ГЛАВА 3
ЗАЩИТА ВОДНОГО БАССЕЙНА

§ 21. НОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ В ВОДОЕМАХ

Нормирование качества воды рек, озер и водохранилищ проводят в соответствии с «Санитарными правилами и нормами охраны поверхностных вод от загрязнения» (1988).

«Санитарные правила и правила охраны поверхностных вод от загрязнения» устанавливают две категории водоемов (или их участков): I — водоемы питьевого и культурно-бытового назначения и II — водоемы рыбохозяйственного назначения.

Состав и свойства воды водных объектов первого типа должны соответствовать нормам в створах, расположенных в водотоках на расстоянии одного километра выше ближайшего по течению, а в непроточных водоемах — в радиусе одного километра от пункта водопользования. Состав и свойства воды в рыбохозяйственных водоемах должны соответствовать нормам в месте выпуска сточных вод при рассеивающем выпуске (наличие течений), а при отсутствии рассеивающего выпуска — не далее чем в 500 м от места выпуска.

Правила устанавливают нормируемые значения для следующих параметров воды водоемов: содержание плавающих примесей и взвешенных веществ, запах, привкус, окраска и температура воды, значение pH, состав и концентрации минеральных примесей и растворенного в воде кислорода, биологическая потребность воды в кислороде, состав и предельно допустимая концентрация (ПДК) ядовитых и вредных веществ и болезнетворных бактерий.

Вредные и ядовитые вещества разнообразны по своему составу, в связи с чем их нормируют по принципу лимитирующего показателя вредности (ЛПВ), под которым понимают наиболее вероятное неблагоприятное воздействие каждого вещества. При нормировании качества воды в водоемах питьевого и культурно-бытового назначения используют три вида ЛПВ· санитарно-токсикологический, общесанитарный и органолептический. Для водоемов рыбохозяйственного назначения наряду с указанными используют еще два вида ЛПВ: токсикологический и рыбохозяйственный.

Санитарное состояние водоема отвечает требованиям норм при выполнении соотношения

$$\sum_{i=1}^{5(3)} c_m^i/\text{ПДК}_i \leqslant 1, \qquad (13)$$

где c^i_m — концентрация вещества i-го ЛПВ в расчетном створе водоема; ПДК_i — предельно допустимая концентрация i-го вещества.

Для водоемов питьевого и культурно-бытового назначения проверяют выполнение трех (13), для водоемов рыбохозяйственного назначения — пяти неравенств. При этом каждое вещество можно учитывать только в одном неравенстве.

Нормами установлены ПДК более 400 вредных веществ в водоемах питьевого и культурно-бытового назначения, а также более 100 вредных веществ в водоемах рыбохозяйственного назначения. ПДК вредных веществ в водоемах рыбохозяйственного назначения, как правило, меньше, чем в водоемах питьевого и культурно-бытового назначения. В табл. 44 представлены ПДК некоторых веществ в воде водоемов.

Таблица 44

Вещество	Водоемы I категории		Водоемы II категории	
	ЛПВ	ПДК, г/м³	ЛПВ	ПДК, г/м³
Бензол	Санитарно токсикологический	0,5	Токсикологический	0,5
Фенолы	Органо лептический	0,001	Рыбохозяйственный	0,001
Бензин, керосин	То же	0,1	То же	0,05
Cd^{2+}	Санитарно токсикологический	0,01	Токсикологический	0,005
Cu^{2+}	Органо-лептический	1	То же	0,01
Zn^{2+}	Общесанитарный	1	»	0,01
Цианиды	Санитарно токсикологический	0,1	»	0,05
Cr^{6+}	Органолептический	0,1	—	0

«Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения» запрещают сбрасывать в водоемы сточные воды, если этого можно избежать, используя более рациональную технологию, безводные процессы и системы повторного и оборотного водоснабжения; если сточные воды содержат ценные отходы, которые можно было бы утилизировать; если сточные воды содержат сырье, реагенты и продукцию предприятий в количествах, превышающих технологические потери; если сточные воды содержат вещества, для которых не установлены ПДК.

§ 22. РАСЧЕТ ДОПУСТИМОГО СОСТАВА СТОЧНЫХ ВОД

Определение допустимого состава сточных вод проводят в зависимости от преобладающего вида примесей и с учетом характеристик водоема, в который сбрасывают сточные воды.

Расчет допустимого состава сточных вод по концентрации взвешенных веществ. Допустимую концентрацию взвешенных веществ в очищенных сточных водах определяют по формуле

$$c_0^{взв} \leqslant c_в^{взв} + n ПДК^{взв},$$

где $c_в^{взв}$ — концентрация взвешенных веществ в воде водоема до сброса в него сточных вод; $ПДК^{взв}$ — предельно допустимая концентрация взвешенных веществ в водоеме; n — кратность разбавления сточных вод в воде водоема, характеризующая долю расхода воды водоема, участвующей в процессе перемешивания и разбавления сточных вод.

Расчет допустимого состава сточных вод по концентрации растворенных вредных веществ. Концентрацию каждого из растворенных вредных веществ в очищенных сточных водах определяют по формуле

$$c_0^i \leqslant n\left(c_m^i - c_в^i\right) + c_в^i,$$

где $c^i_в$ — концентрация i-го вещества в воде водоема до сброса сточных вод; c^i_m — максимально допустимая концентрация того же вещества с учетом максимальных концентраций и ПДК всех веществ, относящихся к одной группе ЛПВ, вычисленная по формуле

$$c_m^i = ПКД_i\left(1 - \sum_{i=1}^{i-1} \frac{c_m^i}{ПДК^i}\right). \qquad (14)$$

Расчет кратности разбавления сточных вод в водоемах. Разбавление сточных вод — это процесс уменьшения концентрации примесей в водоемах, вызванный перемешиванием сточных вод с водной средой, в которую они выпускаются. Интенсивность процесса разбавления количественно характеризуется кратностью разбавления:

$$n = (c_0 - c_в)/(c - c_в),$$

где c_0 — концентрация загрязняющих веществ в выпускаемых сточных водах; $c_в$ и c — концентрации загрязняющих веществ в водоеме до и после выпуска соответственно.

Для водоемов с направленным течением кратность разбавления удобнее определять по формуле

$$n = (mQ_в + Q_V)/Q_V, \qquad (15)$$

где Q_V — объемный расход сточных вод, сбрасываемых в водоем с объемным расходом воды $Q_в$; m — коэффициент смешения, показывающий, какая часть расхода воды в водоеме участвует в смешении.

Распространение примесей сточных вод обычно происходит в направлении установившихся течений в водоемах, в этом же направлении увеличивается и кратность разбавления. В начальном

сечении (место выпуска) кратность разбавления равна единице и в пределе, когда в процессе перемешивания участвует весь возможный для данного водоема расход среды, наступает полное перемешивание.

При условии полного перемешивания сточных вод концентрация примесей в водоеме в произвольный момент времени равна:

$$c = t\left(c_0 Q_V + \sum c_в Q_в\right)/V,$$

где $t = V/(Q_V + \Sigma Q_в - Q_п)$ — период полного обмена воды в водоеме; V — объем водоема; $Q_п$ — потери расхода воды в водоеме без уноса примесей, например при испарении.

При проектировании и реконструкции машиностроительных предприятий, расположенных вблизи рек, в первую очередь необходимо оценить возможность сброса производственных сточных вод в реку. Наиболее прост расчет по методу Фролова — Родзиллера. Он основан на решении дифференциального уравнения турбулентной диффузии [11] при следующих допущениях: речной поток считается безграничным, начальное разбавление отсутствует, выпуск сточных вод сосредоточенный. Следует отметить, что для рек зона начального разбавления значительно короче, чем для озер и водохранилищ, поэтому в большинстве методик расчета разбавления сточных вод в реках начальное разбавление не учитывают. Этим методом определяют концентрацию примесей для максимально загрязненной струи потока реки без уточнения расположения этой струи, ее формы и размеров:

$$c_{max} = c + (c_0 - c)\, e^{-k\sqrt[3]{L}},$$

$k = \psi\varphi\sqrt[3]{D_т/Q_V}$ — коэффициент, характеризующий гидравлические условия смешения; ψ — коэффициент, характеризующий место расположения выпуска сточных вод (для берегового выпуска $\psi = 1$, для выпуска в сечении русла $\psi = 1{,}5$); $\varphi = L/L_п$ — коэффициент извилистости русла; L — длина русла от сечения выпуска до расчетного створа; $L_п$ — расстояние между этими же параллельными сечениями в нормальном направлении; $D_т$ — коэффициент турбулентной диффузии, определяемый по формуле Караушева: $D_т = gHw_x/Mc_Ш$, где g — ускорение силы тяжести; H — средняя глубина русла по длине смешения; w_x — средняя по сечению русла скорость течения реки на удалении L от места выпуска сточных вод; $c_Ш = 40...44$ м^{0,5}/с — коэффициент Шези [21]; M — функция коэффициента Шези, для воды $M = 22{,}3$ м^{0,5}/с.

Кратность разбавления определяют по формуле (15), а коэффициент смешения — по уравнению

$$m = \frac{1 - e^{-k\sqrt[3]{L}}}{1 + (Q_в/Q_V)\, e^{-k\sqrt[3]{L}}}.$$

Условия смешения сточных вод с водами озер и водохранилищ значительно отличаются от условий смешения в реках. Концентрация примесей значительно уменьшается в начальной зоне смешения, но полное перемешивание происходит на значительно больших удалениях от места выпуска, чем в реках. Кроме того, изменяющиеся во времени направление и значение скорости движения воздуха над озерами и водохранилищами переносят загрязнения в различном направлении от места выпуска. Расчет разбавления сточных вод в озерах и водохранилищах проводят двумя методами: методом Руффеля и методом Лапшева [11]. Метод Руффеля применяется с использованием конечных разностей при решении дифференциального уравнения турбулентной диффузии.

§ 23. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

При выборе способов и технологического оборудования для очистки сточных вод от примесей необходимо учитывать, что заданные эффективность и надежность работы любого очистного устройства обеспечиваются в определенном диапазоне значений концентраций примесей и расходов сточной воды. Большинство цехов машиностроительных предприятий характеризуется постоянством расхода и состава сточных вод, однако в некоторых технологических процессах имеют место кратковременные изменения, что может существенно уменьшить эффективность работы очистных устройств или вывести их из строя. Например, залповые сбросы отработанных технологических растворов в термических, травильных и гальванических цехах вызывают существенное увеличение концентрации тяжелых металлов в сточных водах на входе в очистные сооружения. Быстрое таяние снега, а также интенсивные дожди вызывают существенное увеличение расхода поверхностных сточных вод на входе в очистные сооружения.

Для обеспечения нормальной эксплуатации очистных сооружений в указанных случаях необходимо усреднение концентрации примесей или расхода сточной воды, а в некоторых случаях и по обоим показателям одновременно. С этой целью на входе в очистные сооружения устанавливают усреднители, выбор и расчет которых определяются характеристиками залповых сбросов. Например, методика расчета усреднителей концентрации примесей, заключающегося в определении объема усреднителя, зависит от значения коэффициента подавления

$$k_{п} = (c_{max} - c_{ср})/(c_{д} - c_{ср}),$$

где c_{max} — максимальная концентрация примесей в залповых сбросах сточной воды; $c_{ср}$ — средняя концентрация примесей в сточной воде на входе в очистные устройства; $c_{д}$ — допустимая концентрация примесей в сточной воде, при которой обеспечивается нормальная эксплуатация очистных сооружений. При $k_{п} \geqslant 5$ объем усредни-

теля определяют по формуле $V=k_п\Delta Q\tau_з$, где ΔQ — превышение расхода сточных вод при залповом сбросе; $\tau_з$ — продолжительность залпового сброса. При $k_п<5$ объем усреднителя определяют по формуле $V=\Delta Q\tau_з/\ln[k_п/(k_п-1)]$. После расчета объема усреднителя выбирают необходимое число секций, исходя из условия $\Delta QH/V\leqslant w_д$, где H — высота секции усреднителя; $w_д=0{,}0025$ м/с — допустимая скорость движения сточной воды в усреднителе.

Существует большое количество способов очистки сточных вод и различные виды их классификации. Выбор необходимых способов при проектировании станций очистки, как правило, основывается на виде и концентрации преобладающих примесей сточных вод, а именно механических (взвешенных), растворенных и органических.

Очистка сточных вод от твердых частиц в зависимости от их свойств, концентрации и фракционного состава на машиностроительных предприятиях осуществляется методами процеживания, отстаивания, отделения твердых частиц в поле действия центробежных сил и фильтрования.

Процеживание — первичная стадия очистки сточных вод — предназначено для выделения из сточных вод крупных нерастворимых примесей размером до 25 мм, а также более мелких волокнистых загрязнений, которые в процессе дальнейшей обработки стоков препятствуют нормальной работе очистного оборудования. Процеживание сточных вод осуществляется пропусканием воды через решетки и волокноуловители.

Решетки, изготовленные из металлических стержней с зазором между ними 5÷25 мм, устанавливают в коллекторах сточных вод вертикально или под углом 60÷70° к горизонту. Размеры поперечного сечения решеток выбирают из условия минимальных потерь давления потока на решетке. Скорость сточной воды в зазоре между стержнями решетки не должна превышать значений 0,8÷1,0 м/с при максимальном расходе сточных вод. Расчет решеток сводится к определению числа зазоров n, ширины решетки B и потерь напора Δp сточной воды на ней по формулам:

$$n = 1{,}05\,[Q_V/(bHw_п)],$$

где Q_V — объемный расход сточной воды; b — ширина прозора; H — глубина коллектора; $w_п$ — скорость движения сточной воды в прозорах;

$$B = bn + \delta(n-1),$$

где δ — толщина стержня;

$$\Delta p = \xi k\rho w^2/2,$$

где w — скорость в канале перед решеткой ($w=0{,}7\div0{,}8$ м/с); k — коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления решетки в процессе осаждения в ее зазорах примесей сточных вод, принимается равным 2÷3; ξ — коэффициент местного сопротивления решеток;

$\xi = \beta(\delta/b)^{4/3}\sin\alpha$; β — коэффициент, характеризующий форму поперечного сечения стержней решетки: для круглых стержней β равно 1,79, прямоугольных — 2,42; овальных — 1,83, α — угол наклона решетки к горизонту.

