

НАУКА – ПРОИЗВОДСТВУ

УДК 628.4.045

В. Г. Петров, кандидат химических наук
Институт прикладной механики УрО РАН;

Ю. Н. Меркушев
ОАО «Ижевский радиозавод»

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Одной из причин загрязнения сточных вод (СВ) промышленных предприятий солями тяжелых металлов является низкая эффективность работы заводских очистных сооружений. Это ведет к ухудшению экологических показателей СВ и к экономическим последствиям, связанным с необходимостью выплаты штрафов промышленными предприятиями. Однако из-за последствий экономического кризиса в 90-х годах прошлого века промышленные предприятия не имели достаточных средств для переоборудования и модернизации производства. Нами были проведены исследования мероприятий по повышению эффективности работы очистных сооружений ОАО «Ижевский радиозавод», которые бы не требовали значительных капиталовложений и существенных изменений схемы очистки СВ предприятия. Также разработаны рекомендации по замене фильтровального оборудования.

Краткая характеристика проблемы

Из-за неэффективной работы илоудаляющего оборудования в отстойниках очистных сооружений от 2 цехов, занимающихся обезвреживанием стоков производств ОАО «Ижевский радиозавод» (ИРЗ), было накоплено в течение 10–12 месяцев около 200 м³ суспензии, образующейся при нейтрализации сточных вод (СВ) завода. Это составляет 50 % от общего объема отстойников. Суспензия, направляемая в отстойники очистных сооружений, образуется после смешения и нейтрализации кислотно-основных технологических стоков ИРЗ. В состав суспензии входят гидроксиды железа, кальция, никеля, меди, цинка и других металлов. Для укрупнения частиц осадка и улучшения их механических свойств при фильтрации добавляется флокулянт – полиакриламид. Состав шлама ИРЗ приведен в табл. 1 [1].

Одной из причин низкой эффективности очистных сооружений была неудовлетворительная работа вакуум-фильтров, использующихся при илоудалении, что привело к накоплению осадка в отстойниках. В результате этого при подаче нейтрализованных стоков в отстойники и проведении других технологических операций происходило взмучивание осадка и, как следствие, – унос взвешенных частиц шлама в систему городской канализации [1]. Краткая характеристика очистных сооружений одного из цехов ИРЗ до проведения исследований приведена в табл. 2 [1]. Нами была изучена возможность повышения эффективности работы очистных сооружений предприятия.

Лабораторные испытания по обезвоживанию суспензии

Исследования суспензии ИРЗ показали, что скорость оседания основной части суспензии (более 95 % всех частиц) составляет примерно $w_{ос} \approx 2,5 \cdot 10^{-4}$ м/с, при

отстаивании различных проб суспензии с очистных сооружений ИРЗ в течение суток происходило ее уплотнение с соотношением фаз по объему $T : Ж = 1 : 4-1 : 5$.

Таблица 1. Состав шлама гальвано-химических производств ИРЗ [1] и значения плотности составляющих влажного осадка [5]

Примерный состав шлама ИРЗ		$\rho_{т,и}$ для влажного шлама, г/см ³ [5]
Формула	% масс	
$Ca(OH)_2$	23,5–24,2	2,24
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	29,5–30,9	2,31–2,33
$Fe(OH)_3$	18,5–18,6	3,40–3,90
$Fe(OH)_2$	0,1–0,2	3,40
$Al(OH)_3$	10,4–11,2	3,00–3,50
$Zn(OH)_2$	8,3–8,6	3,05
$Cu(OH)_2$	2,9–4,6	3,37
$Ni(OH)_2$	1,3–1,4	4,10
$Cr(OH)_3$	2,8–2,9	3,70–3,90

Таблица 2. Краткая характеристика очистных сооружений одного из цехов ИРЗ до проведения исследований

