

АДГЕЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ФОРМИРОВАНИЕ ОСАДКА В ЗЕРНИСТЫХ СЛОЯХ ЗАГРУЗКИ КОНТАКТНЫХ ФИЛЬТРОВ

Представлена современная динамическая модель процессов контактного реагентного осветления водных суспензий в зернистом фильтрующем слое. Установлено, что прерывистый режим ввода растворов коагулянта и флокулянта перед зернистым слоем в определенных интервалах времени и доз позволяет увеличивать суммарную поверхность межзернового пространства по сравнению с начальной в 1,1 – 1,2 раза. За счет усиления адгезионных сил на границе раздела фаз и прочностных свойств осадка возрастает удельная гряземкость фильтрующего слоя. Полученные данные являются основой для конструирования радиальных высокопроизводительных фильтров с относительно небольшими (до 30 – 40 см) толщинами слоев загрузки.

Эффективность контактного реагентного фильтрационного осветления слабоконцентрированных водных суспензий с определенными физико-химическими свойствами зависит в основном от принятых типов коагулянтов и флокулянтов, режима их ввода в надфильтровое пространство и специфики формирования осадка в поровом пространстве фильтрующего слоя, на которое в существенной мере влияют также скорость фильтрования и структурные свойства фильтрующей загрузки.

Динамическая модель процессов. Теоретические представления о процессах осветления воды в слоях зернистых водоочистных фильтров базируются на закономерностях извлечения из воды и закрепления на поверхности зерен и в межзерновом пространстве фильтрующего слоя взвешенных частиц различной дисперсности, образования осадка, отрыва и переноса части его под воздействием гидродинамических сил в последующие по ходу движения фильтрационного потока слои загрузки. К механизмам доставки частиц суспензий в зернистом слое относятся: механический перехват, осаждение, инерционное столкновение, броуновское движение, диффузия, случайный контакт.

На степень закрепления частиц в зернистом слое загрузки оказывают влияние, в первую очередь, молекулярные силы притяжения и ионно-электростатического отталкивания. Область действия и преобладания тех или иных сил зависит от соотношения основных составляющих единого процесса: характера структуры зернистого слоя, удельной поверхности зерен и порового пространства, физико-химических и биологических свойств частиц, извлекаемых из потока, гидродинамических характеристик фильтрационного потока.

Теоретический расчет траектории движения извлекаемых частиц в пористой среде чрезвычайно затруднен ввиду наличия в реально фильтруемых жидкостях полидисперсной взвеси с различной устойчивостью частиц, и сложности внутренней структуры зернистого слоя. При извлечении из воды взвешенных частиц с диаметром от 0,01 до 100 мкм в слое загрузки с диаметром зерен 0,5 – 1,5 мм преобладающую роль играют: броуновское движение, молекулярные силы притяжения и адсорбция (для частиц с $d = 0,05 \dots 0,10$ мкм); силы осаждения, молекулярные силы притяжения (для частиц с $d = 0,01 \dots 1$ мкм); силы осаждения, инерции и случайного контакта (для частиц с $d = 1 \dots 25$ мкм); механический перехват (для частиц с $d \geq 25$ мкм) [1].

Хаотично передвигаясь в поровом пространстве вместе с фильтруемой жидкостью, часть взвешенных частиц попадает в застойные зоны малых скоростей, которые образуются в углублениях и внутренних порах зерен загрузки, а также в местах непосредственного контакта поверхностей зерен и резкого изменения направления поровых каналов. В этом случае механизмы осаждения могут быть значимы и для частиц взвеси с $d < 1 \dots 25$ мкм. Для получения расчетных полуэмпирических зависимостей, связывающих эффект осветления воды и потери напора в зернистом слое с основными технологическими параметрами гидродинамики потока зернистой среды, выбирают относительно простые геометрические и математические модели [1 – 5].

Встречающиеся в практике технологические и гидродинамические режимы фильтрования водных суспензий определяют наличие разнообразных вариантов совокупности перечисленных выше фильтрационных механизмов, действующих в поровом пространстве слоев загрузки. В результате от их взаимодействия зависит степень переноса ранее задержанных и поступающих с новыми порциями воды загрязняющих веществ в глубь слоя загрузки. Современная динамическая модель осветления водных суспензий в зернистом слое, отражающая физико-химические особенности процесса, представляется нами в следующем виде.