При эксплуатации решетки должны непрерывно очищаться, что осуществляется, как правило, механически, и лишь при задержании примесей в количествах менее 0,0042 м³/ч допускается ручная очистка. Промышленность выпускает вертикальные решетки марки РММВ-1000, применяемые при ширине и глубине коллектора, равных 1000 мм, а также наклонные решетки марок МГ $\frac{800}{1200}$ 98, МГ $\frac{1600}{2000}$ 98, используемые при ширине коллектора, равной 800 (1600) мм, и глубине 1200 (2000) мм. Эти решетки очищают от задерживаемых примесей механически с помощью вертикальных (РММВ-1000) и поворотных граблей. В зависимости от состава примеси, снятые с решеток, измельчают на специальных дробилках и сбрасывают в поток сточной воды за решеткой или направляют на переработку. Однако эта процедура усложняет технологическую схему очистки сточных вод и ухудшает качество воздушной среды в помещениях очистных станций. Для устранения этих недостатков применяют решетки-дробилки, измельчающие задержанные примеси, не извлекая их из воды. Промышленность выпускает решетки-дробилки марок РД-200 и РД-600 с диаметром барабанов соответственно 200 и 600 мм. Средний размер измельченных ими примесей не превышает 10 мм.

Отстаивание основано на особенностях процесса осаждения твердых частиц в жидкости. При этом может иметь место свободное осаждение неслипающихся частиц, сохранивших свои формы и размеры, и осаждение частиц, склонных к коагулированию и изменяющих при этом свою форму и размеры. Закономерности свободного осаждения частиц практически сохраняются при объемной концентрации осаждающихся частиц до 1%, что соответствует их массовой концентрации не более 2,6 кг/м³ (для частиц с $\rho = 2600$ кг/м³).

Расчет очистных сооружений для отстаивания сточных вод требует определения скорости осаждения (скорости витания) твердых частиц в жидкости. Скорость осаждения w_0 может быть получена решением уравнения Стокса для движения сферической частицы в жидкости с учетом влияния силы гидравлического сопротивления, массовых сил и силы Архимеда:

$$w_0 = \frac{g d_ч^2}{18} \frac{\rho_ч - \rho_ж}{\mu_ж}. \qquad (16)$$

Уравнение (16) справедливо для ламинарного режима движения (осаждения) частицы в жидкости. С увеличением размеров частиц скорости их осаждения возрастают и ламинарный режим тече-

ния нарушается. Для крупных частиц ($d_ч > 1$ мм) скорость осаждения определяется по формуле Риттенгера

$$w_0 = k\sqrt{g d_ч \frac{\rho_ч - \rho_ж}{\mu_ж}},$$

где k — коэффициент, зависящий от формы и состояния поверхности частиц. Экспериментальные исследования показали, что в зависимости от вида частиц, их формы, размеров и состояния поверхности величина коэффициента k составляет 1,2...2,3 [6].

Очистку сточных вод отстаиванием осуществляют в песколовках и отстойниках. Песколовки применяют для выделения частиц песка (стоки литейных цехов), окалины (стоки кузнечно-прессовых и прокатных цехов) и т. д. В зависимости от направления движения сточной воды песколовки делят на горизонтальные с прямолинейным и круговым движением воды, вертикальные и аэрируемые песколовки.

На рис. 54 представлена схема горизонтальной песколовки с прямолинейным движением сточной воды, поступающей в песколовку *2* через входной патрубок *1*. Оседающие в процессе движения воды твердые частицы скапливаются в шламосборнике *3* и на дне песколовки, а очищенная сточная вода через выходной патрубок *4* направляется для дальнейшей обработки. Удаление осадка из песколовок осуществляют, как правило, ежесуточно. Глубину h_1 выбирают из условия $h_1/w_0 \leqslant \tau_{пр}$, где $\tau_{пр}$ — время движения воды в пес-

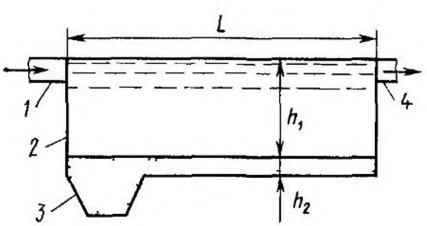


Рис. 54 Схема горизонтальной песколовки

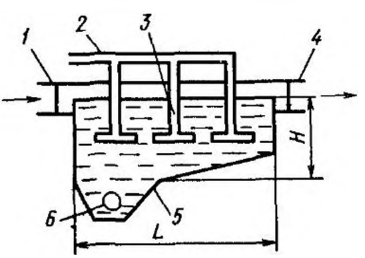


Рис. 55. Схема аэрируемой песколовки

коловке, составляет обычно 30...100 с. Длину песколовки определяют по формуле $L = kh_1w/w_0$, где $w = 0{,}15...0{,}3$ м/с — скорость движения воды в песколовке; $k = 1{,}3...1{,}7$ — коэффициент, учитывающий влияние турбулентности и неравномерности скоростей движения сточной воды в песколовке. Ширину B песколовки определяют с учетом реализации заданного расхода сточных вод (Q); $B = Q/h_1wn$, где n — число секций в песколовке.

Расчет вертикальных песколовок заключается в определении требуемой ее глубины $H = \tau_{пр}w_у$ в предположении $w_0 > w_у$, где $w_у = 0{,}03...0{,}04$ м/с — вертикальная составляющая скорости движения

воды; время пребывания сточной воды в песколовке для практических расчетов принимают 120 с.

Для разделения твердых частиц по фракционному составу или по плотности применяют аэрируемые песколовки (рис. 55), в состав которых входят входная труба *1*, воздуховод *2*, воздухораспределители *3*, выходная труба *4*, шламосборник *5* с отверстием *6* для удаления шлама. Крупные фракции осаждаются, как и в горизонтальных песколовках. Мелкие же частицы, обволакиваясь пузырьками воздуха, всплывают наверх и с помощью скребковых механизмов удаляются с поверхности. Длина таких песколовок $L=w_x H/w_0$. Время пребывания сточной воды в песколовке составляет 30...90 с, $w_x=0{,}1...0{,}2$ м/с, удельный расход аэрируемого воздуха 0,00083...0,0014 $м^3/(м^2 \cdot с)$.

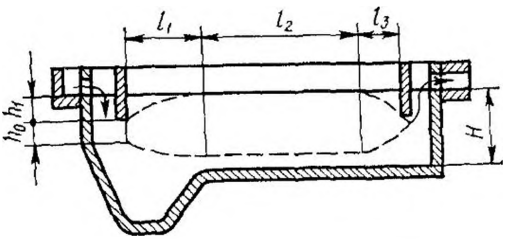


Рис. 56. Расчетная схема горизонтального отстойника

Отстойники используют для выделения из сточных вод твердых частиц размером менее 0,25 мм. По направлению движения сточной воды в отстойниках последние делят на горизонтальные, вертикальные, радиальные и комбинированные.

При расчете отстойников определяют его длину и высоту. Существует несколько методов расчета длины отстойников, отличающихся физической моделью течения жидкости в нем с учетом завихрений жидкости, осаждения частиц и т. п. На рис. 56 представлена расчетная схема горизонтального отстойника, предложенная А. И. Жуковым. Здесь отстойник по длине разбит на три зоны: в первой зоне длиной l_1 наблюдается неравномерное распределение скоростей по глубине потока. Длина этой зоны $l_1=\sqrt[1,15]{(H-h_0)/k}$, где h_0 — высота движущегося слоя в начале отстойника, принимается равной 0,25 H; $k=(0{,}018 \div 0{,}02)w_x$.

Во второй зоне длиной l_2 скорость потока считается постоянной. При движении в этой зоне большая часть частиц загрязнений должна осесть в иловую часть отстойника, поэтому $l_2=(H-h_1)w_x/(w_0-0{,}5w_x)$, где h_1 — максимально возможная высота подъема частицы в первой зоне.

В третьей зоне длиной l_3 скорость потока увеличивается, и условия осаждения частиц ухудшаются. Длина этой зоны определяется по формуле $l_3=H/\operatorname{tg}\alpha$, где α — угол сужения потока жидкости в выходной части отстойника, принимается равным 25—30°.

Для расчета длины отстойника $L=l_1+l_2+l_3$ должны быть заданы: расход сточной воды и геометрические размеры поперечного сечения отстойника.

На рис. 57 представлена схема вертикального отстойника, в который очищаемая сточная вода поступает по трубопроводу *5* в кольцевую зону, образованную цилиндрической перегородкой *2* и корпусом *6* отстойника. В процессе вертикального движения сточная вода встречает на своем пути отражательное кольцо *7*, направляющее поток воды во внутреннюю полость перегородки *2*, а твердые частицы оседают в шламосборник *8*. Очищенная сточная вода поступает в кольцевой водосборник *3* и через трубопровод *1* выводится из отстойника. Осадок, скапливающийся в шламосборнике *8*, периодически удаляется из него через трубопровод *4*. При заданном расходе очищаемой сточной воды геометрические размеры отстойника выбирают таким образом, чтобы скорость движения сточной воды в кольцевой зоне не превышала скорость оседания твердых частиц в воде. Вертикальные отстойники используют для выделения окалины из сточных вод кузнечно-прессовых и прокатных цехов.

Широкое применение для очистки производственных сточных вод на больших заводах находят радиальные отстойники, облада

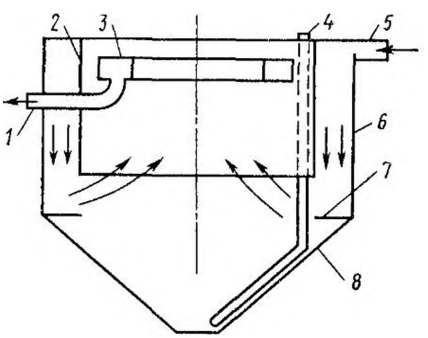


Рис. 57. Схема вертикального отстойника

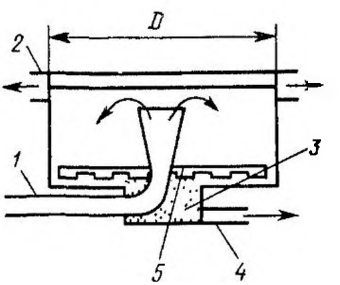


Рис. 58. Схема радиального отстойника

ющие высокой производительностью. Очищаемая сточная вода (рис. 58) по входному патрубку *1* с расширяющимся диаметром сечения на выходе поступает в отстойник и движется в радиальном направлении. Увеличение выходного диаметра патрубка обеспечивает при заданном расходе уменьшение скорости истечения сточной воды из трубопровода и, следовательно, увеличение вероятности ламинарного осаждения твердых частиц в отстойнике. Очищенная сточная вода по отводящим трубопроводам *2* направляется для дальнейшей обработки, а шлам направляется в шламосборник *3* вращающимся скребком *5* и через канал *4* периодически удаляется из отстойника. Диаметр отстойника рассчитывают

скорости осаждения наиболее мелких твердых частиц $w_{o\,max}$, задерживаемых в отстойнике $D=\sqrt{Q/\pi w_{o\,max}}$. На промышленных предприятиях используют радиальные отстойники конструкции ВНИИ ВОДГЕО производительностью 0,2..0,362 м³/с.

Отделение твердых примесей в поле действия центробежных сил осуществляется в открытых или напорных гидроциклонах и центрифугах.

Открытые гидроциклоны применяют для отделения из сточных вод крупных твердых частиц со скоростью осаждения более

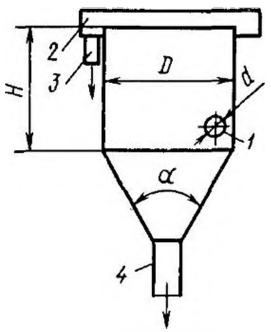


Рис 59. Схема открытого гидроциклона

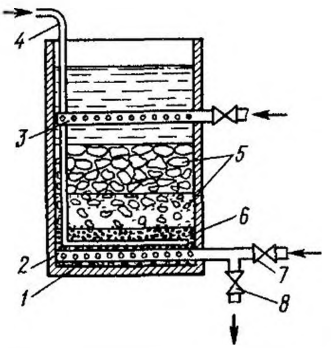


Рис. 60 Схема каркасно-насыпного фильтра

02 м/с. Преимущества открытых гидроциклонов перед напорными — большая производительность и малые потери напора, не превышающие 0,5 кПа. Эффективность очистки сточных вод от твердых частиц в гидроциклонах зависит от характеристик примесей (вида материала, размеров и формы частиц и др.), а также от конструкционных и геометрических характеристик самого гидроциклона.

На рис. 59 представлена схема открытого гидроциклона, состоящего из входного патрубка *1*, кольцевого водослива *2*, трубы для отвода очищенной воды *3* и шламоотводящей трубы *4*. Кроме указанной схемы известны гидроциклоны с нижним отводом очищенной воды и циклоны с внутренней цилиндрической перегородкой.

Производительность открытого гидроциклона $Q_V=0{,}785\,qD^2$, где D — диаметр цилиндрической части гидроциклона; q — удельный расход воды, определяемый по формуле $q=4{,}32\,w_o$; для открытых гидроциклонов с внутренней цилиндрической перегородкой $=7{,}15\,w_o$.

При проектировании открытых гидроциклонов рекомендуются следующие значения геометрических характеристик: $D=2...10$ м; высота цилиндрической части $H=D$; диаметр входного отверстия

$d=0{,}1\,D$ (при одном отверстии), при двух входных отверстиях $d=0{,}0707\,D$; угол конической части $\alpha=60°$.

Напорные гидроциклоны по конструкции аналогичны циклонам для очистки газов от твердых частиц (см. рис. 8). Их производительность определяют по формуле $Q=kDd\sqrt{2\Delta p/\rho}$, где k — коэффициент, зависящий от условий входа сточной воды в гидроциклон; для гидроциклонов с диаметром D цилиндрической части 0,125...0,6 м и углом конической части 30° значение $k=0{,}524$; Δp — перепад давлений воды в гидроциклоне; ρ — плотность очищаемой сточной воды.

Фильтрование сточных вод предназначено для очистки их от тонкодисперсных твердых примесей с небольшой концентрацией. Процесс фильтрования применяется также после физико-химических и биологических методов очистки, так как некоторые из этих методов сопровождаются выделением в очищаемую жидкость механических загрязнений.

Для очистки сточных вод машиностроительных предприятий используют два класса фильтров. зернистые, в которых очищаемую жидкость пропускают через насадки несвязанных пористых материалов, и микрофильтры, фильтроэлементы которых изготовлены из связанных пористых материалов.