1. Количество поступающих промышленных стоков – 100 м³/сут. 2. Количество отстойников – 2 шт. 3. Объем одного отстойника – 100 м³ 4. Объем илоуплотнителя – 50 м³ 5. Количество накопленного ила (шлама) в отстойниках ~ 50 % 6. За какое время произошло накопление шлама ~ 12 мес. 7. Количество ила в поступающих стоках ~ 6 м³/сут. 8. Фильтровальное оборудование: – тип фильтров – вакуум-фильтры БОУ-5; – количество фильтров – 2 шт. 9. Производительность фильтровального оборудования: – по осадку – 500 кг/сут; – по суспензии – 5-6 м³/сут.
--

Изучение возможности увеличения производительности вакуум-фильтров ИРЗ проводили на лабораторном вакуум-филт্রে. Суспензия, полученная из илоуплотнителей отстойников ИРЗ, сгущалась в соответствующее количество раз, после этого осуществлялось ее фильтрование и замерялось время фильтрации при различных температурах суспензии. Каждый раз фильтровался определенный объем суспензии – 200 мл. Результаты экспериментов приведены ниже. Также были определены удельное сопротивление осадка при фильтрации и влажность осадка.

Для определения удельного сопротивления осадка при фильтрации использовалась установка, схема которой приведена на рис. 1. Установка состоит из воронки Бюхнера, мерной колбы, ртутного вакуумметра, водоструйного вакуум-насоса и секундомера. Исследуемую суспензию выливали в воронку Бюхнера и определяли зависимость количества отфильтрованной жидкости от времени. Далее рассчитывали коэффициенты в уравнении фильтрации (1), из которых определяли удельное сопротивление осадка [2–4]:

$$V^2 + 2 \frac{R_{\text{фи}} S}{r_o x_o} V = 2 \frac{\Delta p S^2}{\mu r_o x_o} \tau, \quad (1)$$

где V – объем фильтрата, м^3 ; $R_{\text{фп}}$ – сопротивление фильтровальной перегородки, м^{-1} ; S – поверхность фильтрования, м^2 ; r_o – удельное объемное сопротивление осадка, м^{-2} ; x_o – отношение объема осадка к объему фильтрата; Δp – разность давлений при фильтрации, н/м^2 ; μ – вязкость жидкой фазы суспензии, $\text{н} \cdot \text{с/м}^2$; τ – продолжительность фильтрования, с .

Полученные данные были далее использованы для расчетов по увеличению производительности работы вакуум-фильтров.

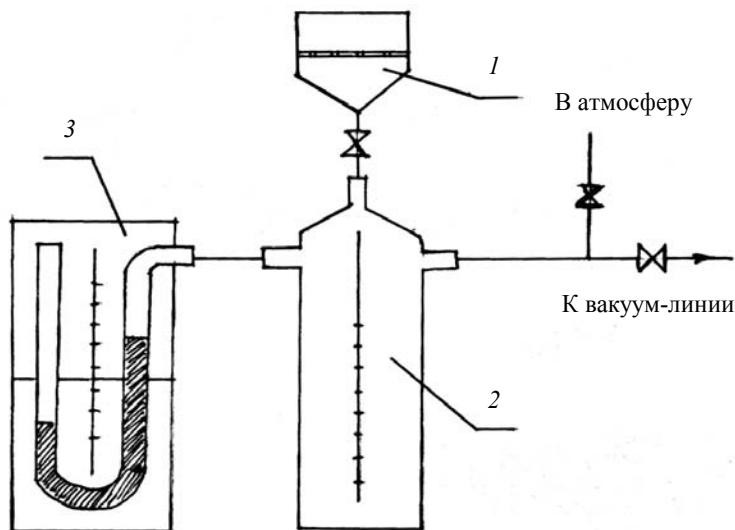


Рис. 1. Схема лабораторной фильтровальной установки:
1 – воронка Бюхнера; 2 – мерная емкость; 3 – ртутный вакуумметр

Решения по увеличению производительности вакуум-фильтров

Производительность вакуум-фильтра по суспензии, поступающей из отстойников заводских очистных сооружений, определяется из выражения

$$V_c = V_{\text{ф}} + V_{\text{ос}}, \quad (2)$$

где $V_c, V_{\text{ф}}, V_{\text{ос}}$ – производительность вакуум-фильтров по суспензии, фильтрату и осадку, $\text{м}^3/\text{с}$.

