

Житенев Б.Н., Шеина Л.Е.

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СООРУЖЕНИЙ ОБРАБОТКИ ПРОМЫВНЫХ ВОД СТАНЦИЙ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ РЕАГЕНТАМИ-ОСАДИТЕЛЯМИ

При очистке подземных вод для хозяйственно-питьевых целей на станциях обезжелезивания Республики Беларусь в результате регенерации фильтров образуется до 5 % высококонцентрированных железосодержащих промывных вод. В настоящее время обработка и повторное использование очищенных промывных вод являются обязательными для станций производительностью свыше 5000 м³/сут. При применении традиционной схемы, рекомендуемой нормативными документами [1], при которой осветленные промывные воды направляются в “голову” сооружений, из-за недостаточной эффективности осаждения примесей снижается качество очистки подземных вод, уменьшается продолжительность фильтроцикла. Поэтому загрязненные промывные воды сбрасываются в канализационные сети, прилегающие водосемы, овраги, искусственно созданные канавы. Учитывая, что на территории Республики Беларусь расположено около 124 станций обезжелезивания общей мощностью 1,8 млн. м³/сут, то ежегодно безвозвратно теряется около 20 млн. м³ воды, в окружающую среду сбрасывается около 4000 тонн загрязнений в виде соединений железа.

На кафедре водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения УО БГТУ разработана технология обработки промывных вод станций обезжелезивания реагентами-осадителями фосфатом натрия Na₃PO₄ и коагулянтом, например, сульфатом алюминия Al₂(SO₄)₃ (рис. 1) [2]. Технология может применяться на станциях, использующих метод упрощенной или глубокой аэрации с последующим фильтрованием для обезжелезивания подземных вод.

При обработке промывных вод станций обезжелезивания реагентами-осадителями в течение 60 мин отстаивания выпа-

дают в осадок практически все прокоагулированные примеси. Оставшиеся легко задерживаются на механическом фильтре. Концентрация железа не превышает 0,3 мг/л, что делает возможным повторное использование очищенной воды [3, 4].

Обработка промывных вод по предлагаемой схеме осуществляется следующим образом. Для получения растворов реагента-осадителя Na₃PO₄ и коагулянта, например, Al₂(SO₄)₃, соли в твердом виде засыпаются в растворные баки 4 и 6. Расходные баки 5, 7 наполняются необходимым количеством воды из водопровода. Циркуляция с помощью насосов 8 осуществляется до полного растворения солей. Промывная вода после регенерации фильтра направляется в отстойник промывных вод 1, в это же время в трубопровод подачи промывной воды перед сужающим устройством вводится раствор реагента-осадителя, через 3...5 мин – раствор коагулянта. Полученные растворы реагента-осадителя и коагулянта вместе с промывной водой направляются в отстойник промывных вод 1. После отстаивания в течение 2...3 часов в отстойнике осветленная вода насосом 10 подается через барьерный фильтр 11 в резервуар чистой воды или водонапорную башню промывной воды. Осадок из отстойника направляется на вакуум-фильтр или фильтр-пресс для обезвоживания. Выделенный и уплотненный осадок можно использовать в качестве пигментов или добавок к строительным материалам.

Расчет сооружений по обработке промывных вод заключается в проектировании сооружений реагентного хозяйства, определении размеров и числа отстойников промывных вод, механических аппаратов обезвоживания осадка, барьерного напорного фильтра, подборе насосов, определении диаметров трубопроводов.