В зернистых фильтрах широко используют в качестве фильтро-

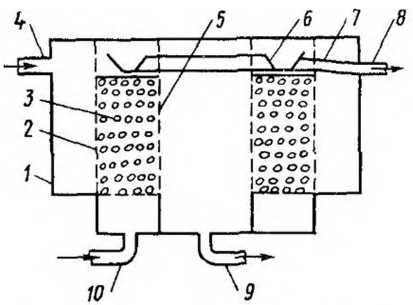


Рис. 61. Схема зернистого фильтра

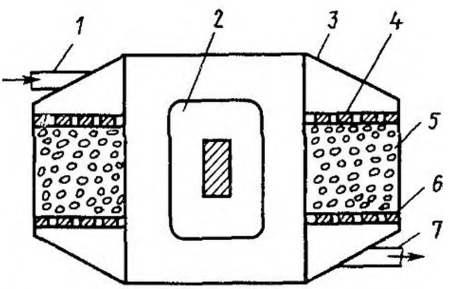


Рис. 62. Схема электромагнитного фильтра

материалов кварцевый песок, дробленый шлак, гравий, антрацит и т. п. Зернистые фильтры изготавливают однослойными и многослойными. На рис. 60 представлена схема каркасно-насыпного фильтра. Очищаемая сточная вода поступает по коллектору *3* и через отверстия в нем равномерно распределяется по сечению фильтра. Нисходящий поток сточной воды проходит через слои гравия *5* и песка *6*, через перфорированное днище *2*, установленное на поддерживающем слое *1* гравия и через трубопровод *8* отводится из фильтра. Регенерацию фильтра осуществляют продув-

кой сжатого воздуха, подаваемого в фильтр по трубопроводу *4*, с последующей обратной промывкой водой через вентиль *7*. Скорость фильтрования в данном фильтре составляет 0,0014...0,002 м/с для сточной воды, поступающей в фильтр из циклона или отстойника; для сточной воды, поступающей в фильтр после биологической очистки, — не более 0,0028 м/с.

На рис. 61 представлена схема зернистого фильтра для очистки больших расходов сточных вод от твердых примесей. Сточная вода по трубопроводу *4* поступает в корпус *1* фильтра и проходит через фильтровальную загрузку *3* из частиц мраморной крошки, шунгизита и т. п., расположенную между пористыми перегородками *2* и *5*. Очищенная от твердых частиц сточная вода скапливается в объеме, ограниченном пористой перегородкой *5*, и выводится из фильтра через трубопровод *9*. По мере осаждения твердых частиц в фильтровальном материале перепад давления на фильтре увеличивается и при достижении предельного значения перекрывается входной трубопровод *4* и по трубопроводу *10* подается сжатый воздух, вытесняя из фильтровального слоя *3* воду и твердые частицы в желоб *6*, которые через трубопроводы *7* и *8* выводятся из фильтра. Достоинством конструкции фильтра являются развитая поверхность фильтрования, простота и высокая эффективность.

Для очистки сточных вод кузнечно-прессовых и прокатных цехов от ферромагнитных примесей применяют электромагнитные фильтры (рис. 62), в которых используют пондермоторные силы взаимодействия между намагниченной фильтровальной загрузкой и ферромагнитными примесями сточной воды. Исходная сточная вода через трубопровод *1* поступает в корпус *3* из немагнитного материала, проходит через ограничительную решетку *4*, фильтровальную загрузку *5* из ферромагнитных частиц с толщиной слоя 0,15...0,2 м; опорную решетку *6* и выводится из фильтра по трубопроводу *7*. Намагничивание фильтровальной загрузки осуществляют магнитным полем, создаваемым катушкой индуктивности *2* с ферромагнитным сердечником. Эффективность очистки сточных вод от ферромагнитных и немагнитных примесей составляет соответственно 95...98 и 40...60%. Регенерацию фильтра осуществляют при выключенном электромагнитном поле неочищенной сточной водой в направлении фильтрования или в обратном направлении чистой водой.

Очистка сточных вод от маслопродуктов в зависимости от их состава и концентрации осуществляется на машиностроительных предприятиях отстаиванием, обработкой в гидроциклонах, флотацией и фильтрованием.

Отстаивание основано на закономерностях всплывания маслопродуктов в воде по тем же законам, что и осаждение твердых частиц. Процесс отстаивания осуществляется в отстойниках и маслоловушках. При проектировании очистных сооружений предусматривают использование отстойников как для осаждения твердых частиц, так и для всплывания маслопродуктов. При этом расчет

длины отстойника проводят по скорости осаждения твердых частиц и по скорости всплывания маслопродуктов и принимают максимальное из двух значений.

Конструкция маслоловушек аналогична конструкции горизонтального отстойника. При среднем времени пребывания сточной воды в маслоловушке, равном двум часам, скорость ее движения составляет 0,003...0,008 м/с. В результате отстаивания маслопродукты, содержащиеся в воде, всплывают на поверхность, откуда удаляются маслосборным устройством. Для расчета маслоловушек необходимо знать скорость всплывания маслопродуктов, которую определяют по формуле (16), и расход сточной воды. Тогда расчет сводится к определению геометрических размеров ловушки и времени отстаивания сточной воды.

Для очистки концентрированных маслосодержащих сточных вод машиностроительных предприятий, например стоков охлаждающих жидкостей металлорежущих станков, широко применяют обработку сточных вод специальными реагентами, способствующими коагуляции примесей в эмульсиях. В качестве реагентов используют Na_2CO_3, H_2SO_4, NaCl, $Al_2(SO_4)_3$, смесь NaCl и $Al_2(SO_4)_3$ и др.

В табл. 45 приведены значения эффективности очистки от масел сточных вод Челябинского трубопрокатного завода в отстойниках без обработки и с обработкой реагентами. Концентрация масла на входе в отстойник изменялась от 0,05 до 0,63 кг/м³.

Отделение маслопродуктов в поле действия центробежных сил осуществляют в напорных гидроциклонах. При этом целесообразнее использовать напорный гидроциклон для одновременного выделения и твердых частиц и маслопродуктов, что необходимо учитывать в конструкции гидроциклона. На рис. 63 представлена схема напорного гидроциклона, предназначенного для очистки сточной воды от металлической окалины и масла. Исходная сточная вода через установленный тангенциально по отношению к корпусу гидроциклона входной трубопровод *1* поступает в гидроциклон. Вследствие закручивания потока сточной воды твердые частицы отбра-

Таблица 45

Реагенты	Расход реагента, кг/м³	Эффективность очистки
Отстаивание без реагентов	—	0,62
Сернокислое железо $Fe_2(SO_4)_3$	0,09 ... 0,12	0 9
Хлорное железо $FeCl_3$	0,03 . 0.05	0,9
Сернокислый алюминий $Al_2(SO_4)_3$	0,36 . 0,42	0,92
Сернокислый алюминий+известковое молоко (10%) $l_2(SO_4)_3+Ca(OH)_2$	0,36 ... 0,42	0,9
Сернокислый алюминий+полиакриламид (0,1%) $Al_2(SO_4)_3+RCONH_2$	0,24 ... 0,36	0,9

сываются к стенкам гидроциклона и стекают в шламосборник *7*, откуда периодически удаляются. Сточная вода с содержащимися в ней маслопродуктами движется вверх, при этом вследствие меньшей плотности маслопродуктов они концентрируются в ядре закрученного потока, который поступает в приемную камеру *3*, и через трубопровод *5* выводятся из гидроциклона для последующей утилизации. Сточная вода, очищенная от твердых частиц и маслопродуктов, скапливается в камере *2*, откуда через трубопровод *6* отводится для дальнейшей очистки. Регулируемое гидравлическое сопротивление *4* предназначено для выпуска воздуха, концентрирующегося в ядре закрученного потока очищаемой сточной воды. Указанные гидроциклоны используют для очистки сточных вод сортопрокатного цеха с концентрацией твердых частиц и маслопродуктов соответственно 0,13...0,16 и 0,01...0,015 кг/м^3 и эффективностью их очистки около 0,70 и 0,50. При расходе очищаемой сточной воды 5 м^3/час перепад давлений в гидроциклоне составляет 0,1 МПа.

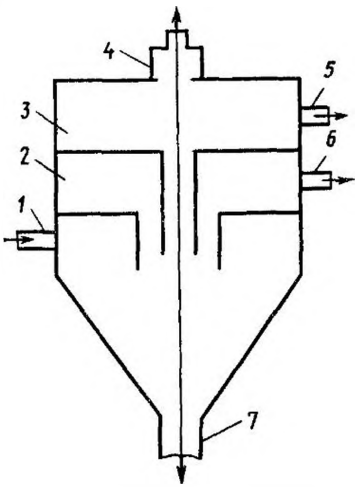


Рис. 63. Схема комбинированного напорного гидроциклона

Очистка сточных вод от маслопримесей флотацией заключается в интенсификации процесса всплывания маслопродуктов при обволакивании их частиц пузырьками воздуха, подаваемого в сточную воду. В основе этого процесса лежит молекулярное слипание частиц масла и пузырьков тонкодиспергированного в воде воздуха. Образование агрегатов «частица — пузырьки воздуха» зависит от интенсивности их столкновения друг с другом, химического взаимодействия находящихся в воде веществ, избыточного давления воздуха в сточной воде и т. п.

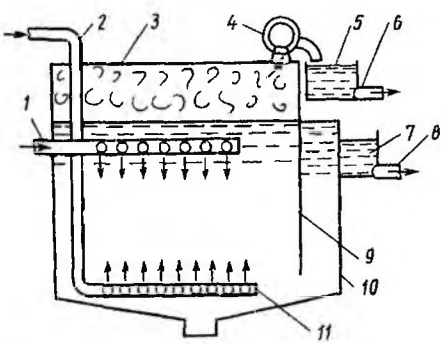


Рис. 64. Схема пневматической флотационной установки

В зависимости от способа образования пузырьков воздуха различают несколько видов флотации: напорную, пневматическую, пенную, химическую, биологическую, электрофлотацию и т. д.

На рис. 64 представлена схема флотационной пневматической

установки, предназначенной для очистки сточных вод от маслопродуктов, поверхностно-активных и органических веществ, а также от взвешенных частиц малых размеров. Исходная сточная вода по трубопроводу *1* и отверстия в нем равномерно поступает во флотатор *10*. Одновременно по трубопроводу *2* подается сжатый воздух, который через насадки *11* из пористого материала в виде мельчайших пузырьков равномерно распределяется по сечению флотатора. В процессе всплывания пузырьки воздуха обволакивают частицы маслопродуктов, поверхностно-активных веществ и мелких твердых частиц, увеличивая скорость их всплывания. Образующаяся таким образом пена скапливается между зеркалом воды и крышкой *3* флотатора, откуда она отсасывается центробежным вентилятором *4* в пеносборник *5* и через трубопровод *6* направляется для обработки пены и извлечения из нее маслопродуктов. В процессе вертикального движения сточной воды во флотаторе содержащийся в воздухе кислород окисляет органические примеси, а при малой их концентрации имеет место насыщение воды кислородом. Очищенная таким образом сточная вода огибает вертикальную перегородку *9* и сливается в приемник *7* очищенной воды, откуда по трубопроводу *8* подается для дальнейшей обработки.

В промышленности также используют метод электрофлотации, преимущества которого заключаются в том, что протекающие при электрофлотации электрохимические окислительно-восстановительные процессы обеспечивают дополнительное обеззараживание сточных вод. Кроме того, использование алюминиевых или железных электродов обусловливает переход ионов алюминия или железа в раствор, что способствует коагулированию мельчайших частиц загрязнений, содержащихся в сточной воде.

Очистка сточных вод от маслосодержащих примесей фильтрованием — заключительный этап очистки. Этот этап необходим, поскольку концентрация маслопродуктов в сточной воде на выходе из отстойников или гидроциклонов достигает 0,01...0,2 кг/м^3 и значительно превышает допустимые концентрации маслопродуктов в водоемах. Кроме того, в оборотных системах водоснабжения допустимое содержание маслопродуктов в сточной воде на выходе из очистных сооружений во многих случаях меньше ПДК их в воде водоемов.

Адсорбция масел (как и любых нефтепродуктов) на поверхности фильтроматериала происходит за счет сил межмолекулярного взаимодействия и ионных связей. Существенное влияние на процесс осаждения маслопродуктов на фильтроматериал имеют электрические явления, происходящие на поверхности раздела кварц-водная среда, связанные с возникновением разности электрических потенциалов на этой поверхности и образованием двойного электрического слоя. На процесс адсорбции маслопродуктов влияют также и поверхностно-активные вещества (ПАВ), содержащиеся в сточной воде.

Исследования процессов фильтрования сточных вод, содержащих маслопримеси, показали, что кварцевый песок — лучший фильтроматериал. Применение реагентов повышает эффективность очистки, однако при этом значительно возрастает стоимость очистных сооружений и усложняется процесс их эксплуатации. Образующийся при этом осадок требует дополнительных устройств для его переработки.

В качестве фильтрующих материалов кроме кварцевого песка используют доломит, керамзит, глауконит. Эффективность очистки сточных вод от маслосодержащих примесей значительно повышается при добавлении волокнистых материалов (асбеста и отходов асбестоцементного производства).

Перечисленные фильтрующие материалы характеризуются рядом недостатков: малой скоростью фильтрации и сложностью процесса регенерации. Эти недостатки устраняются при использовании в качестве фильтроматериала вспененного полиуретана. Пенополиуретаны, обладая большой маслопоглощательной способностью, обеспечивают эффективность очистки до 0,97...0,99 при скорости фильтрования до 0,01 м/с, насадка из пенополиуретана легко регенерируется механическим отжиманием маслопродуктов.

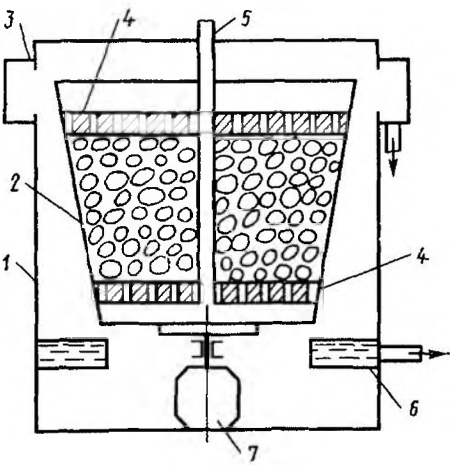


Рис. 65. Схема фильтра-сепаратора

На рис. 65 представлена схема фильтра-сепаратора с фильтровальной загрузкой из частиц пенополиуретана, предназначенного для очистки сточных вод от маслопродуктов и твердых частиц. Сточную воду по входному трубопроводу *5* подают под нижнюю опорную решетку *4*. Вода проходит через фильтровальную загрузку в роторе *2*, верхнюю решетку *4* и очищенная от примесей переливается в приемный карман *6* и выводится из корпуса *1* фильтра. При концентрации маслопродуктов и твердых частиц до 0,1 кг/м^3 эффективность очистки составляет соответственно 0,92...0,98 и 0,90, а время непрерывной эксплуатации фильтра — 16...24 ч. Достоинством данной конструкции являются простота и высокая эффективность регенерации фильтра, для чего включают электродвигатель *7*. При вращении ротора *2* с фильтровальной загрузкой частицы пенополиуретана под действием центробежных сил отбрасываются к внутренним стенкам ротора, выжимая маслопродукты из ротора, которые поступают затем в карманы *3*

и направляются на регенерацию. Время полной регенерации фильтра составляет 0,1 ч.

