 в – аэротенк с рассредоточенной подачей сточной воды;
 1 – подача сточной воды; 2 – подача возвратного
 активного ила; 3 – аэротенк; 4 – выпуск иловой смеси

Пример аэротенка-вытеснителя приведен на рис. 2.22.

Для обеспечения нормального хода процесса биологического окисления в аэротенк необходимо подавать воздух. Он обеспечивает снабжение жидкости кислородом, поддержание ила во взвешенном состоянии и постоянное перемешивание воды с илом.

Существуют следующие системы подачи (аэрации) воздуха в аэротенки (рис.2.23):

- пневматическая;
- механическая;
- смешанная или комбинированная.

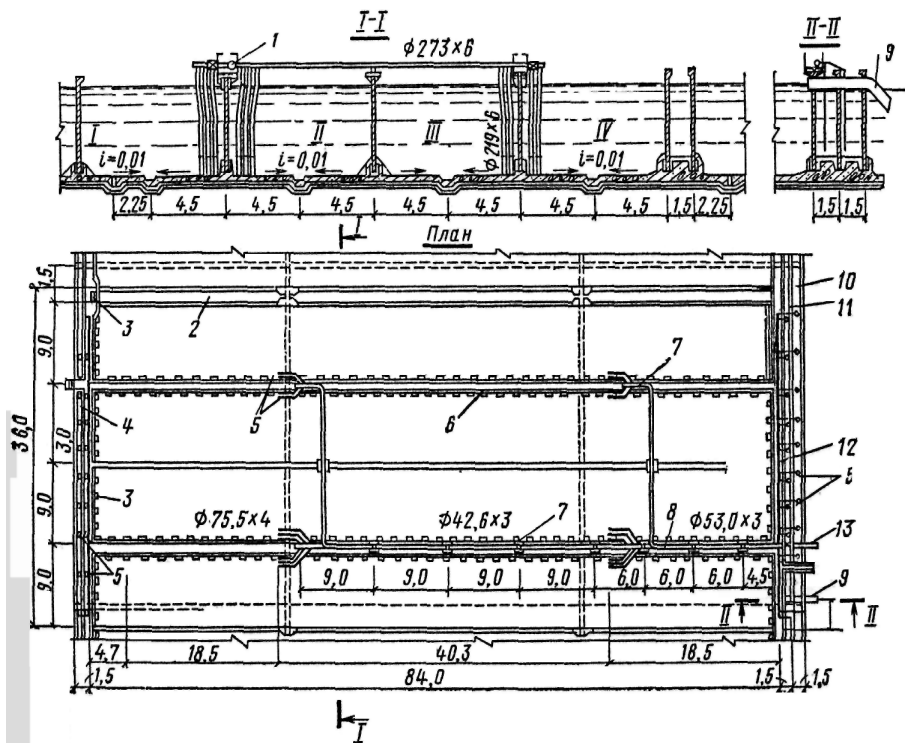


Рис. 2.22. Четырехкоридорный аэротенк:

- 1 – воздуховод; 2 – средний канал; 3 – щитовой затвор; 4 – верхний канал осветленной воды; 5 – воздушные стояки; 6 – водовывбросные стояки; 7 – скользящая опора; 8 – труба Вентури; 9 – трубопровод циркулирующего активного ила (от распределительной камеры); 10 – распределительный канал вторичных отстойников; 11 – нижний канал осветленной воды; 12 – воздуховод на канале; 13 – воздуховод секции

Пневматическую систему, при которой воздух нагнетается под давлением, подразделяют на:

- мелкопузырьчатую – размер пузырька 1 -4 мм;
- среднепузырьчатую – размер пузырька 5 -10 мм;
- крупнопузырьчатую – размер пузырька более 10мм.

В качестве распределительного устройства для воздуха в пневматических системах применяют фильтросные пластины и трубы, купола, диски, тканевые, керамические аэраторы и др.