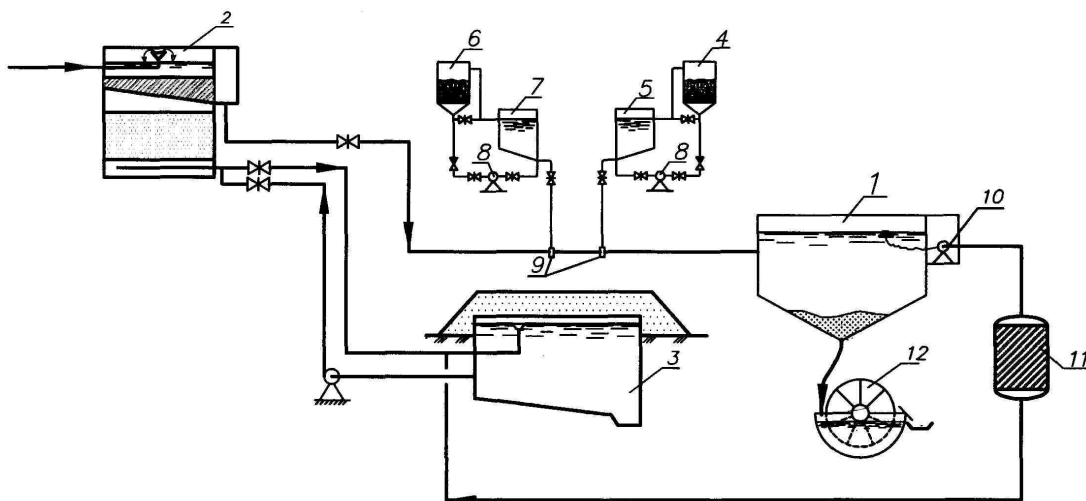


Рис. 1. Технологическая схема обработки промывных вод реагентами-осадителями

1 – отстойник промывных вод; 2 – фильтр обезжелезивания; 3 – резервуар чистой воды; 4 – растворный бак реагента-осадителя Na₃PO₄; 5 – расходный бак Na₃PO₄; 6 – растворный бак коагулянта; 7 – расходный бак коагулянта; 8 – циркуляционные насосы; 9 – сужающие устройства; 10 – насосная станция подачи осветленной воды в резервуар чистой воды или в водонапорную башню через барьерный фильтр; 11 – барьерный фильтр; 12 – вакуум-фильтр.

Шеина Людмила Евгеньевна, ассистент каф. водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения Брестского государственного технического университета
Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Реагентное хозяйство состоит из солерастворителей, расходных баков, циркуляционных насосов. В данной технологии приготовления растворов вместо дозирования приготовленных растворов предусмотрена дозировочная подача воды на растворение. Отличительной особенностью данной технологической схемы является наличие солерастворителя, дно которого выполнено из пористого полимерного материала, например, пористого полиэтилена [5]. Преимущества применения пористого полиэтилена заключаются в уменьшении гидравлического сопротивления, отсутствии вторичных загрязнений солевого раствора продуктами истирания поддерживающего слоя, высокая технологичность монтажа.

Емкость расходного бака:

$$W_p = \frac{100 \cdot M_p}{b_p \cdot \gamma}, \text{ л}$$

где b_p – концентрация раствора коагулянта в расходном баке, %, (для сернокислого алюминия $Al_2(SO_4)_3$ $b_p=4...10\%$, для $Na_3PO_4 - 3...5\%$);

γ – объемный вес раствора коагулянта, т/м³, принимается равным 1 т/м³.

M_p – масса реагента (по безводному продукту), кг.

Масса реагента (по безводному продукту):

$$M_p = \frac{n \cdot f \cdot \omega \cdot t \cdot 60 \cdot D_k}{1000 \cdot 1000}, \text{ кг}$$

где f – площадь одного фильтра, м²;

n – количество промываемых фильтров, шт.

t – время промывки одного фильтра, мин;

ω – интенсивность подачи промывной воды, л/с·м²;

D_k – максимальная доза коагулянта в пересчете на безводный продукт, г/м³;

Расчет солерастворителя заключается в определении объема коагулянта с учетом кристаллогидрата, который необходимо засыпать в солерастворитель:

$$V_{Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O} = \frac{M_{Al_2(SO_4)_3} \cdot 1,9}{1000 \cdot \gamma}, \text{ м}^3$$

где 1,9 – коэффициент для пересчета массы коагулянта сульфата алюминия по безводному продукту в кристаллогидрат;

$$V_{Na_3PO_4 \cdot 12H_2O} = \frac{M_{Na_3PO_4} \cdot 2,32}{1000 \cdot \gamma}, \text{ м}^3$$

где 2,32 – коэффициент для пересчета массы фосфата натрия по безводному продукту в кристаллогидрат.

Тогда объем солерастворителей составит:

$$W_{сол. Al_2(SO_4)_3} = \frac{h_1}{h} V_{Al_2(SO_4)_3} + V_{Al_2(SO_4)_3}, \text{ м}^3$$

$$W_{сол. Na_3PO_4} = \frac{h_1}{h} V_{Na_3PO_4} + V_{Na_3PO_4}, \text{ м}^3$$

где h_1 – высота соли в момент взрыхления, м;

h – высота соли перед подачей воды, м;

h_1/h – относительное расширение растворяемой соли, принимается в зависимости от скорости восходящего потока (рекомендуется скорость 15...20 м/ч, h_1/h для фосфата натрия принимается 2...3, для сульфата алюминия 1,5...2,0).

В качестве солерастворителя и расходных баков используются емкости из полимерных материалов, количество расходных баков и солерастворителей следует принимать не менее двух.

Учитывая конструктивные особенности, компоновку технологических сооружений станции обезжелезивания, метод

обработки воды и возможность последовательного введения реагентов в воду, наиболее целесообразно применять дроссельные устройства, при использовании которых смешение реагентов происходит в трубопроводе. Шайбовый смеситель, выпускаемый промышленностью серийно, относится к простейшим и наиболее приемлемым типам смесителя. Подача реагентов в трубопровод перед отстойником может осуществляться также с помощью насосов-дозаторов.