На рис. 66 представлена схема полиуретанового фильтра для очистки сточных вод от маслопримесей. Сточная вода по трубопроводу *1* поступает в распределительную камеру *2* и через регулирующий вентиль *3* и водораспределительные окна *4* подается в фильтр *5*, заполненный пенополиуретаном *6*. Пройдя через слои фильтроматериала, сточная вода очищается от масла и взвешенных веществ и через сетчатое днище *13* отводится по трубопроводу *14*. Для поддержания постоянного уровня очищаемой воды в фильтре предусмотрена камера *12* с регулирующим вентилем *11*. Регенерация частиц пенополиуретана осуществляется специальным устройством, установленным на передвижной тележке *10*, что позволяет регенерировать весь объем фильтра. Насыщенные маслом частицы пенополиуретана цепным элеватором *7* подают на отжимные барабаны *8* и, освободив от маслообразных и взвешенных веществ, вновь подают в фильтр. Отжатые загрязнения по сборному желобу *9* отводят для дальнейшей переработки. В табл. 46 представлены характеристики пенополиуретановых фильтров.

Очистка сточных вод от растворимых примесей осуществляется экстракцией, сорбцией, нейтрализацией, электрокоагуляцией, эвапорацией, ионным обменом, озонированием и т. п.

Экстракция — процесс перераспределения примесей сточных вод в смеси двух взаимно нерастворимых жидкостей (сточной

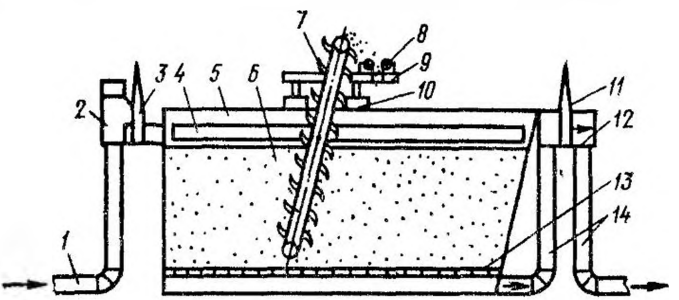


Рис. 66. Схема полиуретанового фильтра

воды и экстрагента), в соответствии с коэффициентом экстракции $k_э = c_э/c_в$, где $c_э$ и $c_в$ — концентрации примеси в экстрагенте и сточной воде по окончании процесса экстракции. На машиностроительных предприятиях экстракцию применяют для очистки сточных вод от фенола. При использовании в качестве экстрагента бензола или бутилацетата коэффициент экстракции составляет соответственно 2,4 и 8 ... 12. Для интенсификации процесса экстракции перемешивание смеси сточных вод с экстрагентом осуществ-

ляют в экстракционных колоннах, заполненных насадками типа колец Рашига.

Сорбция наряду с использованием в процессах очистки газа (§ 16) широко применяется для очистки сточных вод от растворимых примесей. В качестве сорбентов используют практически лю-

Формула 46

Расход сточной воды, м/с³	Концентрация маслопродуктов до фильтра, кг/м³	Продолжительность фильтрования, ч	Эффективность очистки
0,05	0,021 . 0,076	63	0,94
0,067	0,029 . 0,085	42	0,91
0,083	0,037 . . 0,069	33	0,93
0,1	0,029 ... 0,094	27	0,94
0,117	0,018 ... 0,083	21	0,91
0,05	0,082 0,11	18	0,95
0,067	0,074 ... 0,118	12	0,96
0,083	0,107 . 0,223	9	0,96
0,1	0,084 . 0 201	6	0,96
0,117	0,092 ... 0,174	5	0,95

бые мелкодисперсные вещества (зола, торф, опилки, шлаки, глина), наиболее эффективным сорбентом является активированный уголь. Расход сорбента определяют по формуле

$$m = Q(c_0 - c_к)/a,$$

где Q — расход сточной воды; c_0 и $c_к$ — концентрации примесей в очищаемой и очищенной сточной воде; a — удельная сорбция, характеризующая количество примесей, поглощаемых единицей массы сорбента.

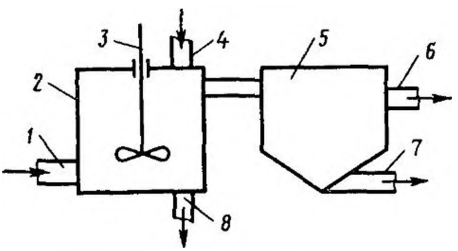


Рис. 67. Схема сорбционной установки

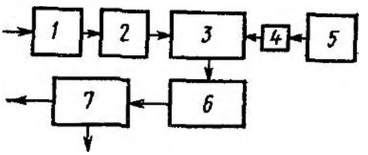


Рис. 68. Схема установки для нейтрализации сточных вод

На рис. 67 представлена схема сорбционной установки, в которой по трубопроводу *1* в адсорбер *2* поступает очищаемая сточная вода. По трубопроводу *4* подается адсорбент, перемешиваемый в сточной воде для равномерного распределения по объему

импеллером *3*. Адсорбент с поглощенными им примесями оседает на дно адсорбера, откуда периодически удаляется через трубопровод *8*. Сточная вода со взвешенными в ней частицами сорбента по трубопроводу поступает в отстойник *5*, в котором оставшаяся часть адсорбента оседает на дно и периодически удаляется из него по трубопроводу *7*, а очищенная сточная вода направляется по трубопроводу *6* для дальнейшей обработки. Вследствие обратимости процессов сорбции их целесообразно использовать для очистки сточных вод от примесей, которые можно использовать повторно в технологическом процессе.

Нейтрализация сточных вод машиностроительных предприятий предназначена для выделения из сточных вод кислот (H_2SO_4, HCl, HNO_3, H_3PO_4), щелочей ($NaOH$ и KOH), а также солей металлов на основе указанных кислот и щелочей. Нейтрализация основана на объединении ионов водорода H^+ и гидроксильной группы OH^- в молекулу воды, в результате чего сточная вода имеет $pH \approx 6{,}7$ (нейтральная среда).

Нейтрализацию осуществляют: смешением кислых и щелочных производственных сточных вод; смешением кислых производственных сточных вод с бытовыми, имеющими щелочной характер; добавлением щелочных (кислых) реагентов в кислые (щелочные) сточные воды или фильтрацией кислых сточных вод через фильтровальную загрузку щелочного характера, например из частиц известняка, мрамора или доломита.

На рис. 68 представлена схема установки для реагентной нейтрализации кислых сточных вод, в которой исходная сточная вода, предварительно очищенная в песколовке *1*, через усреднитель *2* поступает в смеситель *3*, в который из бака *5* через дозатор *4* поступает щелочной агент (гашеная известь). Из смесителя вода направляется в нейтрализатор *6* и затем в отстойник *7*, из которого выводятся нейтрализованная сточная вода и осадок.

Расход щелочного (кислого) реагента на нейтрализацию 1 м^3 кислоты (щелочи), содержащейся в сточной воде, определяют по формуле $m = cM_1/M_2$, где с — концентрация кислоты (щелочи) или солей металлов, содержащихся в сточной воде, кг/м^3; M_2 — молекулярная масса кислоты (щелочи) или солей металлов, содержащихся в сточной воде; M_1 — молекулярная масса щелочного (кислого) реагента. Молекулярные массы кислот, солей металлов и щелочей определяют суммированием молекулярных масс входящих в них элементов. В качестве реагента для нейтрализации используют любые щелочи и их соли ($NaOH$, KOH, известь, известняк, доломит, мел, мрамор, магнезит, сода и др.). Наиболее дешевый и доступный реагент $Ca(OH)_2$.

Для нейтрализации сточных вод, содержащих щелочи и их соли, применяют кислоты, обычно техническую серную кислоту.

Электрокоагуляция применяется для очистки сточных вод гальванических и травильных отделений от хрома и других тяже-

лых металлов, а также от цианов. На рис. 69 представлена схема электрокоагуляционной установки для очистки сточных вод от шестивалентного хрома. Сточная вода из промывной ванны *2* гальванического участка насосом *1* по трубопроводу *3* поступает в проточный электролизер *6*, в котором расположены электроды *5*, питающиеся напряжением 12 ... 24 В от выпрямителя *4*. При пропускании электрического тока с плотностью 50 ... 100 А/м² через сточную воду, движущуюся по длине электролизера в течение 10 ... 15 мин, происходит анодное растворение поверхности стальных электродов и образующиеся при этом ионы двухвалентного железа восстанавливают шестивалентный хром до трехвалентного. Одновременно происходит гидролиз ионов железа и трехвалентного хрома с образованием нерастворимых гидроксидов $Fe(OH)_2$, $Fe(OH)_3$, и $Cr(OH)_3$. Сточная вода со взвешенными в ней гидроксидами поступает из электролизера в центрифугу *7*, в которой происходит отделение гидроксидов железа и хрома и удаление их через трубопровод *8*. Очищенная от хрома вода по трубопроводу *10* поступает для дальнейшей очистки или при закрытом вентиле *9* по трубопроводу *11* поступает для повторного использования в промывных ваннах.

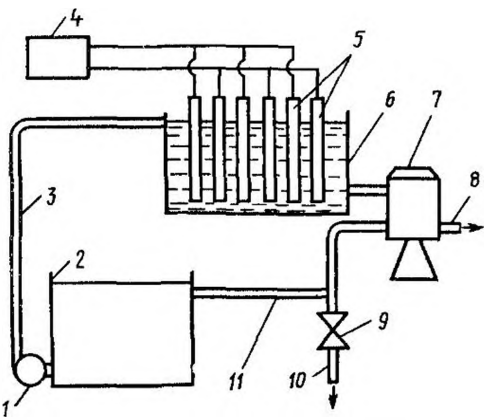


Рис. 69 Схема электрокоагуляционной установки для очистки сточных вод

Ионообменные методы очистки сточных вод находят применение практически в любых отраслях промышленности для очистки от многих примесей, в том числе и шестивалентного хрома. Эти методы позволяют обеспечить высокую эффективность очистки, а также получать выделенные из сточной воды металлы в виде относительно чистых и концентрированных солей.

Для ионообменной очистки сточных вод используют синтетические ионообменные смолы. На рис. 70 представлена схема ионообменной очистки сточных вод ванн хромирования от соединений хрома. Сточные воды поступают в приемный резервуар *1*, откуда насосом *2* подаются в фильтр *3* для очистки от механических примесей. Очищенная от механических примесей сточная вода поступает в последовательно расположенные анионитовые фильтры *4* и *5*, заполненные ионообменной смолой АВ-17 в ОН-форме. Очищенная таким образом сточная вода вновь подается в ванну хромирования *12*. Вспомогательный катионитовый фильтр

6 предназначен для дополнительной обработки сточной воды в пусковой период. В бак *7* поступают выделенные соединения хрома. Бак *8* предназначен для сбора отработанного раствора. Емкости *13* со щелочью и *14* с кислотой предназначены для промывки фильтров. Промывной раствор нейтрализуется в баке *11*, куда через дозатор *9* одновременно подается необходимое для нейтрализации количество извести из бака *10*.

Озонирование — процесс обработки сточной воды озоном применяется для очистки от тяжелых металлов, цианидов, сульфидов и других растворимых примесей. При подаче озона в сточную воду цианид-ионы окисляются в соответствии с уравнением

$$CN^- + O_3 = CNO^- + O_2 \qquad (17)$$

По мере окисления цианид-ионов в сточной воде появляются цианит-ионы CNO^-, около 30% общего количества которых окисляется в соответствии с уравнением

$$2CNO^- + 3O_3 + H_2O = 2NCO_3 + 3O_2 + 2H^+ \qquad (18)$$

При этом реакция окисления CNO^- начинается в тот момент, когда концентрация цианид-иона в сточной воде уменьшается до 0,003 ... 0,004 кг/м³. Скорость протекания реакции (18) в семь

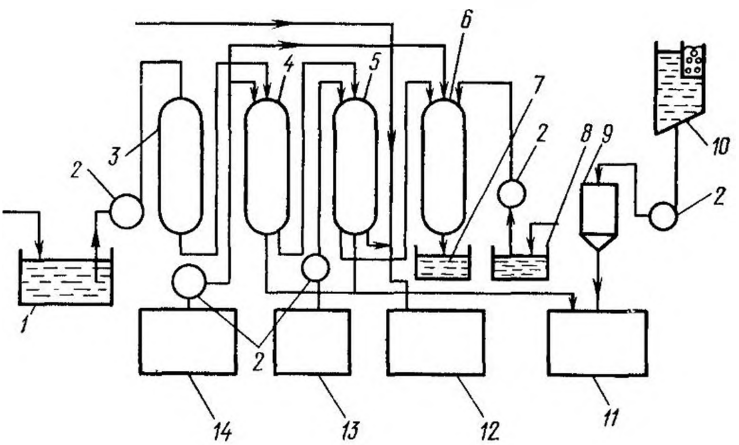


Рис. 70. Схема установки для ионообменной очистки сточных вод

раз меньше, чем (17). Остальные 70% цианит-ионов гидролизуются в сточной воде с образованием NH_3, который сразу же окисляется до NO_3.

Расход озона, необходимого для окисления цианидов, определяют по формуле

$$q = cQ.$$

Здесь Q — расход сточной воды; c — необходимая концентрация озона в абсорбере, определяемая по формуле

$$c = \frac{\Delta c_{CN^-} M_{O_3}}{M_{CN^-}},$$

где Δc_{CN^-} — разность концентраций цианидов в исходной и очищенной сточной воде; M_{O_3} и M_{CN^-} — соответственно молекулярные массы озона и цианида.

На рис. 71 представлена схема установки для очистки промывных сточных вод гальванического участка озоном. Воздух из компрессора *1* с давлением около 1 МПа проходит предварительную осушку и очистку в теплообменнике *2*, сепараторе *3*, адсорбере *4*, фильтре *5* и поступает в генератор озона *6*, обычно трубчатого типа. Образующийся в генераторе *6* озон II подают в абсорберы *9*, куда одновременно через насос *8* поступает исходная сточная вода I из приемного резервуара *7*. В абсорберах *9* происходит очистка сточной воды от цианидов в соответствии с реакцией, выраженной уравнениями (19) и (20). Очищенная сточная вода IV по трубопроводу направляется в оборотную систему водоснабжения или на слив. Отработанный воздух III из абсорберов *9* по трубопроводу направляется в приемный резервуар-усреднитель *7*, в котором барботируется через слои исходной сточной воды, обеспечивая равномерное распределение примесей в сточной воде.