Отношение объема осадка к объему фильтрата записывается так:

$$x_o = \frac{V_{\text{ос}}}{V_{\text{ф}}}. \quad (3)$$

Используя выражение (3), можно получить следующую запись для выражения (2):

$$V_c = V_{\text{ос}} \left(1 + \frac{1}{x_o} \right). \quad (4)$$

Масса образующегося осадка равна: $M_{\text{ос}} = V_{\text{ос}} \rho_{\text{ос}}$. Плотность влажного осадка, представляющего смесь различных соединений металлов, может быть определена из выражения

$$\frac{1}{\rho_{\text{ос}}} = (1 - W_{\text{ос}}) \sum_i^n \frac{c_i}{\rho_{m,i}} + \frac{W_{\text{ос}}}{\rho_{\text{ж}}}, \quad (5)$$

где $W_{\text{ос}}$ – влажность осадка; c_i – содержание в осадке вещества (мас. доли); $\rho_{m,i}$ – плотность этого вещества; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкой фазы.

Плотность гидроксидов металлов $\rho_{m,i}$ приведена в табл. 1. В табл. 3 приведены полученные по формуле (5) значения плотности осадка в зависимости от влажности.

Таблица 3. Зависимость расчетной плотности осадка, образующегося на очистных сооружениях ИПЗ от влажности

$W_{\text{ос}}, \%$	70	75	80	85	90
$\rho_{\text{ос}}, \text{г/см}^3$	1,413	1,322	1,242	1,171	1,108

Производительность вакуум-фильтра по осадку также может быть рассчитана из выражения [5]

$$M_{\text{ос}} = \frac{F_{\text{об}} h_{\text{ос}} \rho_{\text{ос}}}{\tau_{\text{ц}}}, \quad (6)$$

где $F_{\text{об}}$ – общая поверхность фильтрования; $h_{\text{ос}}$ – высота слоя осадка на фильтре; $\tau_{\text{ц}}$ – продолжительность полного цикла работы вакуум-фильтра.

Продолжительность полного цикла работы фильтра представляет собой величину, обратную частоте вращения барабана:

$$\tau_{\text{ц}} = 1/n. \quad (7)$$

Частоту вращения барабана вакуум-фильтра, обеспечивающую образование осадка заданной толщины, его промывку и сушку, определяют по формуле

$$n = \frac{360 - \left(\varphi_{\text{с}} + \varphi_{\text{о}} + \varphi_{\text{р}} + \sum_{i=1}^4 \varphi_{\text{mi}} \right)}{360 (\tau_{\text{ф}} + \tau_{\text{пр}} + \tau_{\text{с}})}, \quad (8)$$

где $\tau_{\text{ф}}, \tau_{\text{пр}}, \tau_{\text{с}}$ – продолжительность фильтрования, промывки и сушки осадка после промывки; $\varphi_{\text{с}}, \varphi_{\text{о}}, \varphi_{\text{р}}$ – углы сектора подсушки осадка, зоны съема осадка, зоны регенерации; $\varphi_{\text{m1}}, \varphi_{\text{m2}}, \varphi_{\text{m3}}, \varphi_{\text{m4}}$ – углы мертвых зон между технологическими зонами. Углы секторов различных технологических и мертвых зон вакуум-фильтра определяются конструкцией аппарата и являются справочными величинами [5].