В начале фильтрационного процесса, когда зерна или гранулы загрузки еще не покрыты тонкодисперсными частицами взвеси, на механизм их доставки и закрепления существенное влияние оказывает кинетическая и агрегативная устойчивость коллоидных частиц, характеризующаяся знаком и величиной потенциала их поверхности и поверхности загрузки. Грубодисперсные частицы при этом задерживаются в результате механического перехвата, осаждения и инерции. По истечении некоторого времени от начала фильтрования зерна загрузки различной формы покрываются монослоем прилипших к ним коллоидных и тонкодисперсных взвешенных частиц взвеси. В этот период кинетика

осветления воды по слоям загрузки в значительной степени зависит от характера протекания адгезионных и аутогезионных процессов во времени. Накапливаемый в последующем в поровом пространстве слоев загрузки осадок имеет тенденцию заполнять, в первую очередь, застойные зоны и боковые пространства поровых каналов, сужающихся по мере накопления в них взвешенных частиц. Постепенно в слое загрузки образуются частично невымываемый и вымываемый осадки. Чем больше площадь поверхности зерен и поровых каналов, тем больше продолжительность времени, в течение которого силы прилипания будут превышать силы отрыва частиц и их переноса в последующие слои загрузки при других одинаковых условиях фильтрационного осветления воды. С увеличением продолжительности фильтрования накапливаемый в порах загрузки осадок уплотняется и "старееет". По мере сужения поровых каналов истинная скорость потока в них возрастает до критического значения, после достижения которого силы отрыва начинают преобладать над силами прилипания. После этого происходит вынос загрязняющих веществ в фильтрат и снижение степени или полное прекращение осветления воды. При реагентном объемном фильтровании слабоконцентрированных суспензий через зернистую среду закрепление коллоидных частиц на поверхности зерен происходит, в первую очередь, за счет адгезионных сил и может быть оценено по характеру изменения удельной поверхности порового пространства зернистого слоя загрузки.

Для режимов фильтрования, сопровождаемых контактной коагуляцией таких частиц в элементарном слое зернистой загрузки, характерно появление в начальный период фильтрования более мелких частиц взвеси, образующих осадок.

Согласно принятым в [2] представлениям, при достижении предельного насыщения осадком порового пространства зернистого слоя, его заиленная удельная поверхность ω_n приближается к величине удельной поверхности незаиленной загрузки ω_0 . В характере изменения поверхности поровых каналов, омываемых потоком жидкости, наблюдаются две противоположные тенденции. С одной стороны, за счет адагуляции частиц взвеси и их адгезии на подложке из зернистого материала формируется новая поверхность из прилипших частиц, которая может быть большей по величине, чем поверхность самих поровых каналов в начале фильтроцикла ($\omega_n \geq \omega_0$). В то же время отдельные участки порового пространства, в котором ранее происходило движение воды, превращаются в "мертвую зону", приводящую к уменьшению поверхности, омываемой потоком.

При обычном реагентном фильтровании слабоконцентрированных суспензий, содержащих недостаточно устойчивые частицы взвеси, через

зернистую среду преобладает вторая тенденция, характеризуемая соотношением $\omega_n / \omega_0 < 1$. Использование загрузок с модифицированной поверхностью, интенсификация приемов ввода и смешения с водной суспензией различных по коагулирующим и флокулирующим свойствам реагентов, проведение прерывистого и дробного коагулирования в процессе контактного фильтрования через зернистую среду способствуют усилению адгезионной активности микро- и макроагрегатов [1, 6, 7]. Это может приводить к изменению указанного соотношения в пределах: $\omega_n / \omega_0 > 1$.

Подтверждением изложенного явились результаты проведенных авторами более 70 серий опытов по реагентному фильтрованию суспензии глины, обрабатываемой растворами сульфата алюминия без и совместно с раствором флокулянта полиакриламида (ПАА), через слои зернистой загрузки различной толщины и структуры [8].

Характер изменений кривых удельной поверхности, построенных по результатам экспериментов (рис. 1), указывает на то, что в течение первых 20 – 50 мин с момента начала фильтрования происходит прилипание мелких частиц и агрегатов в местах их вероятного закрепления на поверхности зерен с накоплением осадка и заиливанием межпорового пространства до $\omega_n / \omega_0 = 1,6 – 2,2$. Дальнейшее снижение соотношения ω_n / ω_0 происходит в результате кольматации части поровых каналов загрузки с пониженными скоростями движения потока и участков пор, размеры которых меньше размеров крупных агрегатов.