Для реагентного осаждения соединений железа и взвешенных веществ могут использоваться типовые отстойники промывных вод. Каждый отстойник должен обеспечить трехчасовое отстаивание воды и быть рассчитан на прием воды от промывки одного фильтра. Количество отстойников или отделений секционного отстойника принимается не менее двух и определяется по формуле:

$$N_{отст.} = \frac{T_0 \cdot N_\phi \cdot n_{пр}}{T_{сут}} + 1,$$

где T_0 – продолжительность работы отстойника, ч, примерно 3 ч из расчета 2 ч пребывания воды в отстойнике и 1 ч на перекачивание осветленной воды через барьерный фильтр в резервуар чистой воды или водонапорную башню;

N_ϕ – количество фильтров на станции;

$n_{пр}$ – число промывок каждого фильтра в сутки;

$T_{сут}$ – продолжительность работы станции в течение суток, ч (при круглосуточной работе составляет $T_{сут}=24$ ч).

Объем каждого отстойника складывается из объема зоны осветления $W_{осв.}$, объема защитной зоны $W_{защ}$ и объема зоны накопления осадка $W_{ос.}$. Объем зоны осветления отстойника предусматривается не менее объема воды от промывки одного фильтра:

$$W_{осв.} = \frac{60 \cdot \omega \cdot t \cdot f}{1000}, \text{ м}^3$$

где ω – интенсивность промывки фильтра, л/с·м²;

t – продолжительность промывки, мин;

f – площадь одного фильтра, м².

Определяются размеры в плане и высота зоны осветления. Объем защитной зоны определяется исходя из ее высоты (0,3...0,4 м), в целях избежания взмучивания и захвата осадка при откатке очищенной воды. Строительная высота, то есть расстояние от уровня воды до верха резервуара принимается 0,5 м. Высота зоны накопления осадка получается путем геометрического построения, с учетом наклона стен этой зоны под углом 45° к горизонту. После определения размеров вертикальной части отстойника, определяется объем конусной части – зоны накопления осадка $W_{ос.}$. Количество железа, выпадающего в осадок за сутки в расчете на $Fe(OH)_3$, составляет:

$$q_{Fe} = \frac{107 \cdot Q_{полн} \cdot C_{Fe}}{56 \cdot 1000}, \text{ кг/сут}$$

где $Q_{полн}$ – полная производительность станции с учетом собственных нужд, м³/сут;

C_{Fe} – концентрация железа в исходной воде, мг/л;

56 – атомная масса железа;

107 – молекулярная масса гидроксида железа (III).

Объем влажного осадка, выпадающего за сутки, определяется из выражения:

$$V_{ос} = \frac{q_{Fe} \cdot 100}{1000 \cdot (100 - \omega_{ос})}, \text{ м}^3/\text{сут}$$

где $\omega_{ос}$ – влажность осадка после двухчасового отстаивания, % (принимается равной при обработке воды реагентами-осадителями 96,5 %).

Таблица 1. Расчетные параметры скорых фильтров

Фильтры	Характеристика фильтрующего слоя					Скорость фильтрования, м/ч		
	Материал загрузки	Диаметр зерен, мм			Коэффициент неоднородности загрузки	Высота слоя, м	при нормальном режиме v_n	при форсированном v_f
		наименьших	наибольших	Эквивалентный				
Однослойные скорые фильтры с загрузкой различной крупности	Кварцевый песок	0,5	1,2	0,7...0,8	1,8...2,0	0,7...0,8	5...6	6...7,5
		0,7	1,6	0,8...1,0	1,6...1,8	1,3...1,5	6...8	7...9,5
		0,8	2,0	1,0...1,2	1,5...1,7	1,8...2,0	8...10	10...12
	Дробленый керамзит	0,5	1,2	0,7...0,8	1,8...2,0	0,7...0,8	6...7	7...9
		0,7	1,6	0,8...1,0	1,6...1,8	1,3...1,5	7...9,5	8,5...11,5
		0,8	2,0	1,0...1,2	1,5...1,7	1,8...2,0	9,5...12	12...14

Продолжительность нахождения осадка в зоне накопления – 2 ч. После чего осадок следует направлять на механические аппараты (вакуум-фильтры, фильтр-прессы). Для станций небольшой производительности подсушивание осадка может осуществляться на иловых площадках. В зависимости от местных условий удаление осадка из зоны накопления может быть гидростатическим или с помощью насосов.