Время фильтрации осадка определяется по формуле

$$\tau_{\text{ф}} = \frac{\mu x_{\text{в}} r_{\text{в}}}{2 \Delta p} \frac{h_{\text{ос}}^2}{x_{\text{о}}^2} + \frac{\mu R_{\text{ф.п}}}{\Delta p} \frac{h_{\text{ос}}}{x_{\text{о}}}. \quad (9)$$

Обозначения для формулы см. к (1), а также: x_b – масса твердой фазы, отлагающейся при прохождении единицы объема фильтрата, кг/м³; r_b – массовое удельное сопротивление осадка, м/кг. В экспериментах обычно определяют величину r_o как удельное объемное сопротивление осадка, м⁻². В этих случаях перейти к величине r_b можно по соотношению

$$x_o r_o = x_b r_b. \quad (10)$$

Необходимые для выполнения расчетов величины x_b и x_o определяют следующим образом:

$$x_o = \frac{x_{cm} \rho_{ж}}{\rho_{oc} [1 - (W_{oc} + x_{cm})]}; \quad (11)$$

$$x_b = \frac{x_{cm} \rho_{ж} (1 - W_{oc})}{1 - (W_{oc} + x_{cm})}, \quad (12)$$

где x_{cm} – концентрация твердой фазы в суспензии, мас. доли.

Используя наиболее типичные значения углов для секторов вакуум-фильтра [5; 6] получим следующее значение частоты вращения барабана фильтра с учетом того, что промывки осадка не осуществляется. Для исследуемого случая частота вращения барабана вакуум-фильтра была приблизительно равна $0,26\tau_{\phi}^{-1}$. В табл. 4 приведены технологические параметры суспензии, образующейся на очистных сооружениях ИРЗ и поступающей на фильтрацию, а также характеристика фильтровального оборудования.

Таблица 4. Технологические параметры работы фильтровального оборудования ИРЗ, характеристики суспензии и получаемого осадка до проведения исследований

Параметры работы фильтровального оборудования							
$t, ^\circ\text{C}$	$h_{oc}, \text{м}$	$\tau_{\phi}, \text{с}$	$\tau_{ц}, \text{с}$	$V_c, \text{м}^3/\text{с}$	$V_{oc}, \text{м}^3/\text{с}$	$\Delta p, \text{Па}$	$R_{ф.п}, \text{м}^{-1}$
20	$5,0 \cdot 10^{-3}$	138,9	532,2	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$6,1 \cdot 10^4$	$4,1 \cdot 10^9$
Характеристики суспензии и осадка							
x_o	$r_o, \text{м}^{-2}$	$x_b, \text{кг/м}^3$	$r_b, \text{м/кг}$	$x_{cm}, \% \text{ масс}$	Т:Ж отс.сусп.	$W_{oc}, \%$	$\rho_{oc}, \text{г/см}^3$
$7,43 \cdot 10^{-2}$	$4,82 \cdot 10^{13}$	18,46	$1,94 \cdot 10^{11}$	1,69	~1:5	~80	~1,242

Изучалась возможность увеличения производительности работы вакуум-фильтров очистных сооружений без существенных изменений в технологическом режиме работы оборудования. Расчет технологических параметров для увеличения производительности фильтровального оборудования предполагался из условия, что производительность по суспензии останется такой же, а именно 5–6 м³/смену. Увеличение производительности по осадку произойдет за счет увеличения содержания твердой фазы в суспензии. Предполагаем также, что удельный объем фильтрата, получаемый с 1 м² фильтровальной перегородки, определяемый как $v_{уд} = h_{oc} / x_o$, в результате принимаемых решений не изменится. Такие условия позволяют не вносить существенных изменений в работу фильтровального оборудования. Предполагаем, что влажность получаемого осадка W_{oc} будет равной ~80 %.

Влияние на производительность фильтров сгущения осадка

Сгущение осадка – это увеличение содержания твердой фазы в нем или, соответственно, уменьшение жидкой. Соотношение между объемами твердой и жидкой фазы в суспензии после отстаивания может быть записано как

$$x'_o = \frac{V'_{oc}}{V_j}, \quad (13)$$

где V'_{oc} – объем осадка после отстаивания; V_j – объем осветленной жидкой фазы после отстаивания суспензии; x'_o – может также записываться в виде отношения фаз – Т : Ж (твердой к жидкой) в суспензии с учетом того, что подразумевается отношение объемов этих фаз.