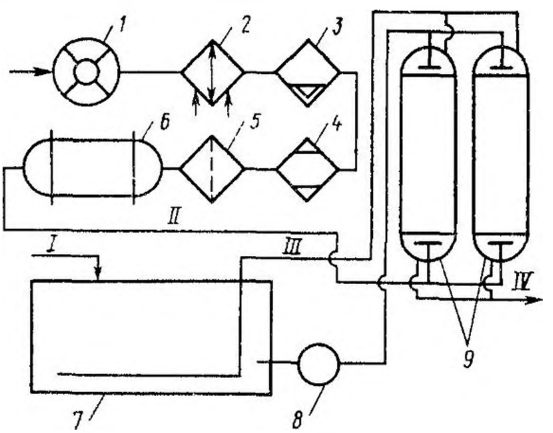


Рис. 71. Схема установки для озонирования сточных вод гальванического участка

В табл. 47 показана кинетика процессов озонирования в зависимости от исходной концентрации цианидов в сточной воде.

Очистка сточных вод от органических примесей осуществляется в основном биологическими методами, которые реализуют в *естественных* и *искусственных* сооружениях. В естественных сооружениях очистку осуществляют на полях фильтрации или орошения и в биологических прудах.

Суть биологической очистки на полях состоит в том, что при фильтровании сточной воды через слой почвы в ней адсорбируют-

ся взвешенные и коллоидные вещества, которые со временем образуют в порах почвы микробиологическую пленку. Эта пленка адсорбирует и окисляет задержанные органические вещества, превращая их в минеральные соединения.

Таблица 47

Время, мин	Исходная концентрация цианидов, кг/м³	Доля окисленных цианидов, %	pH сточных вод	
			до озонирования	после озонирования
20	0,571	12	11,5	11,4
30		15		
45		27,7		
60		42,4		
20	0,255	21,5		11
30		41,3	11	10,7
45		60,5		10,5
60		70		10,5
20		44,6		10,6
30	0,11	84,3	10,6	10,4
45		96,4		9,9
60		97,5		9,8
20		92,4		10,3
30		93,8		9,6
45	0,077	99,2	10,6	8,5
60		99,8		8,4

Различают биологические пруды с естественной и искусственной аэрацией. Требуемая площадь прудов с искусственной аэрацией существенно меньше за счет более равномерного перемешивания сточной воды подаваемым в него сжатым воздухом и дополнительного поступления кислорода из подаваемого воздуха. На некоторых машиностроительных предприятиях используют биологические аэрируемые пруды для доочистки небольших расходов сточных вод. Биологическая очистка сточных вод в искусственных сооружениях осуществляется в *биологических фильтрах, аэротенках* и *окситенках*.

На рис. 72 представлена схема биологического фильтра с принудительной подачей воздуха. Исходная сточная вода по трубопроводу *3* поступает в фильтр *2* и через водораспределительные устройства *4* равномерно разбрызгивается по площади фильтра. При разбрызгивании сточная вода поглощает часть кислорода воздуха. В процессе фильтрования через загрузку *5*, в качестве которой используют шлак, щебень, керамзит, пластмассу, гравий и т. п., на загрузочном материале образуется биологическая пленка, микроорганизмы которой поглощают органические вещества. Интенсивность окисления органических примесей в пленке

существенно увеличивается при подаче сжатого воздуха через трубопровод *1* и опорную решетку *6* в направлении, противоположном фильтрованию. Очищенная от органических примесей вода выводится из фильтра через трубопровод *7*.

Необходимый объем фильтровального материала определяют по формуле $V=(L_а-L_к)Q/w$, где $L_а$ и $L_к$ — БПК исходной и очищенной сточной воды; w — окислительная мощность — количество кислорода, поступающее в сточную воду в единицу времени с 1 м³ фильтровальной загрузки [13].

Аэротенки по конструкции аналогичны отстойникам, в которые помещают активный ил — микроорганизмы и подают сжатый воздух, обеспечивающий интенсификацию процесса окисления органических примесей.

Окситенки — модификации аэротенков, в которые вместо сжатого воздуха подают газообразный кислород. При этом процессы окисления существенно интенсифицируются, однако усложняются условия эксплуатации вследствие взрывопожароопасности кислорода. На машиностроительных предприятиях аэротенки и окситенки используют редко.

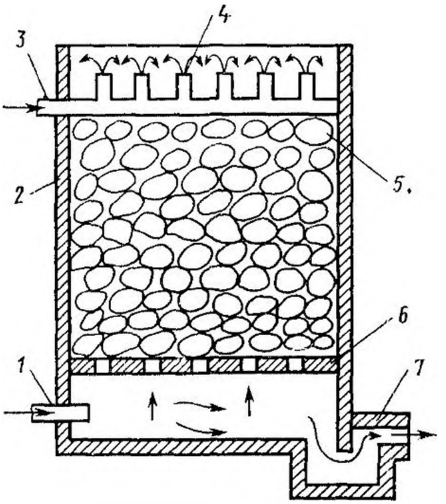


Рис. 72. Схема биологического фильтра

§ 24. СХЕМЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

«Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения» регламентируют преимущественное использование оборотных систем водоснабжения, в которых сточные воды после очистки вновь используют в технологических процессах. На машиностроительных заводах применяют в основном оборотные системы водоснабжения отдельных цехов и участков, сточные воды которых имеют стабильный состав примесей, или двухступенчатую очистку, при которой сточные воды предварительно очищают в локальных очистных сооружениях от примесей, наиболее характерных для данных участков и цехов, а затем осуществляют доочистку на общезаводских очистных сооружениях.

Выбор рассматриваемых направлений определяется типом и мощностью предприятия, характеристиками источников водоснаб-

жения, степенью внедрения безотходных технологических процессов и т. п.

На рис. 73 представлена оборотная система водоснабжения завода «Коммунар» [1], в соответствии с которой в основные и вспомогательные цеха *1* поступает питьевая *2*, техническая *3*, техническая деминерализованная *4* вода, а также очищенные сточные воды *1* и *17*. Из общего количества образующихся на заводе производственных сточных вод 60,6% составляют маслосодержащие сточные воды *5*; 23,7% — сточные воды *9* с преобладающим содержанием твердых примесей; 1,6% — концентрированные маслосодержащие сточные воды, в том числе: отработанные моющие и обезжиривающие растворы *8* и отработанные смазочно-охлаждающие жидкости 6; 1,2% — сточные воды окрасочных камер *7* и 12,8% — сточные воды с преобладающим содержанием растворимых примесей, в том числе: циансодержащие *10*, кислотно-щелочные *11*, никельсодержащие *12* и хромсодержащие *13* сточные воды. Маслосодержащие сточные воды очищают в очистных сооружениях *23* и очищенную сточную воду *1* вновь направляют в технологический процесс, а выделенные маслопродукты направляют в сборник *22*, откуда часть их поступает на установку *20* для регенерации масел, а оставшаяся часть — на установку термической утилизации *21*. Одновременно на очистные сооружения *23* поступают предварительно очищенные в установке *24* отработанные смазочно - охлаждающие жидкости *6*. В очистных сооружениях *25—27* осуществляют очистку соответственно сточных вод окрасочных камер *7*, отработанных моющих и обезжиривающих растворов *8* и сточных вод с преобладающим содержанием твердых частиц *9*; которые после очистки вновь используют в технологическом процессе, а выделенные масла и твердые частицы направляют в сборник маслопродуктов *22* и шламосборник *19*. Циансодержащие *10*, кислотно-щелочные *11* и никельсодержащие *12* сточные воды после нейтрализации в нейтрализаторе *15* направляют в очистные сооружения *16*, из которых очищенную сточную воду вновь подают в технологический процесс или сбрасывают в водоем по трубопроводу *18*. Хромсодержащие сточные воды *13* после выделения из них

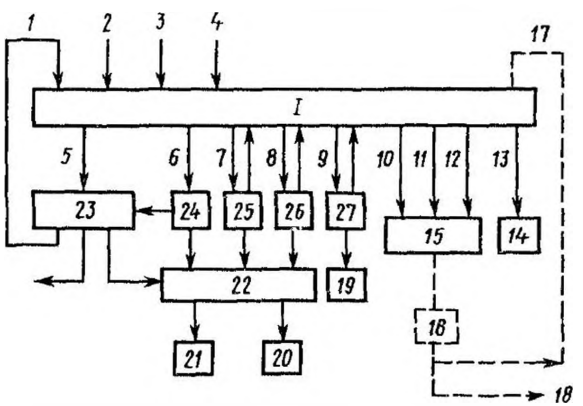


Рис. 73. Схема оборотного водоснабжения завода

хрома в очистных сооружениях *14* направляют для дальнейшей очистки на городскую станцию очистки сточных вод.

На рис. 74 приведена схема локального оборотного водоснабжения окрасочных камер (см. позицию *25* на рис. 73). Образующиеся в окрасочных ваннах *1* сточные воды поступают в сборную емкость *9*, откуда насосом *2* подаются в электрокоагулятор *3* с растворяемыми алюминиевыми электродами, питающимися от выпрямителя *4*. В электрокоагуляторе *3* образующиеся хлопья гидроксида алюминия поглощают твердые частицы, частицы

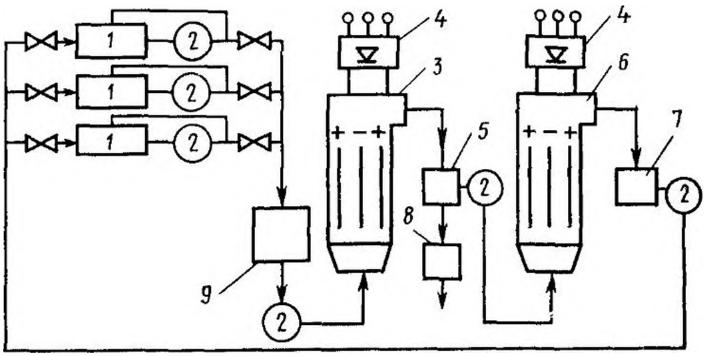


Рис. 74. Схема локального оборотного водоснабжения окрасочных камер

краски и при поступлении воды в отстойник *5* указанные хлопьеобразные конгломераты оседают на дно отстойника и затем подаются в шламонакопитель *8*. Очищенная таким образом сточная вода насосом *2* подается в электрокоагулятор *6* с нерастворимыми алюминиевыми электродами, в котором при протекании тока происходит обеззараживание сточной воды, направляемой в резервуар *7*, и затем для повторного использования очищенной воды в окрасочных ваннах.

На Волжском автомобильном заводе [1] используют следующие локальные *оборотные системы водоснабжения:*

— систему водоснабжения окрасочных установок, где образующиеся сточные воды последовательно очищают в отстойниках с подачей 0,15 ... 0,4 кг/м^3 коагулянта для интенсификации процесса коагуляции и в фильтрах с фильтровальной загрузкой из древесных стружек, подвергаемых сжиганию по мере их загрязнения, очищенная сточная вода повторно используется в окрасочных установках;

— систему охлаждения оборудования (компрессоров, сварочных машин, печей, индукционных нагревателей, маслоохладителей, прессов и т. п.), где образующиеся сточные воды после ох-

лаждения в градирнях повторно используют в рассматриваемом технологическом цикле;

— систему водоснабжения гидрошламоудаления и мокрого обеспыливания воздуха, где образующиеся сточные воды очищают в трехсекционных горизонтальных отстойниках с подачей полиакриламида в качестве коагулянта;

— систему водоснабжения трех гальванических цехов. Сточные воды последовательно очищают: в отстойнике, двухслойном фильтре из песка и антрацита, угольном фильтре с активированным углем КАД-9, Н-катионитном фильтре с катионитом КУ-23, слабоосновном анионитном фильтре с анионитом АН-251, сильноосновном анионитном фильтре с анионитом АВ-17-8 и повторно используют для промывки деталей после нанесения гальванопокрытий.

Наряду с рассмотренными на ВАЗ действуют общезаводские очистные сооружения, на которых сточные воды последовательно очищают в решетках, песколовках, отстойниках, коагуляторах и сбрасывают в реку Волгу.

На рис. 75 представлена схема оборотного водоснабжения стана 2500 цеха холодной прокатки. Образующиеся при работе стана *8* сточные воды, содержащие, в основном, частицы металлической окалины и масла, направляются в отстойник *1*, где происходит выделение из воды твердых частиц и наиболее легких фракций масла, и затем в промежуточный отстойник *2*, в котором происходит осаждение мелких фракций частиц Из отстойника *2* сточные воды отбираются насосом *3*, на входе в который через трубопровод *4* подается сжатый воздух. Смесь воды с воздухом

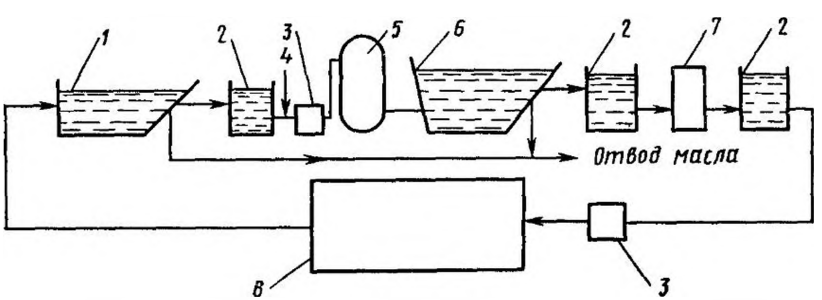


Рис. 75. Схема оборотного водоснабжения прокатного стана

поступает в сатуратор *5* и после интенсивного перемешивания в нем направляется во флотатор *6* для окончательной очистки от маслопродуктов. Выделенные из сточной воды в отстойнике и флотаторе маслопродукты отводятся на участок их регенерации, а сточная вода из флотатора *6* поступает в промежуточный отстойник *2* и затем в автоматический бумажный фильтр *7*, в кото-

ром сточная вода очищается от твердых частиц и частиц масла размером менее 1...5 мкм. Очищенная таким образом сточная вода собирается в промежуточном отстойнике *2* и затем насосом *3* подается для охлаждения прокатываемых изделий и узлов стана.