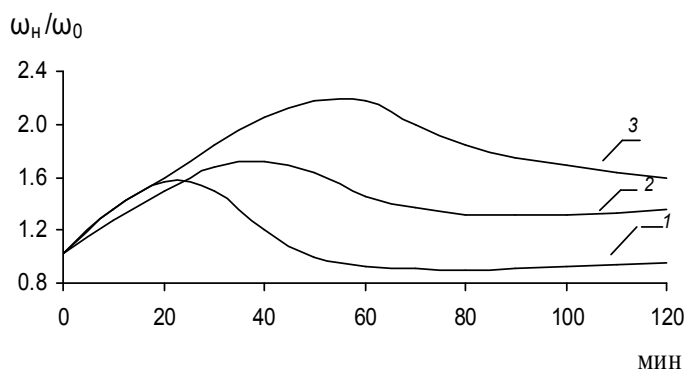


Рис. 1. Изменение удельной поверхности поровых каналов кварцевого песка ($d_s = 1,21$ мм) в процессе кольматации при различных режимах предподготовки воды: 1 – доза коагулянта (D_k) = $8,8$ мг/дм³ (по Al_2O_3), $M_0 = 30$ мг/дм³, $v = 6$ м/ч; 2 – $D_k = 7,5$ мг/дм³, $M_0 = 60$ мг/дм³, $v = 7,9$ м/ч; 3 – $D_k = 4$ мг/дм³, $D_{ПАА} = 0,3$ мг/дм³, $M_0 = 30$ мг/дм³, $v = 7,6$ м/ч

Угол наклона кривых, представленных на рис.2, показывает, что соотношение ω_n/ω_0 возрастает с увеличением доз применяемых коагулянтов и флокулянтов. Величина удельной поверхности поровых каналов слоев загрузок при исследуемых режимах обработки суспензии глины только раствором сульфата алюминия в данных экспериментах изменяется от 0,84 до 1,52, а при дополнительном введении раствора флокулянта ПАА – от 0,9 до 1,92. С уменьшением диаметра зерен загрузки соотношение ω_n/ω_0 увеличивается.

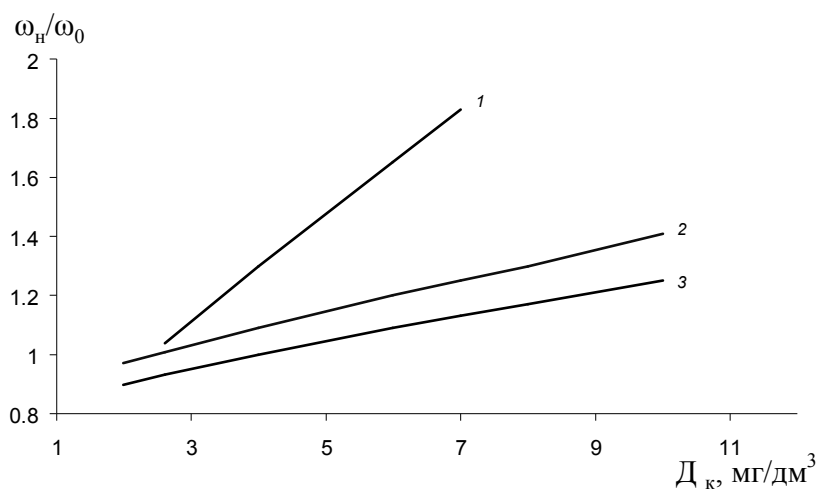


Рис. 2. Влияние дозы коагулянта (D_k) и условий реагентной предподготовки воды на соотношение удельных поверхностей поровых каналов: 1 – керамзитовая загрузка ($d = 1,18$ мм), 2 – кварцевый песок ($d = 1,1$ мм), 3 – зольный гравий ($d = 1,21$ мм) (1 – совместная обработка раствором $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ с ПАА; 2, 3 – только $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$). $M_0 = 30$ мг/дм³, $v = 6,0$ м/ч