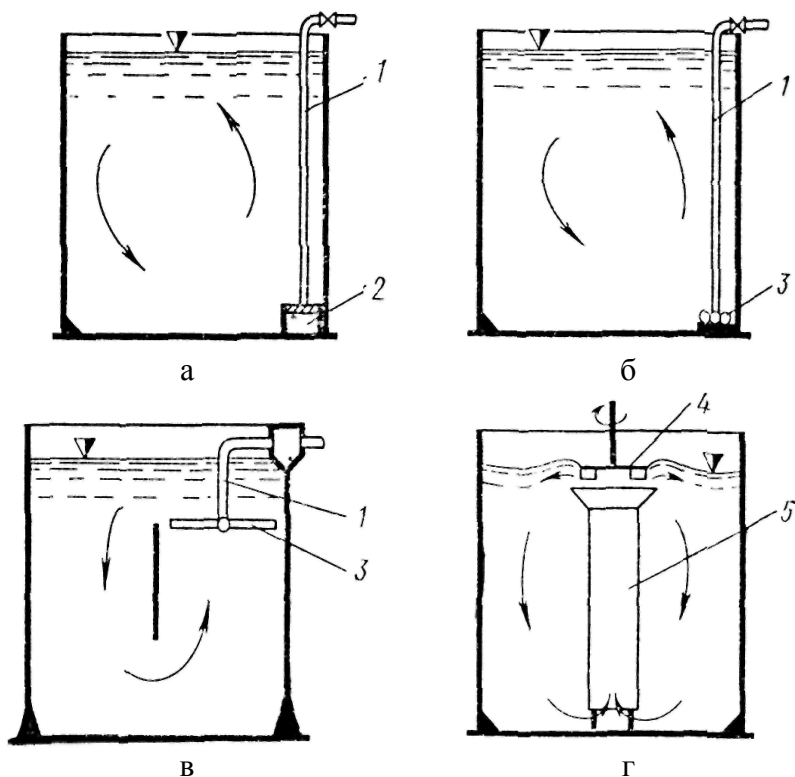


Рис. 2.23. Системы подачи воздуха в аэротенки:

а – пневматическая мелкопузырьчатая; б – пневматическая среднепузырьчатая; в – пневматическая низконапорная; г – механическая поверхностная; 1 – воздухоподводящие стояки; 2 – воздушный канал с фильтросными пластинами; 3 – дырчатые трубы; 4 – поверхностный аэратор дискового типа; 5 – стабилизатор потока

При механической системе аэрации в качестве источника кислорода используется непосредственно наружный воздух, вовлекаемый в аэротенк при вращении в нем жидкости мешалкой-аэратором. Механические аэраторы обычно классифицируют по типу расположения оси вращения ротора на горизонтальные и вертикальные. Наибольшее разнообразие видов имеют аэраторы с вертикальной осью вращения. Они могут располагаться либо на поверхности, либо в толще воды.

2.5.4. Расчет аэротенков

Задачей технологического расчета аэротенков является определение основных параметров системы: длительности аэрации, расхода воздуха и прироста ила. По ним устанавливаются размеры, конструкции и оборудование сооружений.

Зависимость между продолжительностью аэрации, степенью загрязненности сточных вод и средней скоростью окисления сточных вод в аэротенке определяется по формуле

$$\omega = (C - C_{\tau}) \cdot \tau, \quad (2.23)$$

где ω – скорость окисления сточных вод в мг O_2 на л/ч; C – БПК₂₀ поступающих в аэротенк сточных вод, мг/л; C_{τ} – БПК₂₀ очищенных сточных вод, мг/л; τ – продолжительность аэрации сточных вод, ч.

Скорость окисления ω в зависимости от дозы активного ила и природы органических загрязнений может быть определена по формуле

$$\omega = k \cdot C_{a.и.}, \quad (2.24)$$

где k – удельная скорость биохимического окисления одним граммом беззольного вещества активного ила данного вида органических загрязнений в мг/ч (для сточных вод электрообессоливающих установок (ЭЛОУ) равна 6, а для общих сточных вод – 10 мг/(г·ч)); $C_{a.и.}$ – доза сухого активного ила по беззольному веществу в иловой смеси аэротенка, г/л, определяется по формуле

$$C_{a.и.} = a \cdot (1 - s), \quad (2.25)$$

где a – концентрация активного ила, г/л; s – зольность ила, равная 0,25–0,35.