При разработке оборотных систем водоснабжения промышленных предприятий необходимо планировать очистку и повторное использование поверхностных сточных вод с учетом следующих направлений оптимального решения задачи:

— локализация стока с отдельных участков территории предприятия и его отвод либо в общезаводские очистные сооружения, либо (после предварительной очистки) в общую схему очистки поверхностных сточных вод;

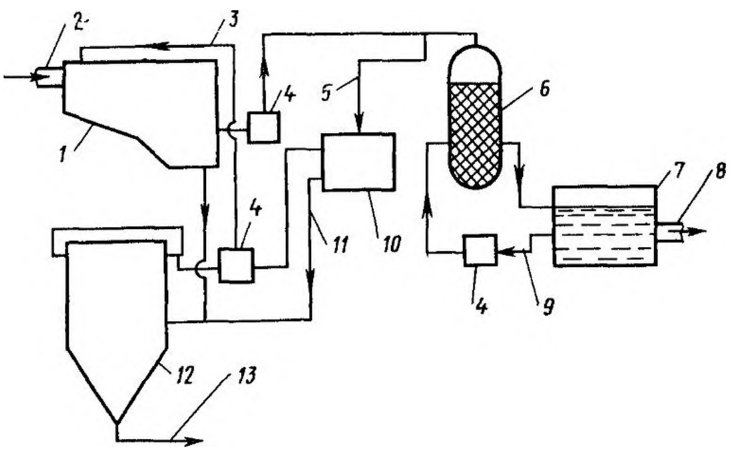


Рис. 76. Схема очистки поверхностных сточных вод

— раздельная организация стоков с водосборных участков, отличающихся по составу и количеству примесей, поступающих в поверхностные сточные воды;

— очистка поверхностного стока совместно с производственными сточными водами;

— локальные очистные сооружения для поверхностных сточных вод.

На рис. 76 представлена схема очистки поверхностных сточных вод с территории предприятия [1]. Сточные воды из водосборных коллекторов по трубопроводу *2* поступают в отстойник-усреднитель *1*, откуда насосом *4* они подаются на песчаный фильтр *6* и далее поступают в емкость *7* очищенной воды и по трубопроводу *8* направляются для использования в различных целях. Осадок, скапливающийся в отстойнике-усреднителе *1*, поступает в уплотнитель осадка *12*, в который также по трубопро-

воду *11* подают осадок из резервуара промывной воды *10*, образующейся при промывке фильтра *6* очищенной водой, отбираемой насосом по трубопроводу *9*. Промывная вода из фильтра *6* поступает в резервуар *10* по трубопроводу *5* и насосом *4* через трубопровод *3* направляется в отстойник-усреднитель *1*. Уплотненный осадок периодически удаляется из уплотнителя *12* по трубопроводу *13*.

Очищенные поверхностные сточные воды используют для подпитки оборотных систем водоснабжения. Используют их и в системах пожаротушения, при этом очистка сточных вод ограничивается, как правило, отстаиванием в прудах.

§ 25. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Контроль требований к нормируемым показателям качества воды в водоемах осуществляют периодическим отбором и анализом проб воды из поверхностных водоемов. ГОСТ 2874—82 регламентирует анализ проб из поверхностных источников водоснабжения не реже одного раза в месяц. Количество проб и места их отбора определяют в соответствии с гидрологическими и санитарными характеристиками водоема и согласовывают с местными органами санитарно-эпидемиологической службы. При этом считается обязательным отбор проб непосредственно в месте водозабора и на расстоянии 1 км выше по течению для рек и каналов, а для озер и водохранилищ — на расстоянии 1 км от водозабора (в двух диаметрально расположенных точках). В настоящее время наряду с анализом проб воды в лабораториях используют автоматические станции контроля качества воды, которые могут одновременно измерять 8...10 показателей качества воды. Существующие отечественные передвижные автоматические станции контроля качества воды измеряют концентрацию растворенного в воде кислорода (от 0 до 0,025 кг/м^3), электрическую проводимость (10^{-4} ... 10^{-2} Ом/см), pH (4 ... 10), температуру (0 ... 40°С), уровень воды (0 ... 12 м), концентрацию взвешенных веществ (0 ... 2 кг/м^3), меди (0 ... 0,001 кг/м^3).

На очистных сооружениях машиностроительных предприятий осуществляют контроль состава исходных и очищенных сточных вод, а также контроль эффективности работы очистных сооружений.

Состав производственных сточных вод может значительно колебаться в зависимости от вида и режимов технологического процесса. Контроль состава исходных и очищенных сточных вод осуществляют один раз в 10 дней.

Пробы сточной воды отбирают в предварительно очищенную посуду, изготовленную из боросиликатного стекла или полиэтилена. Анализ следует проводить не позже чем через 12 ч после отбора пробы, так как при бо́льшем времени выдерживания про-

бы в составе сточной воды могут произойти существенные изменения.

Контроль состава сточных вод заключается в измерении органолептических показателей воды; pH среды; содержании грубодисперсных (взвешенных) веществ; химического потребления кислорода (ХПК); количества растворенного в воде кислорода, биохимического потребления кислорода (БПК) и концентрации вредных веществ, для которых существуют нормируемые значения ПДК.

Из органолептических показателей воды при анализе состава сточных вод контролируют цвет и запах. Цвет воды устанавливают измерением ее оптической плотности на спектрофотометре при различных длинах волн проходящего света.

Значение pH в сточных водах определяют электрометрическим способом, основанным на том, что при изменении pH в жидкости на единицу потенциал стеклянного электрода, опущенного в эту жидкость, изменяется на постоянную для данной температуры величину (например, на 59,1 мВ при температуре 298 К, на 58,1 мВ при 293 К и т. д.). Отечественная промышленность выпускает pH-метры марок КП-5, МТ-58, ЛПУ-01 и др.

При определении грубодисперсных примесей в сточной воде измеряют массовую концентрацию механических примесей и фракционный состав частиц, для чего применяют фильтрование пробы сточной воды через специальные фильтроэлементы, а также измерение количества «сухого» осадка. Кроме этих характеристик периодически вычисляют скорости всплывания (осаждения) механических примесей. Эти анализы особенно актуальны в период отладки очистных сооружений.

Под ХПК понимается величина, характеризующая общее содержание в воде восстановителей, реагирующих с сильными окислителями. Выражается ХПК количеством кислорода, необходимым для окисления всех содержащихся в воде восстановителей. На практике окисление пробы сточной воды производится раствором бихромата калия в серной кислоте. Измерение ХПК осуществляют *арбитражными методами,* проводимыми с большой точностью за длительный период времени, и ускоренными методами, применяемыми для ежедневных анализов с целью контроля работы очистных сооружений или состояния воды в водоеме при постоянном расходе и составе сточных вод.

Содержание растворенного кислорода измеряют после заключительного процесса очистки непосредственно перед сбросом воды в водоемы. Это необходимо знать для оценки коррозионных свойств воды, а также для вычисления биологической потребности кислорода. Из лабораторных методов наибольшее применение имеет иодометрический метод Винклера для обнаружения растворенного кислорода с концентрацией более 0,0002 кг/м^3. Меньшие концентрации измеряют колориметрическими методами, ос-

нованными на изменении интенсивности цвета соединений, образовавшихся в результате реакции между специальными красителями и сточной водой. Для автоматического измерения используют отечественные приборы: ЭГ-152-003 с пределами измерений 0 ... 0,1 кг/м^3; АКП-100,1 и 0,01 ... 0,02 кг/м^3, а также «Оксиметр» с пределами измерения 0 ...0,01 и 0,01 ... 0,02 кг/м^3.

Под БПК подразумевается количество кислорода (в миллиграммах), необходимое для окисления в аэробных условиях в результате происходящих в воде биологических процессов органических веществ, содержащихся в 1 л сточной воды. Определение БПК производят на основе анализа изменения количества растворенного кислорода с течением времени. На практике обычно используют пятисуточное биохимическое потребление кислорода — $БПК_5$.

Измерение концентрации вредных веществ, для которых установлены ПДК, проводят на различных ступенях технологической схемы очистки, в том числе перед выпуском сточной воды в водоем.

Контрольные вопросы

1. Какие показатели определяют допустимый состав сточных вод промышленного предприятия?
2. Приведите способы очистки сточных вод в цехах машиностроительных предприятий.
3. Каковы схемы очистки поверхностных сточных вод с территории машиностроительных предприятий?
4. Назовите наиболее эффективные способы и методы очистки маслосодержащих сточных вод.
5. Каковы перспективы совершенствования систем водоснабжения машиностроительных предприятий?

ГЛАВА 4
БЕЗОТХОДНЫЕ И МАЛООТХОДНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

§ 26. КЛАССИФИКАЦИЯ ОТХОДОВ

В процессе производства образуется большое количество отходов, которые при соответствующей обработке могут быть вновь использованы как сырье для производства промышленной продукции. Все виды промышленных отходов делят на твердые и жидкие. Твердые — отходы металлов, дерева, пластмасс и других материалов, пыли минерального и органического происхождения от очистных сооружений в системах очистки газовых выбросов промышленных предприятий, а также промышленный мусор, состоящий из различных органических и минеральных веществ (резина, бумага, ткань, песок, шлак и т. п.). К жидким отходам относят осадки сточных вод после их обработки, а также шламы пылей минерального и органического происхождения в системах мокрой очистки газов.

Для полного использования отходов в качестве вторичного сырья разработана их промышленная классификация. Например, лом и отходы металлов по физическим признакам подразделяют на классы, по химическому составу — на группы и марки, по показателям качества — на сорта (ГОСТ 1639—78*).

Критерием определения целесообразности переработки отходов в местах их образования является количество и степень использования отходов в производстве. Большая доля в общем объеме твердых отходов принадлежит металлическим отходам. Вторичные ресурсы металлов складываются из лома (43%) и отходов (57%). Ломом называют изношенные и вышедшие из употребления детали и изделия из металлов и сплавов, отходами — промышленные отходы всех стадий передела, содержащие металлы или состоящие из них, получаемые при плавке и механической обработке, а также не поддающийся исправлению брак деталей и изделий, возникающий в процесе производства. Так, в черной металлургии образование лома и отходов металлов на 1 т выплавляемой стали достигает 650 кг, поэтому вопрос о рациональном использовании металлических отходов приобретает важное значение.

В СССР разработана специальная отчетность (форма № 1)

«Промотходы», по которой все промышленные предприятия должны отчитываться перед горисполкомами и вышестоящими организациями. Основными направлениями ликвидации и переработки твердых промышленых отходов (кроме металлоотходов) являются вывоз и захоронение на полигонах, сжигание, складирование и хранение на территории промышленного предприятия до появления новой технологии переработки их в полезные продукты (сырье).

§ 27. ОБРАБОТКА ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ

Обработку целесообразно проводить в местах образования отходов, что сокращает затраты на погрузочно-разгрузочные работы, снижает безвозвратные потери при их перевалке и транспортировке и высвобождает транспортные средства.

Эффективность использования лома и отходов металла зависит от их качества. Загрязнение и засорение металлоотходов приводят к большим потерям при переработке, поэтому сбор, хранение и сдача их регламентируются специальными стандартами: ГОСТ 2787—75* «Лом и отходы черных металлов. Шихтовые. Классификация и технические требования»; ГОСТ 1639—78* «Лом и отходы цветных металлов и сплавов. Общие требования» и др.

Основные операции первичной обработки металлоотходов — сортировка, разделка и механическая обработка. Сортировка заключается в разделении лома и отходов по видам металлов. Разделка лома состоит в удалении неметаллических включений. Механическая обработка включает рубку, резку, пакетирование и брикетирование на прессах.

Пакетирование отходов организуется на предприятиях, на которых образуется 50 т и более высечки и обрезков в месяц. Каждая партия должна сопровождаться удостоверением о взрывобезопасности и безвредности. Стружку перерабатывают на пакетирующих прессах, стружкодробилках, брикетировочных прессах. Брикетированию (окускование механическим уплотнением на прессах, под молотком и других механизмах) подвергается сухая и неокисленная стружка одного вида, не содержащая посторонних примесей с длиной элемента до 40 мм для стальной и 20 мм для чугунной стружки. Прессование вьюнообразной стружки целесообразно проводить в отожженном состоянии, так как при этом отпадает необходимость выполнения таких подготовительных операций, как дробление, обезжиривание, отбор обтирочных материалов и мелких кусков металла.

На предприятиях, где образуется большое количество металлоотходов, организуются специальные цехи (участки) для утилизации вторичных металлов. Чистые однородные отходы с паспор-

том, удостоверяющим их химический состав, используют без предварительного металлургического передела.

Отходы древесины широко используют для изготовления товаров культурно-бытового назначения и хозяйственного обихода, изготовляемых главным образом методом прессования. Кроме того, переработанные древесные отходы применяются в производстве древесно-стружечных плит, корпусов, различных приборов и т. п.

На большинстве промышленных предприятий пластмассы и древесные отходы входят в состав промышленного мусора предприятий, при этом разделение мусора на отдельные его компоненты оказывается экономически нецелесообразным. В настоящее время разработаны и внедрены в промышленном масштабе технологии обработки, утилизации и ликвидации промышленного мусора. Качественный и количественный состав промышленного мусора любого предприятия примерно стабилен в течение года, поэтому технология переработки мусора разрабатывается применительно к конкретному предприятию и определяется составом и количеством промышленного мусора, образующегося на территории.

Переработку промышленных отходов производят на специальных полигонах, создаваемых в соответствии с требованиями СНиП 2.01.28—85 и предназначенных для централизованного сбора, обезвреживания и захоронения токсичных отходов промышленных предприятий, НИИ и учреждений. Приему на полигоны подлежат: мышьяксодержащие неорганические твердые отходы и шламы; ртутьсодержащие отходы; цианосодержащие сточные воды и шламы; отходы, содержащие свинец, цинк, олово, кадмий, никель, сурьму, висмут, кобальт и их соединения; отходы гальванического производства, использованные органические растворители; органические горючие (обтирочные материалы, ветошь, твердые смолы, обрезки пластмасс, оргстекла, остатки лакокрасочных материалов, загрязненные опилки, деревянная тара, промасленная бумага и упаковка, жидкие нефтепродукты, не подлежащие регенерации, масла, загрязненные бензин, керосин, нефть, мазут, растворители, эмали, краски, лаки, смолы); неисправные ртутные дуговые и люминесцентные лампы; формовочная земля; песок, загрязненный нефтепродуктами; испорченные баллоны с остатками веществ и др. Жидкие токсичные отходы перед вывозом на полигон должны быть обезвожены на предприятиях.

Приему на полигон не подлежат: отходы, для которых разработаны эффективные методы извлечения металлов и других веществ; нефтепродукты, подлежащие регенерации; радиоактивные отходы.

Переработка отходов на полигонах предусматривает использование физико-химических методов; термическое обезвреживание с утилизацией теплоты, демеркуризацию ламп с утилизацией

ртути и других ценных металлов, прокаливание песка и формовочной земли, подрыв баллонов в специальной камере, затаривание отходов в герметичные контейнеры и их захоронение.

Полигоны должны иметь санитарно-защитные зоны: завод по обезвреживанию токсичных отходов мощностью 100 тыс. т и более отходов в год — 1000 м; завод мощностью менее 100 тыс. т в год — 500 м; участок захоронения токсичных отходов — не менее 3000 м.