Степень сгущения показывает, в какое количество раз уменьшился объем жидкой фазы в суспензии после отстаивания осадка, и определяется из выражения

$$s = \frac{x'_{o,2}}{x'_{o,1}} = \frac{(\dot{O} : \dot{E})_2}{(\dot{O} : \dot{E})_1}. \quad (14)$$

Из формулы (14) видно, что при $s > 1$ происходит сгущение осадка, при $s < 1$ – его разбавление. В табл. 5 приведены значения производительности по осадку для рассматриваемого случая в зависимости от степени сгущения. Из табл. 6 видно, что сгущение исходной суспензии может значительно увеличить производительность оборудования по осадку. Однако при этом следует учитывать, что при сгущении происходит увеличение времени фильтрации осадка (см. формулу (9)) и увеличение времени полного цикла фильтрования в соответствии с формулой (7).

Таблица 5. Зависимость производительности процесса фильтрации по осадку от степени сгущения при постоянной производительности по суспензии (см. табл. 4) и влажности осадка

Характеристики суспензии				Производительность по осадку	
Соотношение фаз, Т : Ж отс. сусп.	Степень сгущения	x_o	x_{cm} , % масс	V_{oc} , м ³ /смену	M_{oc} , кг/смену
1 : 5	1,0	$7,43 \cdot 10^{-2}$	1,69	0,403	500,0
1 : 4	1,25	$9,14 \cdot 10^{-2}$	2,04	0,487	605,4
1 : 3	1,67	$1,18 \cdot 10^{-1}$	2,56	0,615	764,1
1 : 2	2,5	$1,68 \cdot 10^{-1}$	3,45	0,836	1038,6
1 : 1	5,0	$2,87 \cdot 10^{-1}$	5,26	1,299	1613,2

Нами были проведены лабораторные исследования и расчеты по увеличению времени фильтрования в зависимости от степени сгущения исходной суспензии для 2 различных температур. Сгущение суспензии осуществляли следующим образом. Определенный объем исходной суспензии (~ 1,0–1,5 л) отстаивался в течение суток. После этого определенный объем осветленной жидкости сливался и замерялось соотношение между объемами твердой и жидкой фазы – Т : Ж. Результаты изучения времени фильтрации суспензии от степени сгущения приведены в табл. 6 и на рис. 2, из которых видно, что расчетное увеличение времени фильтрования суспензии несколько отличается от экспериментального. Это связано с тем, что в расчетах принималась неизменная влажность осадка, равная 80 %, в то время как в эксперименте при сгущении суспензии влажность получаемого на фильтре осадка

несколько возрастает (см. табл. 7 и рис. 3). Результаты проведенных исследований показывают, что можно осуществлять фильтрацию при сгущении осадка в 2–2,5 раза. При этом время фильтрации возрастает примерно в 1,5 раза.

Таблица 6. Расчетные и экспериментально определенные значения времени фильтрации в зависимости от степени сгущения суспензии для различных температур

Температура суспензии t , °C	Степень сгущения, s	$x_{см}$, % масс	$\tau_{ф}$, с	
			Расчетное	Экспериментальное
20	1,0	1,69	138,9	155,0
	1,25	2,04	172,4	–
	1,67	2,56	220,6	–
	2,0	2,94	253,2	182,0
	2,5	3,45	308,2	216,0
	3,0	3,90	355,7	304,0
	5,0	5,26	521,9	–
50	1,0	1,69	75,9	84,0
	1,25	2,04	94,2	–
	1,67	2,56	120,5	–
	2,0	2,94	138,3	114,0
	2,5	3,45	168,4	–
	3,0	3,90	194,4	156
	5,0	5,26	285,1	–

Таблица 7. Зависимость влажности получаемого на лабораторной установке осадка от степени сгущения при различных температурах суспензии

Температура суспензии t , °C	Степень сгущения, s	$W_{ос}$, %
20	1,0	78,5
	2,0	82,2
	2,5	82,4
	3,0	82,9
50	1,0	78,1
	2,0	81,0
	3,0	82,6

Такое увеличение времени фильтрации может существенно не сказаться на параметрах работы барабанных вакуум-фильтров ИРЗ, т. к. при проектных расчетах аппаратов обычно предполагается определенный запас по поверхности фильтрования [5].