Отметим, что такой режим характерен для слоев загрузок с возрастающей по ходу движения воды крупностью зерен. Аналогичная картина наблюдалась в первых по ходу движения потока слоях плавающей пенополистирольной загрузки толщиной 3 – 15 см с диаметром гранул 0,3 – 0,6 мм и при безреагентном объемном фильтровании глинистых суспензий со скоростью $v_{cp} < 0,5 - 0,6$ м/ч [1]. Основная нагрузка по извлечению взвеси ложится на первые слои фильтрующей среды. На начальной стадии процесса (10 – 20 мин от начала фильтрования) агрегирование час-

тиц в поровом пространстве происходит медленнее. Далее размеры агрегатов возрастают до размеров пор загрузки и не могут двигаться вместе с водой. В зернистой среде образуется грязевой экран, задержание взвеси в котором происходит путем закупорки мелких пор, после чего происходит заполнение и уплотнение осадка в пассивных зонах и макропорах, образование мостиков в извилистых каналах части "быстрых" пор, отрыв и перенос слабозакрепленных частиц в нижние слои. Последующее заполнение осадком других зон и его уплотнение под действием потока суспензии приводит к предельному насыщению осадком первых по ходу движения воды слоев загрузки.

Эти предположения согласуются с результатами наблюдений процесса формирования осадка в зернистой среде под микроскопом (рис.3). При перекачивании агрегатов по поверхности пор их скорость снижается, а образующийся осадок сжимается под действием потока. При многократном повторении стадий сжатия защемленная вода выжимается из структуры агрегата, вследствие чего происходит его уплотнение.

Одновременно с заполнением осадком горизонтальных пор заполняются, но с меньшей интенсивностью, узкие вертикальные поры. Затем агрегаты закрепляются на стенках нижних и верхних наклонных пор. Происходит втягивание крупных агрегатов в горловины "медленных пор" и их уплотнение. Транспортируемые потоком мелкие хлопья адсорбируются на поверхности осадка. В определенный момент "медленные поры" вследствие их перекрытия осадком могут трансформироваться в "пассивные", а часть "быстрых", имеющих узкие участки по длине канала, превращаются в "медленные".

Зоны фильтрующей загрузки, перекрытые осадком в процессе фильтрования, являются своеобразными емкостями для накопления мелких хлопьев, уплотнения осадка и, естественно, повышения грязеемкости элементарных слоев загрузки. Заметим, что на существенную роль застойных зон в механизме накопления осадка указывалось и в ряде работ других авторов [3, 4].

В накоплении и распределении осадка по всей высоте фильтрующей загрузки, помимо свойств самих коагулянтов и флокулянтов, важную роль играют режимы их ввода в обрабатываемую суспензию. На рис.3, б, в видно, что при прерывистом вводе растворов коагулянта и флокулянта степень закупорки порового пространства выше по сравнению с режимом постоянного коагулирования. В режиме прерывистой коагуляции и флокуляции образующиеся агрегаты отличаются большей плотностью и способностью сорбироваться на поверхности частиц загрузки.

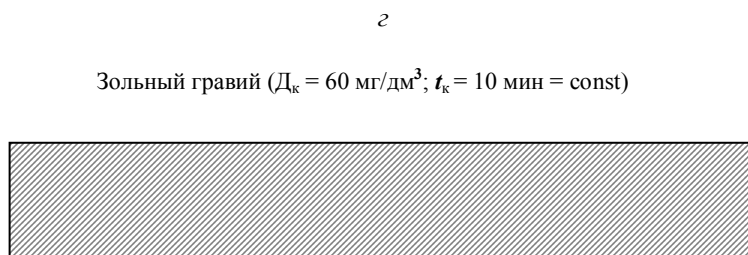
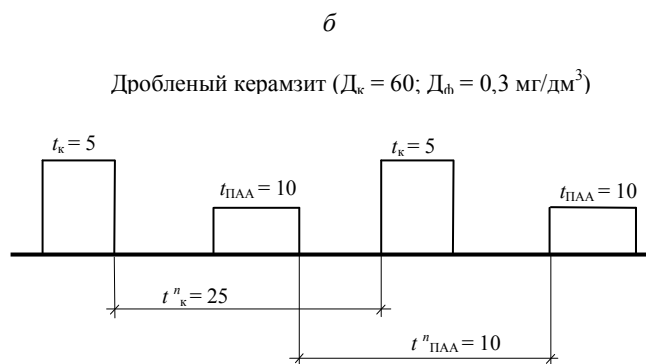
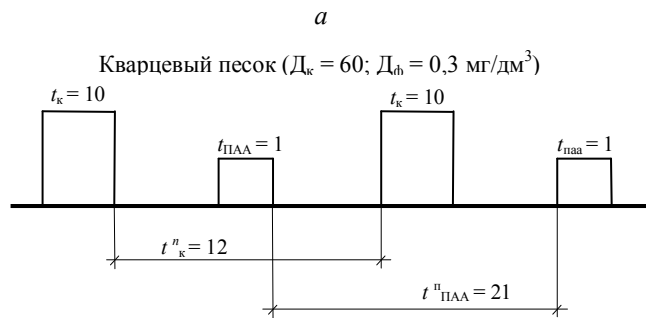