Объем загрузки аэротенка определяется по формуле

$$V = G' \cdot \tau, \quad (2.26)$$

где V – рабочий объем аэротенка, м^3 ; G' – расход сточной воды, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Выражая величину τ из формулы (2.23) и используя формулы (2.24) и (2.25), получим:

$$\tau = (C - C_\tau) / \omega = (C - C_\tau) / [\kappa \cdot a \cdot (1 - s)] \quad (2.27)$$

$$V = G' \cdot (C - C_\tau) / [\kappa \cdot a \cdot (1 - s)] \quad (2.28)$$

Пример решения задачи

Задание. Определить число аэротенков, необходимых для очистки сточных вод II системы канализации НПЗ мощностью 12 млн. тонн нефти в год.

Исходные данные: удельный расход сточных вод $g=1,5 \text{ м}^3/\text{т}$ нефти; зольность активного ила $s=0,30$; концентрация активного ила $a=3,5 \text{ мг/л}$; удельная скорость биохимического окисления $\kappa = 10 \text{ мг}/(\text{г} \cdot \text{ч})$; БПК₂₀ поступающей на очистку сточной воды $C=180 \text{ мг/л}$; БПК₂₀ после аэротенков $C_\tau=15 \text{ мг/л}$.

Решение:

1. Расход сточных вод определяется по формуле

$$G' = G \cdot g / (m \cdot 24), \quad (2.29)$$

где G' – расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$; G – расход нефти, т/год ; g – удельный расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{т}$ нефти; m – количество дней в году.

$$G' = 12\,000\,000 \cdot 1,5 / (365 \cdot 24) = 2055 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

2. Суммарный рабочий объем аэротенков определяется по формуле (2.28)

$$V = 2055 \cdot (180 - 15) / [10 \cdot 3,5 \cdot (1 - 0,30)] = 13840 \text{ м}^3.$$

Вывод: принимаем 3 аэротенка с размерами 100×10×5 м.
Общая емкость составит 15 000 м³.

Варианты контрольных заданий представлены в табл.2.7.

Варианты заданий № 6

Определить число аэротенков, необходимых для очистки сточных вод II системы канализации НПЗ мощностью G млн. тонн нефти в год.

Исходные данные: удельный расход сточных вод g м³/т нефти; зольность активного ила s ; концентрация активного ила a мг/л; удельная скорость биохимического окисления k мг/(г·ч); БПК₂₀ поступающей на очистку сточной воды C мг/л; БПК₂₀ после аэротенков C_τ мг/л.

Таблица 2.7 – Варианты расчетных контрольных заданий

Но- мер	G , млн. т/г	g , м ³ /т	s	a мг/л	k , мг/(г·ч)	C , мг/л	C_τ , мг/л
1	10	1,3	0,25	2,5	10	200	30
2	10	1,3	0,25	3,5	10	180	10
3	10	1,3	0,25	3,5	10	220	20
4	10	1,3	0,25	4,0	10	250	40
5	10	1,3	0,25	2,5	10	200	25
6	13	1,6	0,30	3,0	10	150	20
7	13	1,6	0,30	4,0	10	250	35
8	13	1,6	0,30	3,0	10	150	10
9	13	1,6	0,30	2,5	10	180	30
10	13	1,6	0,30	4,0	10	250	15
11	12	1,5	0,25	3,0	10	150	25

Продолжение таблицы 2.7.

12	12	1,5	0,25	3,5	10	200	40
13	12	1,5	0,25	3,5	10	180	15
14	12	1,5	0,25	4,0	10	200	10
15	12	1,5	0,25	3,0	10	200	30
16	14	1,8	0,35	3,5	10	180	30
17	14	1,8	0,35	2,5	10	150	10
18	14	1,8	0,35	3,5	10	200	25
19	14	1,8	0,35	3,5	10	150	20
20	14	1,8	0,35	3,5	10	200	35
21	10	1,3	0,30	3,5	10	180	40
22	10	1,3	0,30	3,0	10	150	15
23	10	1,3	0,30	3,5	10	180	25
24	10	1,3	0,30	3,5	10	180	20
25	10	1,3	0,30	3,5	10	180	35
26	12	1,5	0,35	4,0	10	250	30
27	12	1,5	0,35	3,5	10	200	15
28	12	1,5	0,35	3,0	10	150	35
29	12	1,5	0,35	4,0	10	200	20
30	12	1,5	0,35	2,5	10	150	40
31	10	1,3	0,25	2,0	10	200	30
32	10	1,3	0,25	3,0	10	200	30
33	10	1,3	0,25	3,5	10	200	30
34	10	1,3	0,25	4,0	10	200	30

Продолжение таблицы 2.7.