Влияние на производительность температуры исходной суспензии

При увеличении температуры исходной суспензии снижается вязкость получаемого фильтрата (воды). В табл. 8 показана зависимость вязкости воды от температуры [7]. В соответствии с выражением (9) это позволяет снизить время фильтрации осадка или при одном и том же времени фильтрования получить большую производительность по осадку за счет увеличения высоты слоя осадка, осаждаемого на фильтровальной поверхности (см. (6)). В табл. 9 приведены расчетные значения производительности фильтровального оборудования по осадку в зависимости от температуры исходной суспензии. Повышение температуры позволяет осуществлять сгущение исходной суспензии в большее количество раз. В табл. 6 и на рис. 2 приведены зависимости времени фильтрования от степени сгущения исходной сус-

пензии при различных температурах. Из табл. 6 и рис. 2 видно, что увеличение температуры суспензии до 50 °С позволяет сгущать осадок в 3–4 раза при возрастании времени фильтрации в 1,5 раза. Некоторое отличие экспериментальных и расчетных значений времени фильтрации также связано с возрастанием влажности осадка в результате его сгущения (см. табл. 7 и рис. 3).

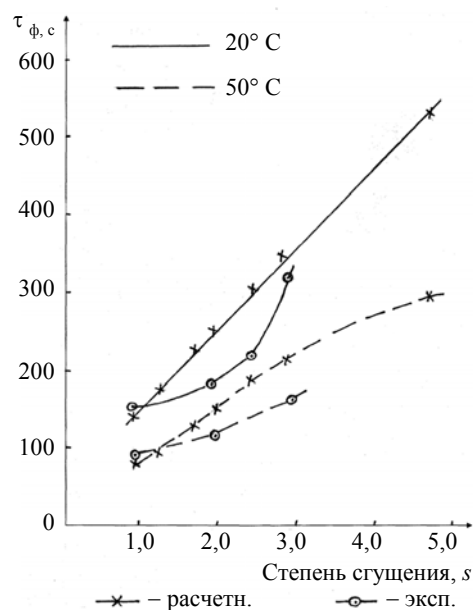


Рис. 2. Зависимость времени фильтрации осадка от степени сгущения суспензии при различных температурах

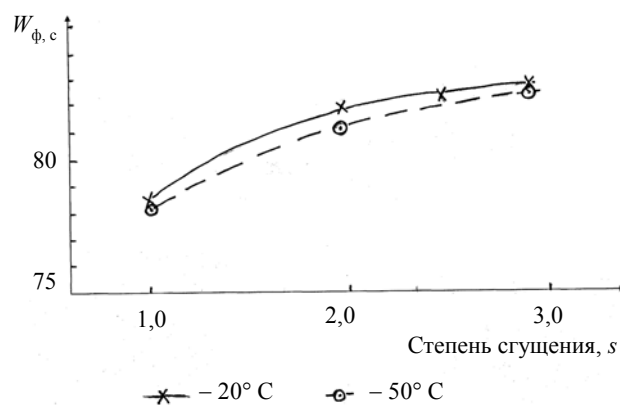


Рис. 3. Зависимость влажности получаемого осадка от сгущения при различных температурах суспензии

Таблица 8. Зависимость вязкости воды от температуры [7]

$t, ^\circ\text{C}$	20	30	40	50	60	70	80
$\mu, 10^3 \text{ Па} \cdot \text{с}$	1,005	0,8007	0,6560	0,5494	0,4688	0,4061	0,3565

Таблица 9. Зависимость производительности по осадку и суспензии в зависимости от температуры при характеристиках суспензии и осадка, приведенных в табл. 4

$t, ^\circ\text{C}$	$h_{\text{ос}}, 10^3 \text{ м}$	$V_{\text{ос}}, \text{ м}^3/\text{смену}$	$V_{\text{с}}, \text{ м}^3/\text{смену}$
20	5,0	0,403	5,82
30	5,6	0,451	6,52
40	6,2	0,499	7,22
50	6,8	0,548	7,92
60	7,4	0,596	8,61
70	7,9	0,631	9,20
80	8,5	0,684	9,89

В табл. 10 показано влияние на производительность по осадку степени сгущения и температуры исходной суспензии.