Рис. 3. Схема динамического накопления осадка в поровом пространстве тонкослойных фильтрующих загрузок (10 см) при различных режимах реагентной подготовки суспензий (а – г). Скорость фильтрации – 6,7 – 7 м/ч (t_k – продолжительность ввода коагулянта в загрузку)

Влияние продолжительности контакта коагулянта с водой в надзагрузочном пространстве на параметры процесса фильтрации. Результаты исследований по влиянию продолжительности контакта коагулянта с водой (t_p) до момента ее поступления в загрузку на параметры процесса фильтрации (табл.1, рис.4) показали, что при сокращении t_p с 12 до 0,85 мин в 2,4 раза увеличивается продолжительность защитного действия загрузки (t_3). В то же время в 1,7 раза снижается продолжительность работы фильтра по достижению величины предельных потерь напора (t_n). Нелинейный вид кривых $t_3 = f(t_p)$ и $t_n = f(t_p)$, представленных на рис. 4, объясняется сложным комплексом физико-химических явлений формирования агрегатов в процессе коагуляции и взаимодействия их с поверхностью зерен загрузки.

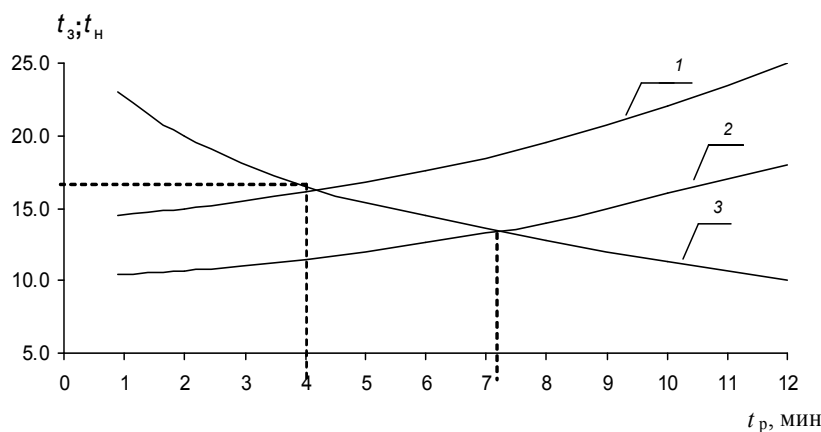


Рис. 4. Оптимизация времени контакта коагулянта с суспензией перед загрузкой при разных величинах располагаемого напора (H_{np}) на входе в фильтр, м: 1 (2); 1,5 (2, 3) ($t_3 - 1, 2$; $t_n - 3$)

Следует отметить, что чем ближе точка ввода раствора коагулянта к загрузке, тем сильнее адгезионное взаимодействие образовавшихся коагуляционных структур с поверхностью зерен загрузки, что подтверждается возрастанием величины параметра b , характеризующего интенсивность прилипания. При увеличении прочности осадка снижается скорость проникновения хлопьев в глубь загрузки и увеличивается темп прироста потерь напора. При $t_p = 0,85$ мин предельная насыщенность порового пространства осадком оказалась в 1,45 раза выше по сравнению с $t_p = 12$ мин.

С увеличением дозы коагулянта до 24 мг/дм^3 при $t_p = 8,6$ мин (см.табл.1) проникновение загрязняющих веществ в глубину слоя загрузки увеличилось почти в два раза из-за того, что сформировавшийся осадок, образованный более крупными хлопьями с рыхлой структурой и более низкой адгезионной способностью, оказался менее прочным.