Нормирование химического загрязнения почв устанавливается по предельно допустимым концентрациям ($ПДК_п$). По своей величине $ПДК_п$ значительно отличается от принятых допустимых концентраций для воды и воздуха. Это отличие объясняется тем, что поступление вредных веществ в организм непосредственно из почвы происходит в исключительных случаях и в незначительных количествах. В основном через контактирующие с почвой среды (воздух, вода, растения).

$ПДК_п$ — это концентрация химического вещества в мг на кг почвы в пахотном слое почвы, которая не должна вызывать прямого или косвенного отрицательного влияния на соприкасающиеся с почвой среды и здоровье человека, а также на самоочищающую способность почвы. Регламентирование загрязнения осуществляется в соответствии со списками № 2264-80 от 30.10.80; № 2546-82 от 30.04.82 и Приложения к списку № 2546-82 Минздрава СССР. Существует четыре разновидности $ПДК_п$ (табл. 48) в зависимости от пути миграции химических веществ в сопредельные среды: ТВ — транслокационный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы через корневую систему в зеленую массу и плоды растений; МА — миграционный воздушный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы в атмосферу; МВ — миграционный водный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы в подземные грунтовые воды и водоисточники; ОС — общесанитарный показатель, характеризующий влияние химического вещества на самоочищающую способность почвы и микробиоценоз.

Таблица 48

Вещество	$ПДК_п$, мг/кг	Вещество	$ПДК_п$, мг/кг
Марганец	1500 по ОС	Бромфос	0,4 по ТВ
Мышьяк	2 по ОС	Перхлордивинил	0,5 по ТВ
Ртуть	2,1 по ОС	Изопропилбензол	0,5 по МА
Свинец	20 по ОС	Фосфора оксид P_2O_5	200 по ТВ
Хром	0,05 по МВ	α Метилстирол	0,5 по МА
Бенз(а)пирен	0,02 по ОС	Формальдегид	7 по ОС

Отбор проб почвы проводят на участке площадью 25 м² в 3—5 точках по диагонали с глубины 0,25 м, а при выяснении влияния загрязнений на грунтовые воды с глубины 0,75—2 м в количестве 0,2—1 кг. В случае применения новых химических соединений, для которых отсутствуют $ПДК_п$, проводят расчет временных допустимых концентраций $(ВДК)_п$ по формуле

$$ВДК_п = 1,23 + 0,48 \lg ПДК_{пр},$$

где $ПДК_{пр}$ — предельно допустимая концентрация для продуктов (овощные и плодовые культуры), мг/кг.

§ 28. УТИЛИЗАЦИЯ И ЛИКВИДАЦИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Осадки сточных вод, скапливающиеся на очистных сооружениях, представляют собой водные суспензии с объемной концентрацией полидисперсной твердой фазы от 0,5 до 10%. Прежде чем направить осадки сточных вод на ликвидацию или утилизацию, их подвергают предварительной обработке для получения шлама, свойства которого обеспечивают возможность его утилизации или ликвидации с наименьшими затратами энергии и загрязнениями окружающей среды. Технологический цикл обработки осадков сточных вод, представленный на схеме 3.

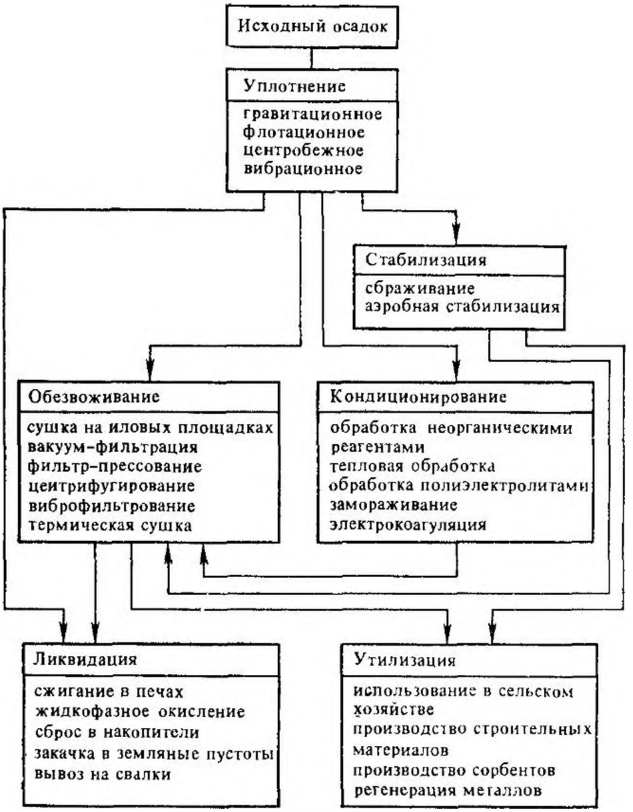
Уплотнение осадков сточных вод является первичной стадией их обработки. Распространены гравитационный и флотационный методы уплотнения, осуществляющиеся в отстойниках-уплотнителях в установках напорной флотации. Применяется также центробежное уплотнение осадков в циклонах и центрифугах. Перспективно вибрационное уплотнение путем фильтрования осадка сточных вод через фильтрующие перегородки или с помощью погруженных в осадок вибраторов.

Стабилизация осадков используется для разрушения биологически разлагаемой части органического вещества, что предотвращает загнивание осадков при длительном хранении на открытом воздухе (сушка на иловых площадках, использование в качестве сельскохозяйственных удобрений и т. п.).

Для стабилизации осадков промышленных сточных вод применяют в основном *аэробную стабилизацию* — длительное аэрирование осадков в сооружениях типа аэротенков, в результате чего происходит распад основной части биологически разлагаемых веществ, подверженных гниению. Период аэробной стабилизации при температуре 20°С составляет 8—11 сут, расход кислорода для стабилизации 1 кг органического вещества активного ила — 0,7 кг. Используется данный метод для обработки осадков с расходом до 4200 м³/ч.

Кондиционирование осадков проводят для разрушения коллоидной структуры осадка органического происхождения и увеличения их водоотдачи при обезвоживании. В промышленности

Схема 3. **Технологический цикл обработки осадков сточных вод**



применяют в основном реагентный метод кондиционирования с помощью хлорного железа и извести. Стоимость такой обработки составляет до 40% стоимости всех затрат при обработке осадка, поэтому ведется разработка и внедрение более экономичных методов кондиционирования: тепловой обработки, замораживания и электрокоагуляции.

Обезвоживание осадков сточных вод предназначено для получения шлака с объемной концентрацией полидисперсной твердой фазы до 80%. До недавнего времени обезвоживание осуществлялось в основном сушкой осадков на иловых площадках. Однако низкая эффективность такого процесса, дефицит земельных участков в промышленных районах и загрязнение воздушной среды обусловили разработку и применение более эффективных методов обезвоживания. Так, осадки промышленных сточных вод обезвоживаются вакуум-фильтрованием на фильтр-прессах, цент-

рифугированием и вибрационным фильтрованием. Обезвоживание термической сушкой применяется для осадков, содержащих сильно токсичные вещества, которые перед ликвидацией и утилизацией необходимо обеззараживать. Широкое внедрение процессов термической сушки ограничивается высокой стоимостью процесса очистки.

Ликвидация осадков сточных вод применяется в тех случаях, когда утилизация оказывается невозможной или экономически нерентабельной. Выбор метода ликвидации осадков определяется их составом, а также размещением и планировкой промышленного предприятия. Сжигание — один из наиболее распространенных методов ликвидации осадков сточных вод. Предварительно обезвоженные осадки органического происхождения имеют теплотворную способность 16 800—21 000 кДж/кг, что позволяет поддерживать процесс горения без использования дополнительных источников теплоты. Осадки сжигаются на станциях очистки сточных вод в многоподовых, циклонных печах, а также печах кипящего слоя.

На рис. 77 представлена схема установки с использованием теплоты, получаемой от сжигания твердых отходов, для термической сушки и сжигания осадков сточных вод. Дымовые газы, образующиеся при сжигании твердых отходов в печи *1* с темпе-

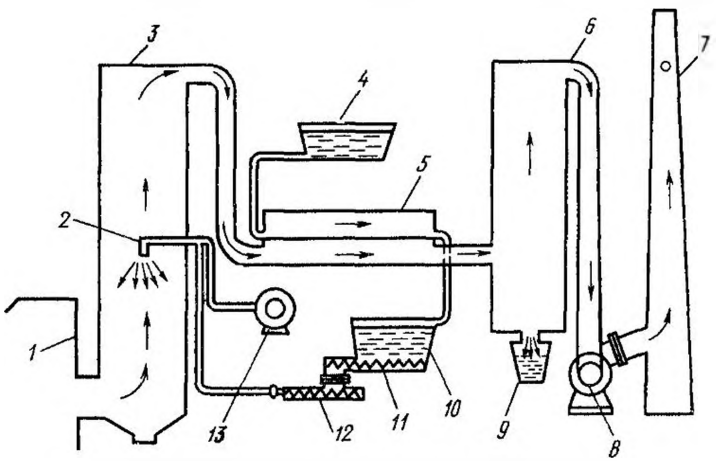


Рис. 77. Схема установки для термической сушки и сжигания осадков сточных вод

ратурой 900—1000°С, поступают в камеру *3* для сжигания осадка сточных вод, в которой навстречу потоку дымовых газов с помощью насоса-дозатора *12*, компрессора *13* и распылителя *2* подается осадок в распыленном состоянии. В камере *3* капли осадка подогреваются, подхватываются потоком дымовых газов, сгорают и поднимаются в верхнюю зону камеры. Температура ды-

мовых газов в верхней зоне камеры снижается до 750—800°С за счет испарения влаги, содержащейся в осадках сточных вод. В этой же зоне происходит дезодорация паров воды. Дымовые газы, содержащие минеральные частицы осадка, золу и пары воды, поступат в теплообменник. Одновременно из бака *4* в канал теплообменника *5* подается уплотненный осадок с влажностью 93—95%, который подсушивается до 84—89% и поступает в бак *10*, оборудованный шнеком *11* для размельчения и подачи осадка к насосу-дозатору *12*. Дымовые газы, охлажденные в теплообменнике до температуры 300—350°С, поступают в фильтр *6*, откуда отсасываются вентилятором *8* через трубу *7* в окружающую среду. Твердые частицы, осаждающиеся на фильтре, поступают в сборник *9*, откуда они периодически удаляются.

Установки такого типа не вызывают загрязнения окружающей среды, просты в эксплуатации. Они позволяют обезвреживать органические отходы (маслопродукты, растворители, краски, лаки и т. д.) с влажностью до 60% и объемным содержанием механических примесей до 10%.

К временным мероприятиям по ликвидации осадков относятся: сброс жидких осадков в накопители и закачка в земляные пустоты. Регенерация металлов — один из способов утилизации осадков сточных вод машиностроительных предприятий, особенно в гальванических, прокатных, штамповочных и термообрабатывающих цехах. Основными методами регенерации металлов являются вакуумная кристаллизация и нейтрализация.

При проектировании технологического процесса обработки осадков сточных вод следует иметь в виду не только проблемы их ликвидации и утилизации, но и уменьшение безвозвратных потерь воды в осадках, так как эти потери значительно снижают процент использования воды в оборотном цикле. Например, при очистке сточных вод от механических примесей в напорных гидроциклонах до 7% воды безвозвратно теряется с осадком.

При проектировании и эксплуатации систем очистки сточных вод машиностроительных предприятий следует рассматривать не только использование осадков сточных вод, но и других продуктов, выделяемых в процессе очистки. Например, при очистке сточных вод от масел в отстойниках, гидроциклонах и т. п. скапливается большое количество маслопримесей, из которых после отстаивания их во вторичных отстойниках утилизируют чистое масло, используемое затем в технологических процессах.

В ФРГ разработаны промышленные установки типа «Серво-ионолиз» для очистки сточных вод гальванических цехов с одновременной регенерацией содержащихся в них тяжелых металлов. Установку типа «Серво-ионолиз» используют для регенерации меди и цинка из травильных растворов; серебра, меди, цинка и кадмия из цианидсодержащих растворов с одновременным обезвреживанием цианидов. Установки типа «Серво-катиолиз» и

пользуют для осаждения никеля, меди, цинка и кадмия из малоконцентрированных гальванических растворов или сточных вод с одновременным выделением из них кислоты.

Термические установки типа «Серво» используют для концентрирования ценных металлов из сточных вод промывных ванн гальванических цехов с последующей конденсацией пара и повторным использованием очищенной воды в технологическом цикле.

§ 29. БЕЗОТХОДНАЯ И МАЛООТХОДНАЯ ТЕХНОЛОГИИ

Радикальное решение проблем охраны окружающей среды от негативного воздействия промышленных объектов возможно при широком применении безотходных и малоотходных технологий. Использование очистных устройств и сооружений не позволяет полностью локализовать токсичные выбросы, а применение более совершенных систем очистки всегда сопровождается экспоненциальным ростом затрат на осуществление процесса очистки даже в тех случаях, когда это технически возможно. Так например, очистка сточных вод крупного машиностроительного предприятия с эффективностью до 90% обеспечивается сравнительно легко, на каждый последующий процент дает рост затрат, взмывающий вверх по экспоненциальной кривой. Стопроцентная очистка теоретически возможна, но практически неосуществима из-за громоздкости очистных сооружений и их колоссальной стоимости. Следовательно, нужно искать альтернативное решение, а именно: внедрять малоотходную и ресурсосберегающую технологию.

Термин «безотходная технология», впервые предложенный академиками Н. Н. Семеновым и И. В. Петряновым, получил широкое распространение в нашей стране и за рубежом, иногда вместо «малоотходной и безотходной технологии» применяется термин «чистая» или «более чистая технология».

В настоящее время в соответствии с решением ЕЭК ООН и Декларацией о малоотходной и безотходной технологии и использовании отходов принята следующая формулировка безотходной технологии. «Безотходная технология есть практическое применение знаний, методов и средств, с тем чтобы в рамках потребностей человека обеспечить наиболее рациональное использование природных ресурсов и энергии и защитить окружающую среду».

Под безотходной технологией, безотходным производством, безотходной системой понимают не просто технологию или производство того или иного продукта (или продуктов), а принцип организации и функционирования производств, региональных промышленно-производственных объединений, территориально-производственных комплексов народного хозяйства в целом. При этом рационально используются все компоненты сырья и энергия

в замкнутом цикле (первичные сырьевые ресурсы — производ во — потребление — вторичные сырьевые ресурсы), т. е. не на шается сложившееся экологическое равновесие в биосфере.