Таблица 10. Зависимость увеличения производительности процесса от степени сгущения и температуры суспензии (20–50 $^\circ\text{C}$) для очистных сооружений ИРЗ

Степень сгущения, s	Температура суспензии $t, ^\circ\text{C}$	$M_{\text{ос}}, \text{ кг/смену}$	В какое количество раз увеличилась производительность
1,0	20	500,0	1,0
	30	560,0	1,12
	40	620,0	1,24
	50	680,0	1,36
1,25	20	605,4	1,21
	30	670,2	1,34
	40	745,9	1,49
	50	810,7	1,62
1,67	20	764,1	1,53
	30	861,1	1,72
	40	958,1	1,92
	50	1043,0	2,09
2,50	20	1038,6	2,08
	30	1161,5	2,32
	40	1284,5	2,57
	50	1407,5	2,82
5,0	40	2004,3	4,01
	50	2183,6	4,37

На основании проведенного анализа для увеличения производительности фильтровального оборудования ИРЗ было рекомендовано смонтировать сгуститель для суспензии, поступающей из отстойников на фильтрацию. Осуществлять фильтрацию лишь сгущенной суспензии. Степень сгущения суспензии должна составлять 2–2,5. При этом также рекомендовано увеличение температуры суспензии при фильтрации [1]. Повышение температуры предлагалось осуществить за счет подачи греющего пара в корыто для суспензии вакуум-фильтра. Схема очистных сооружений ИРЗ

с предложенными изменениями приведена на рис. 4. На основании сделанных рекомендаций на очистных сооружениях ИПЗ был смонтирован сгуститель, что позволило увеличить производительность по осадку более чем в 2 раза. Это исключило увеличение накопления осадка в отстойниках и унос взвешенных частиц осадка в систему городской канализации [1].

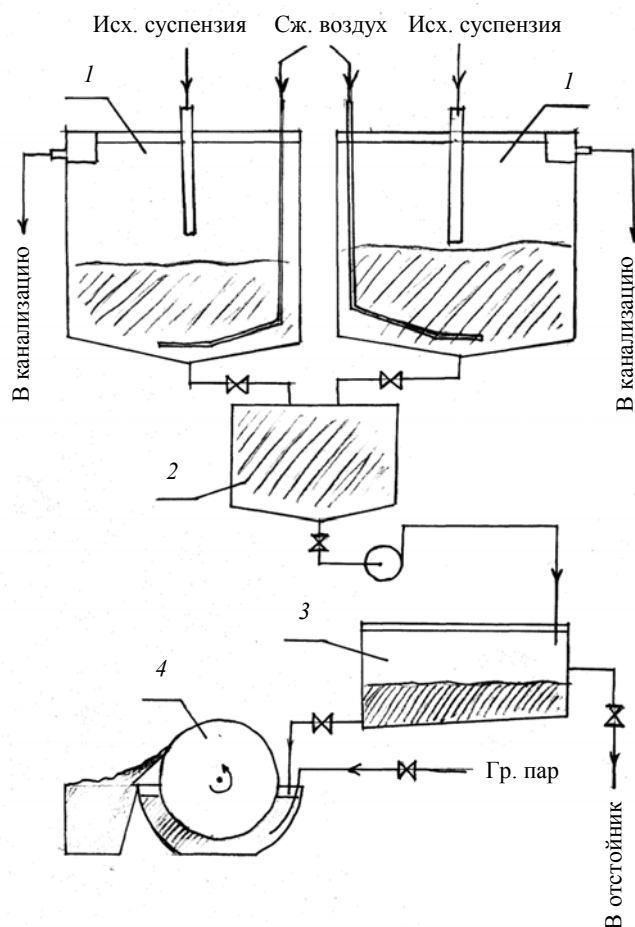


Рис. 4. Схема очистных сооружений ИПЗ при использовании сгустителя суспензии и ее подогрева при фильтрации: 1 – отстойники; 2 – илоуплотнитель; 3 – сгуститель; 4 – барабанный вакуум-фильтр