Таблица 1. Результаты технологического моделирования обработки воды раствором коагулянта и контактного фильтрования по методике [2]

t_p , мин	Д _к по Al ₂ O ₃ , мг/дм ³	i_0	h/t , м/ч	x_0 , м	a/v , м/ч	θ , м ⁻¹	A	$t_{н,в}$, ч		t_3 , ч	Показатели
								$H_{пр} = 1,5$, м	$H_{пр} = 2$ м		
0,85	12	0,138	0,120	0,15	0,044	17,73	0,653	10,5	14,8	23,3	$C/C_0 = 0,121$ $X_0 = 2,66$ $K = 1,48$ $\varphi = 1,4$
3,6	12	0,130	0,114	0,16	0,063	16,62	0,614	11,2	15,6	16,8	
8,6	12	0,138	0,087	0,19	0,078	14,00	0,527	14,5	20,3	13,1	
12	12	0,138	0,071	0,24	0,100	11,08	0,449	17,9	24,9	9,9	
8,6	24	0,125	0,184	0,40	0,114	8,88	0,605	7	9,7	6,9	$C/C_0 = 0,061$ $X_0 = 3,55$ $K = 1,65$ $\varphi = 1,4$

Примечание. i_0 – Гидравлический уклон; x_0 – толщина первых по ходу движения воды слоев загрузки; a, v – соответственно параметры отрыва и прилипания; A – предельная насыщенность порового пространства осадком; h/t – прирост потерь напора во времени; C/C_0 – соотношение концентраций взвешенных веществ на входе и выходе из элементарного слоя загрузки; X_0, K, φ – параметры технологического моделирования по Д.М.Минцу.

Такой осадок на 12,8% занимает больший объем и оказывает наиболее сильное сопротивление потоку воды. При варьировании режимов коагуляционной обработки воды изменяются во времени характеристики пористой среды и образующегося осадка в слоях загрузки.

Приведенные в табл. 2 расчетные данные, найденные по [5], показали, что в момент исчерпания защитного действия загрузки ($C/C_0 = 0,121$) предельная насыщенность первых слоев загрузки была выше, чем последующих. Сокращение времени t_p приводит к увеличению их задерживающей способности. Момент разрушения и выноса взвеси при этом наступает позже, что свидетельствует о большей прочности осадка. Значения касательного напряжения $\tau_{пр}$ в момент достижения t_3 слоя также подтверждают предположение о большей прочности структуры осадка, сформированного при минимальном значении t_p . Прочность структуры осадка снижается в направлении нисходящего движения воды из-за возрастания крупности зерен загрузки в нижерасположенных слоях фильтрующей загрузки и снижения грязевой нагрузки на них.

Влияние режимов ввода реагентов на динамику процессов формирования осадка. Для оценки влияния режимов прерывистого коагулирования и флокулирования на процесс формирования осадка в элементарном слое фильтрующей загрузки были проведены циклы исследований на моделях фильтров с разной толщиной слоя загрузки от 9,4 см до 1,7 м.

Известный индикаторный метод оценки изменения удельной поверхности порового пространства во времени [9] связан с техническими трудностями, обусловленными диффузией индикатора в толще фильтрующей загрузки. В связи с этим авторами предложено использовать косвенный показатель формирования осадка и изменения удельной поверхности в i -том слое загрузки – удельную грязеемкость слоя загрузки ($\Gamma'_{уд}$), определяемую как отношение грязеемкости i -того слоя загрузки к соотношению гидравлических уклонов в этом слое в начальный момент фильтрования и через промежуток времени t .

Эксперименты показали, что зависимости $\Gamma'_{уд} = f(t)$ имеют четко выраженные две и четыре зоны (рис. 5). Наличие двух зон (рис. 5, б, в) отмечено в случае фильтрования соответственно с убывающей (табл. 3, опыты 4, 5, 7) и постоянной (опыты 6, 8, 9) скоростями, обеспечивающими равномерность распределения осадка по высоте загрузки без образования грязевых бассейнов. Во всех остальных экспериментах были выделены четыре зоны.