Малоотходная технология является промежуточной ступе при создании безотходного производства. При малоотходном п изводстве вредное воздействие на окружающую среду не пре шает уровня, допустимого санитарными органами, но по тех ческим, экономическим организационным или другим причи часть сырья и материалов переходит в отходы и направляется длительное хранение или захоронение.

Основой безотходных производств является комплексная п работка сырья с использованием всех его компонентов, поскол отходы производства — это по тем или иным причинам неисп зованная или недоиспользованная часть сырья. Большое значе при этом приобретает разработка ресурсосберегающих техн гий.

Для удовлетворения потребностей народного хозяйства е годно в расчете на душу населения в хозяйственный оборот влекается до 20 т природного сырья. В промышленности ~ затрат приходится на сырье, материалы, топливо и энер В этой связи в условиях постоянно нарастающего дефицита родных ресурсов важную роль играет рациональное, компл ное и экономическое их использование, снижение металлоемк и энергоемкости промышленого производства. При создании отходных и малоотходных производств необходимо постоянно вершенствовать существующие и разрабатывать принципиал новые технологические процессы и схемы, при реализации к рых существенно снижается количество образующихся отходов они практически ликвидируются.

Такое производство включает и переработку отходов пр водства и потребления с получением товарной продукции любое полезное их использование без нарушения экологичес равновесия.

Целесообразность использования отходов доказана пра ческой работой многих предприятий различных отраслей пром ленности. За годы десятой пятилетки собрано и использо 236 млн. т товарного лома и отходов черных металлов, эконо ческий эффект от использования которых составил 4,9 млрд. Использование макулатуры, вторичных текстильных материа изношенных шин, вторичных полимеров, стеклобоя и ряда др отходов позволяет выпускать товары производственно-техниче го назначения и народного потребления без использования де цитного первичного сырья.

Таким образом, малоотходная и безотходная технология жны обеспечить:

— комплексную переработку сырья с использованием всех компонентов на базе создания новых безотходных процессов;

— создание и выпуск новых видов продукции с учетом требо-
ний повторного ее использования;

— переработку отходов производства и потребления с получе-
ем товарной продукции или любое полезное их использование
з нарушения экологического равновесия;

— использование замкнутых систем промышленного водоснаб-
ения;

— создание безотходных территориально-производственных
мплексов и экономических регионов.

В машиностроении разработка малоотходных техпроцессов
язана прежде всего с необходимостью увеличения коэффициен-
использования металла (КИМ). Естественно, что увеличение
ИМ дает не только технико-экономические выгоды, но и позво-
ет уменьшить отходы и вредные выбросы в окружающую
еду.

Сравнительно новым технологическим процессом в литейном
оизводстве является использование быстротвердеющих формо-
чных смесей. Этот процесс, при котором происходит химическое
твердевание форм и стержней, прогрессивен не только в техно-
гическом, но и в санитарно-гигиеническом отношении вследст-
ие значительного сокращения пылевыделения. КИМ увеличива-
ся при таком литье до 95—98%. Полная регенерация формо-
чных смесей осуществлена на КамАЗе, что сняло вопрос о
иквидации отходов.

Новую технологию изготовления разовых литейных форм пред-
жила английская фирма «Бут», вообще отказавшаяся от ис-
льзования формовочных смесей с органическими связующими.
лажненный водой песок формируется и затем быстро замора-
ивается жидким азотом. Полученные в таких формах отливки
чугуна и цветных сплавов имеют хорошую структуру и глад-
ю поверхность.

Одним из видов технологических потерь в кузнечно-прессовых
ках является угар металла, достигающий 5% массы загружае-
го в печь материала. Угар повышается с увеличением продол-
тельности нагрева, поэтому для сокращения потерь необходи-
интенсифицировать процесс нагрева, устанавливая его опти-
льный режим в соответствии с конструкцией нагревательного
орудования и формой заготовки.

Другим видом технологических потерь металла при его на-
еве является окалина, возникающая в результате окисления по-
хностного слоя металла. При пламенном нагреве потери
талла от окалины составляют ~3% массы заготовки. Особенно
стый слой окалины образуется при неравномерном нагреве.
фективными способами борьбы с угаром и образованием ока-
ны являются нагрев заготовки в защитной безокислительной сре-
, а также контактный и индукционный нагрев, позволяющий
изить потери металла до 0,5%. Для уменьшения образования

окалины используется нагрев в нейтральной среде токами высокой частоты.

В термических цехах целесообразно применять нагрев деталей в ваннах, что предотвращает окисление и обезуглероживание поверхностного слоя стальных деталей. При этом масляные ванные предпочтительнее свинцовых, загрязняющих атмосферу аэрозолем свинца. Заменив в нагревательной ванне минеральное масло расплавом селитры, можно снизить потребление и сброс нефтепродуктов.

При термической обработке металлов большой практический

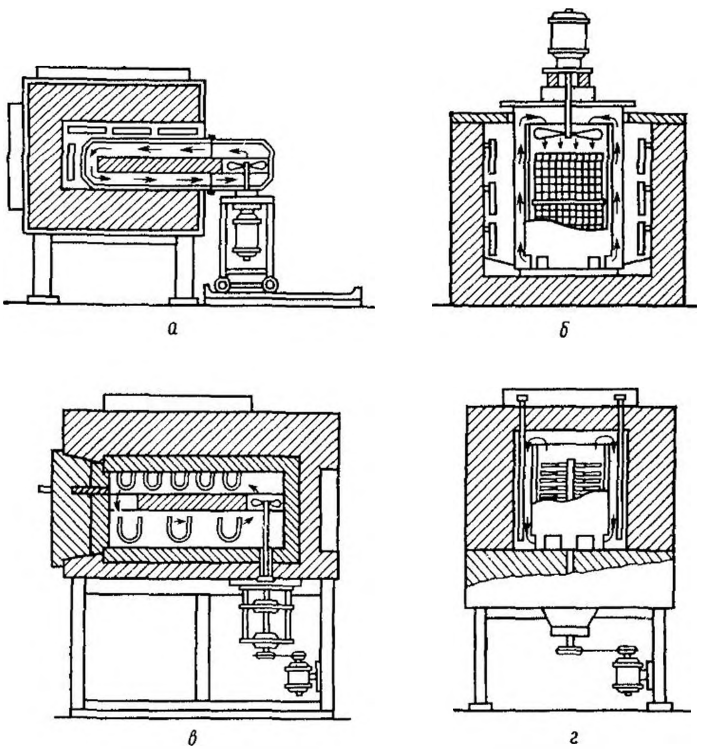


Рис. 78 Схемы циркуляционных установок:
а — камерная муфельная, *б* — шахтная муфельная, *в* — камерная безмуфельная, *г* — шахтная безмуфельная

интерес представляют новые производственные методы, основанные на проведении процессов в замкнутых объемах с экономичным расходом исходных составляющих и без выделения продуктов реакции в окружающую среду. Например, *циркуляционный метод* диффузионного насыщения металлов и сплавов одним и несколькими элементами с использованием специальных установок (рис. 78), в которых рабочее пространство герметично, а

газовый поток создается реверсивным вентилятором. В отличие от прямоточного газового метода, при котором происходит выброс вредных веществ в атмосферу, циркуляционный метод обеспечивает безвредность техпроцесса химико термической обработки.

Прогрессивный процесс ионного азотирования (рис. 79) по сравнению с печным обладает большей экономичностью, повышает коэффициент использования электроэнергии, нетоксичен и отвечает требованиям защиты окружающей среды.

В области обработки материалов резанием большой интерес представляет новый универсальный метод — *иглофрезерование*, разработанный ВНИИ по строительству магистральных трубо-

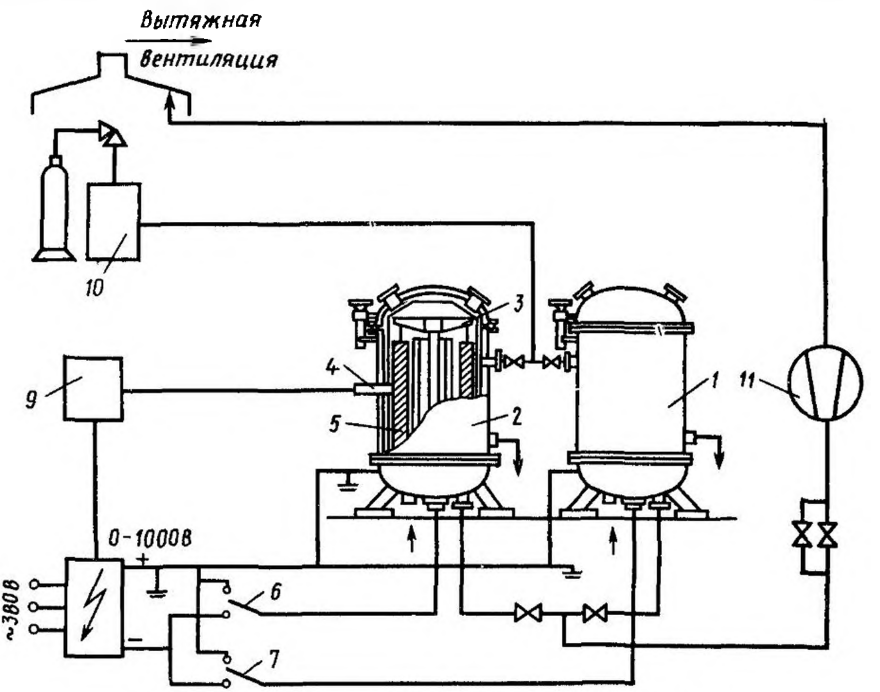


Рис. 79 Схема электропечи ионного азотирования

1, 2 — нагревательные камеры, *3* — подвеска с деталью, *4* — термопара, *5* — обрабатываемые детали; *6, 7* — разъединитель, *8* — тиристорный источник питания; *9* — блок измерения и регулирования температуры, *10* — газоприготовительная установка, *11* — вакуумный насос

проводов. При иглофрезеровании не образуется пыли, этот метод позволяет заменить такой неприятный химический процесс, как травление.

На шлифовальных и заточных операциях перспективно применение алмазно-абразивных инструментов и кругов из нового синтетического материала — эльбора, что способствует уменьшению количества абразивного шлама и удлиняет сроки замены смазоч-

но-охлаждающих жидкостей (СОЖ), содержащих вредные вещества (нитриты и др.).

Уменьшению загрязнения воздушного бассейна способствует совершенствование методов окраски машин. При обычном способе окраски распылением пневматическими краскораспылителями потери краски, загрязняющей воздух, составляют 40—60%. Получивший широкое распространение способ окраски в электростатическом поле позволил свести непроизводительные потери

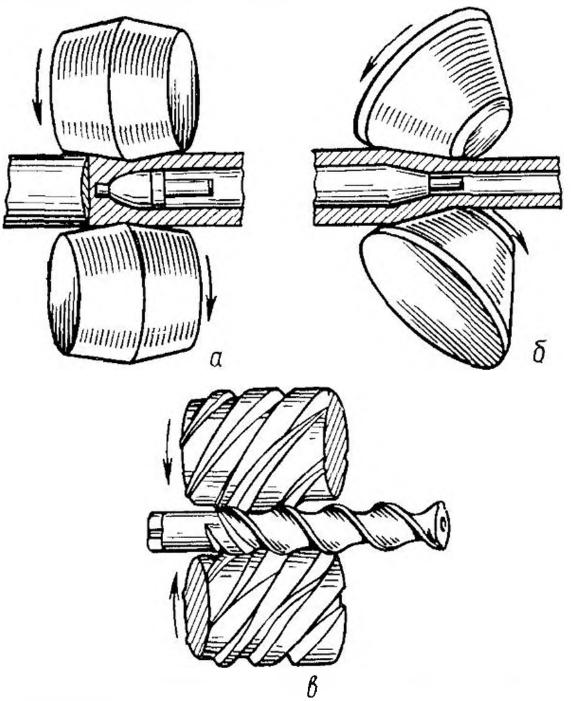


Рис. 80. Прокатка пустотелой буровой стали:
а — прошивка, *б* — редуцирование; *в* — формовка

лакокрасочных материалов к минимуму, одновременно существенно повысив санитарно-гигиенические показатели процесса. Сущность метода заключается в том, что распыленная краска подается в электростатическое поле высокого напряжения с отрицательным потенциалом на электродных сетках и положительным на изделии. Частицы краски, несущие отрицательный заряд, притягиваются к изделию. Способ окраски в электростатическом поле легко поддается автоматизации.

Другим направлением снижения вредного влияния процесса окраски на атмосферу является уменьшение токсичности применяемых материалов. Лакокрасочные материалы, содержащие ор-

ганические растворители, заменяются водорастворимыми материалами.

В кузнечном корпусе Горьковского автомобильного завода процесс травления поковок в растворе серной кислоты полностью заменен очисткой поковок от окалины стальной дробью в дробометных барабанах непрерывного действия и в проходных дробометных камерах. Это дало возможность прекратить сброс в отстойники отработанной серной кислоты и железа, а также уменьшить объемный расход технической воды на 10 000 м³/год.

В прокатном производстве в последние годы созданы и получили широкое распространение так называемые деталепрокатные станы (зубопрокатные, винтовой прокатки в винтовых камерах, поперечно-винтовой, клиновой и др.), позволяющие отказаться в ряде случаев от дальнейшей металлообработки и сэкономить металла на 10—35% по сравнению с резанием Важно отметить, что внедрение стана винтовой прокатки по способу ВНИИметмаш (рис. 80) для получения пустотелой спиральной буровой стали ПБС позволило не только получить значительную экономию металла (до 1000 т в год), но и улучшить условия труда шахтеров в результате снижения запыленности воздуха в шахтах, уменьшения вибрации и повышения скорости бурения на 10—15%.

Порошковая металлургия позволяет создавать материалы и изделия с особыми, часто уникальными составами, структурой и свойствами, а иногда вообще недостижимыми при других техпроцессах. При этом обеспечивает значительный экономический эффект (1—4 млн. руб. на 1000 т спеченных изделий) за счет потерь материалов до 5—7% и увеличения КИМ в 2—3 раза. Для сравнения отметим, что при металлообработке литья и проката часто теряется в стружках до 60—70% металла.

В подшипниковой промышленности разработана и внедрена технология использования шлифовального шлака для производства колец подшипников методами порошковой металлургии, что позволяет получать ежегодную экономию до 70 000 т качественного порошка легированной стали.

Контрольные вопросы

1. Каковы особенности сбора и переработки твердых отходов машиностроительного производства?
2. Какие факторы необходимо учитывать при организации сбора и переработки твердых отходов и осадков сточных вод?
3. Назовите перспективные методы переработки промышленных отходов
4. Какова роль и перспективы малоотходных и безотходных технологий в машиностроении?