Отметка расчетного уровня воды в отстойнике должна быть ниже отметки кармана фильтра станции обезжелезивания на величину потерь напора в трубопроводе сброса промывной воды на сооружения при расчетном расходе на промывку одного фильтра. Производительность насоса подачи осветленной воды на напорный механический фильтр $q_{осв}$, м³/ч, и насоса перекачки шлама на обезжелезивание $q_{ос}$, м³/ч, определяются из выражений:

$$q_{осв} = \frac{W_{осв}}{t_2},$$

$$q_{ос} = \frac{V_{ос}}{t_3},$$

где t_2 – время перекачки осветленной воды на барьерный фильтр, ч;

t_3 – время перекачки осадка на обезжелезивание, ч.

Напоры насосов определяются в результате гидравлических расчетов, диаметры рассчитываются по рекомендуемым скоростям движения воды 0,7...1,5 м/с.

Расчет барьерных фильтров заключается в подборе стандартных скорых фильтров, в качестве которых могут применяться вертикальные напорные осветлительные фильтры (ФОВ), серийно выпускаемые промышленностью. Рекомендуемые параметры фильтров приведены в таблице 1.

Как показали исследования, использование вакуум-фильтров или фильтр-прессов для обезжелезивания осадка, образующегося при обработке промывных вод реагентами-осадителями, наиболее эффективно. Удельное сопротивление осадка станций обезжелезивания при обработке промывных вод Na_3PO_4 и $Al_2(SO_4)_3$ составляет $20 \cdot 10^{10} \dots 15 \cdot 10^{10}$ см/г, влажность осадка уменьшается до 70%. После обезжелезивания осадок может быть использован в качестве пигментов либо добавок к строительным материалам.

Рабочий цикл вакуум-фильтров включает следующие операции: фильтрование, обезжелезивание, удаление обезжележенного осадка, регенерацию фильтровальной ткани.

Требуемая поверхность фильтрования:

$$F = \frac{V_{ос} \cdot (100 - \omega_{ос}) \cdot 1000}{100 \cdot 24 \cdot q_{hc}}, \text{ м}^2$$

где q_{hc} – удельная производительность фильтра, кг/м².

По полученному значению требуемой поверхности фильтрования принимаются к установке вакуум-фильтры, в том числе один резервный.

Количество обезжележенного осадка определяется из выражения:

$$q_k = \frac{V_{ос} \cdot (100 - \omega_{ос})}{100 - \omega_k}, \text{ м}^3/\text{сут}$$

где ω_k – влажность обезжележенного осадка, %.

Расход фильтрата составит

$$q_f = V_{ос} - q_k, \text{ м}^3/\text{сут}.$$

В отличие от шламовых площадок, рекомендуемых нормативными документами для обезжелезивания железосодержащих осадков, вакуум-фильтры имеют некоторые преимущества: осадок может удаляться независимо от эксплуатационных и погодных условий, умеренные капитальные затраты, быстрое использование (не требуется предварительное накопление осадка), простота обслуживания, компактность сооружений.

Внедрение предлагаемой технологии обработки промывных вод станций обезжелезивания реагентами-осадителями позволит повысить технико-экономические показатели работы станций обезжелезивания, за счет повторного использования промывных вод, создать замкнутую схему водоснабжения, предотвратив загрязнение водных источников соединениями железа, заболачивание земель (иловые площадки), уменьшить площадь, занимаемую станцией обезжелезивания. Очищенная до требований санитарных норм вода может направляться на хозяйственно-питьевые нужды или на промывку фильтров, образующийся осадок целесообразно использовать в качестве пигментов, добавок к строительным материалам.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СНИП 2.04.02 – 84 “Водоснабжение. Наружные сети и сооружения”. – М.: Стройиздат, 1985. – 136 с.
2. Пат. 1724 ВУ, МПК C02F 1/54. Устройство для обработки промывных вод станций обезжелезивания / Житенев Б.Н., Шеина Л.Е. – № u20040230; Заявл. 10.05.2004; Опубл. 30.12.2004 / Гос. реестр ползн. Моделей.
3. Б.Н.Житенев, Л.Е.Шеина. Интенсификация очистки промывных вод станций обезжелезивания реагентным осадком. // Вестник Брестского государственного технического университета – Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, экология. – 2003. – №2(20). – с. 65-69.
4. Б.Н. Житенев, Л.Е. Шеина. Технология обработки промывных вод станций обезжелезивания. Природнае асароддзе Палесся: сучасны стан і яго змены. Матэрыялы Міжнароднай навуковай канферэнцыі (Брэст, 16-18 чэрвеня 2004 г.). У 2-х частках. Частка II. – Брэст, 2004. – с. 438-442.
5. Пат. 1772 ВУ, МПК B01F 1/00. Солеорастворитель / Житенев Б.Н., Шеина Л.Е. – № u20040230; Заявл. 06.07.2004; Опубл. 10.15.2004 / Гос. реестр ползн. моделей.
6. Кожин В.Ф. Очистка питьевой технической воды. – М.: Стройиздат, 1971.