Рекомендации по замене фильтровального оборудования

Выбор аппаратов для обезвоживания суспензий определяется свойствами суспензий и осадков, важнейшими из которых являются: содержание твердой фазы в суспензии, средний размер частиц, вязкость жидкой фазы, удельное сопротивление осадков при фильтрации; консистенция и адгезионные свойства осадков [6; 8; 9].

Выбор аппарата для фильтрации определяют испытанием суспензий в лабораторных условиях при движущей силе фильтрования $2 \cdot 10^4$ Па. Для оценки фильт-

руемости суспензий принимают условно пятибалльную шкалу (табл. 11). Лабораторные испытания суспензии с очистных сооружений ИРЗ показали, что она имеет балл 3. Для такого осадка использование вакуум-фильтров без предварительного сгущения суспензии имеет низкую эффективность. Более эффективно использовать фильтры, работающие под давлением, и центрифуги [6; 8–10].

Таблица 11. Условная пятибалльная система для оценки фильтруемости суспензий, $\Delta p = 2 \cdot 10^4$, Па [10]

Толщина осадка при 1 мин отстаивания суспензии, см	10	1–10	0,1–1	< 0,1	Осадок не заметен
Балл	5	4	3	2	1

В соответствии со сделанной рекомендацией [1] на ИРЗ часть вакуум-фильтров была заменена на фильтры ФПАКМ – фильтр-прессы автоматизированные с горизонтальными камерами. В этих фильтрах используется высокое давление фильтрования – до 1,5 МПа, что увеличивает производительность процесса. Влажность осадка в этих фильтрах снижается до 65–70 %. Это дополнительно уменьшает количество осадка, направляемое на полигон промышленных отходов, в 1,5 раза.

Выводы

Таким образом, в результате внедрения разработанных рекомендаций на ИРЗ удалось увеличить производительность фильтровального оборудования на очистных сооружениях более чем в 2 раза, что позволило исключить шламонакопление в отстойниках предприятия, а также снизить количество вывозимых на полигон промышленных отходов осадков СВ предприятия.

Список литературы

1. Петров, В. Г. Разработка технических решений по исключению илонакопления в отстойниках корпуса 3А и энергоцеха АООТ «Ижевский радиозавод» : отчет по НИР. – Ижевск : ИПМ УрО РАН, 1996. – 16 с.
2. Жужиков, В. А. Фильтрование. – М. : Химия, 1980. – 398 с.
3. Руководство к практическим занятиям в лаборатории процессов и аппаратов химической технологии / под ред. П. Г. Романкова. – Л. : Химия, 1990. – 272 с.
4. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М. : Химия, 1973. – 752 с.
5. Основные процессы и аппараты химической технологии : пособие по проектированию / под ред. Ю. А. Дытнерского. – М. : Химия, 1991. – 496 с.
6. Фильтры для жидкостей : справ. изд. – М. : ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1974. – 246 с.
7. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – Л. : Химия, 1981. – 560 с.
8. Коваленко, В. П. Основы техники очистки жидкостей от механических загрязнений / В. П. Коваленко, А. А. Ильинский. – М. : Химия, 1982. – 272 с.
9. Малиновская, Т. А. Разделение суспензий в химической промышленности / Т. А. Малиновская, И. А. Кобринский, О. С. Кирсанов, В. В. Рейнфорт. – М. : Химия, 1983. – 264 с.
10. Яковлев, С. В. Обезвоживание осадков сточных вод металлообрабатывающей промышленности / С. В. Яковлев, В. И. Аксенов, Л. С. Волков. – М. : Стройиздат, 1984. – 96 с.