Наклон кривых в начальный период фильтрования (рис. 5, а, зона I) характеризует величину интенсивности адгезионных процессов, происходящих на границе поверхности зерна. Угол наклона кривых возрастает с увеличением дозы коагулянта, мутности исходной воды и дисперсности взвешенных частиц. Близкий к горизонтальному участок (зона II)

Таблица 2. Определение характеристик пористой среды фильтрующего слоя в процессе контактной коагуляции по методике [5]

t_p , МИН	Слой загрузки, СМ	d , ММ	m_0	i_0	$m_{пр}$	$i_{пр}$	$\tau_{пр}$, МГ/СМ ²	t_3 СЛОЯ, Ч	Δm	δ	$1 - \delta$
0,85	30	1,0	0,46	0,200	0,335	0,817	5,02	1,8	0,125	0,272	0,728
0,85	20	1,11	0,475	0,153	0,45	0,205	2,14	4,2	0,025	0,053	0,947
8,6	30	1,0	0,46	0,217	0,375	0,516	3,78	1,2	0,085	0,185	0,815
8,6	20	1,11	0,475	0,15	0,46	0,175	2,01	3,0	0,015	0,032	0,968

характеризует процесс аккумуляции загрязняющих веществ не только на поверхности зерен, но и в "медленных" порах и застойных зонах. Первые порции ПАА создают условия для укрупнения агрегатов, усиливают их адгезионные свойства. Минимальные значения горизонтальных участков кривых $\Gamma'_{уд} = f(t)$ характерны для такого дозирования ПАА, при котором через 10 – 15 мин осадок приобретает достаточную прочность и уплотняется как в грязевой оболочке на зернах, так и в поровом пространстве.

При образовании грязевого экрана (рис. 5, зона III) снижается значение $\Gamma'_{уд}$. Скорость снижения зависит от размера агрегатов, прочности осадка и гидродинамических условий движения жидкости. Под многофакторным воздействием осадок накапливается в зонах вероятного закрепления, перекрывает часть "быстрых" пор, ведет к перераспределению градиентов скоростей в загрузке.

Образование грязевого экрана в верхних слоях по направлению движения суспензии можно объяснить тем, что по мере накопления осадка в несколько раз возрастает градиент скорости, повышается вероятность деформации и уплотнения перемещающихся в загрузке агрегатов. Накопление осадка в верхних слоях в большинстве случаев наблюдается и в скорых фильтрах. Горизонтальный участок (рис. 5, а, зона IV) – состояние предельного насыщения загрузки. Баланс осадка в этом случае стабилизирован, поступление суспензии равно выносу в нижележащие слои.

Одновременное снижение дозы коагулянта и продолжительности периода его подачи (табл. 3, опыты 2, 3) способствует снижению темпа прироста потерь в 1,76, насыщенности – в 1,24 раза за счет увеличения плотности осадка. В результате касательные напряжения трения в поровых каналах уменьшились в 1,42 раза. Такой режим коагулирования позволяет сохранить высокую адгезионную емкость микрохлопьев и снизить степень структурно-механической гидратации. Следовательно, на процессы формирования осадка при фильтровании с постоянной скоростью оказывают влияние не только дозы реагентов, но и продолжительность, перерывы в подаче реагентов, изменение концентраций их растворов.