35	10	1,3	0,25	2,0	10	200	10
36	10	1,3	0,25	2,0	10	200	15
37	10	1,3	0,25	2,0	10	200	20
38	10	1,3	0,25	2,0	10	200	25
39	10	1,3	0,25	2,0	10	200	35
40	10	1,3	0,25	2,0	10	200	40
41	10	1,3	0,25	2,0	10	200	45
42	10	1,3	0,25	2,0	10	200	50
43	11	1,4	0,30	2,0	10	250	10
44	11	1,4	0,30	4,0	10	250	40
45	11	1,4	0,30	4,0	10	220	30
46	11	1,4	0,30	3,5	10	210	20
47	11	1,4	0,30	3,0	10	180	50
48	11	1,4	0,30	3,5	10	190	15
49	11	1,4	0,30	3,5	10	210	50
50	11	1,4	0,30	4,0	10	210	35

ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлев С.В. Механическая очистка сточных вод./ С.В. Яковлев, В.И.Калицун. –М: Стройиздат, 1972. – 200 с.
2. Яковлев С.В. Очистка производственных сточных вод./ С.В. Яковлев, Я.А.Карелин, Ю.М. Ласков, Ю.В.Воронов. –М: Стройиздат, 1979. – 320 с.
3. Танатаров М.А. Технологические расчеты установок переработки нефти/ М.А. Танатаров, М.Н. Ахметшина, Р.А. Фасхутдинов, Н.Д. Волошин, П.А. Золотарев. - М.: Химия, 1987. 352 с.
4. Яковлев С.В. Канализация. – М.: Литература по строительству, 1967. – 283 с.
5. Роев Г.А. Очистные сооружения газонефтеперекачивающих станций и нефтебаз/ Г.А. Роев. - М.: Недра, 1981. 240 с.
6. Роев Г.А. Очистные сооружения. Охрана окружающей среды/ Г.А. Роев. - М.: Недра, 1993. 281 с.
7. Расчет и проектирование предприятий нефтехимической промышленности / В.Г.Козин [и др.]. - Казань: Из-во КГТУ, 1998.- 226 с.
8. Общезаводское хозяйство нефтеперерабатывающего завода / М.Г. Рудин [и др.]. - Л.: Химия, 1978. – 312 с.
9. Стрижевский, И.И. Факельные установки / И.И.Стрижевский, А.И.Эльнатанов. - М.: Химия, 1979. – 184 с.
10. Ласков Ю.М. Примеры расчетов канализационных сооружений/ Ю.М.Ласков, Ю.В.Воронов, В.И.Калицун.- М.: Высш. школа, 1981.-232 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. Элементы системы по охране воздушного бассейна	4
1.1. Факельная система	4
1.2. Классификация факельных систем	6
1.3. Факторы, влияющие на безопасную эксплуатацию факельных установок	17
1.4. Расчет факельных систем	25
Варианты заданий №1	36
1.5. Выбросы из одиночного источника	39
Варианты заданий №2	49
2. Элементы канализационных очистных сооружений	54
2.1. Классификация сточных вод	54
2.2. Системы канализации нефтеперерабатывающего предприятия	56
2.3. Очистные сооружения	61
2.4. Сооружения механической очистки	
производственных сточных вод	62
2.4.1. Песколовки	64
2.4.2. Расчет песколовки	77
Варианты заданий №3	81
2.4.3. Нефтеловушки	84
2.4.4. Расчет нефтеловушки	86
Варианты заданий №4	88
2.5. Сооружения биологической очистки сточных вод	90
2.5.1. Биофильтры	93
2.5.2. Расчет биофильтров	100
Варианты заданий №5	104
2.5.3. Аэротенки	107
2.5.4. Расчет аэротенков	114
Варианты заданий №6	116
ЛИТЕРАТУРА	119