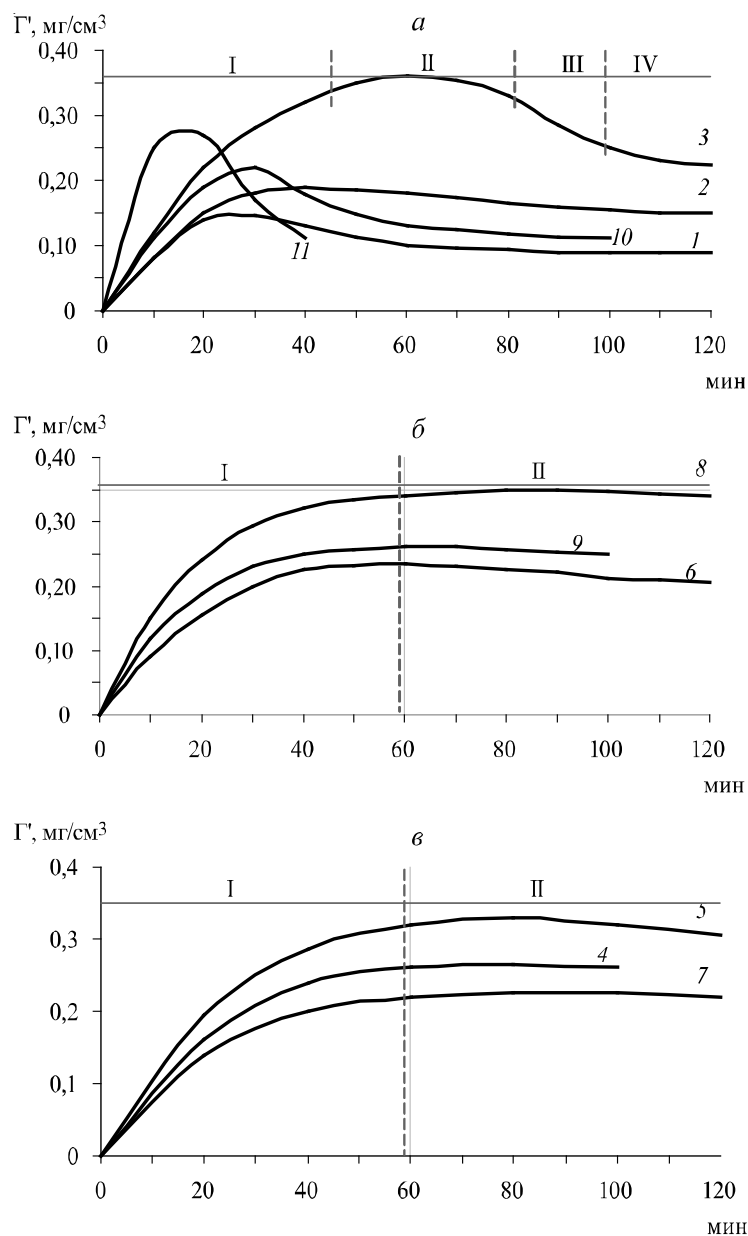


Рис. 5. Влияние режимов ввода реагентов на изменение критерия Γ' в процессе кольматации зернистой загрузки (см. табл.3): а – опыты 1 – 3; 10 – 11; б – опыты 6, 8, 9; в – опыты 4, 5, 7 (I – IV – зоны)

Таблица 3. Результаты исследований процессов формирования осадка в фильтрующей загрузке из кварцевого песка

Номер опыта	t, мин	Слой загрузки по ходу движения воды								$A = \frac{\Gamma'_I}{\Gamma'_{II}}$	$B = \frac{i'_I}{i'_{II}}$	Суммарный слой загрузки ($\Sigma x_0 = 9,4$ см, Γ , мг/см ³)
		Первый слой – 5 см (I)				Второй слой – 4,4 см (II)						
		Γ_{cp} , мг/см ³	i / i_0	h/t , см/ч	Γ' , мг/см ³	Γ_{cp} , мг/см ³	i / i_0	h/t , см/ч	Γ' , мг/см ³			
1	120	2,35	31,44	14,2	0,075	2,25	15,29	5,4	0,149	0,51	2,05	0,154
2	140	2,35	26,5	11,5	0,089	1,91	2,22	0,9	0,86	0,104	11,9	0,18
3	120	2,05	10	7,0	0,21	1,35	4,44	1,3	0,304	0,64	2,27	0,39
4	80	2,6	11,1	7,5	0,234	1,97	5,5	4,1	0,358	0,65	2,02	0,28
5	160	2,8	13,36	5,5	0,21	1,12	1,91	0,8	0,59	0,305	6,96	0,31
6	160	3,0	19,9	8,2	0,15	1,35	2,78	0,9	0,49	0,307	7,1	0,25
7	190	3,4	24,0	6,1	0,142	1,24	3,8	1,3	0,326	0,435	6,3	0,24
8	120	2,65	9,9	4,0	0,26	2,7	5	2,3	0,54	0,48	1,99	0,35
9	100	3,2	15,83	9,6	0,202	3,09	7,22	3,9	0,43	0,47	2,2	0,27
10	80	2,6	26	25,4	0,1	1,74	7,29	3,8	0,239	0,42	3,6	0,20
11	40	2,75	28,7	43	0,096	1,4	3,0	1,5	0,47	0,204	9,6	0,28

Примечание. Условные обозначения – см. примечание к табл.1; Γ_{cp} – гряземкость в слоях загрузки к моменту фильтрования t ;

$$\Gamma' = \frac{\Gamma_{cp} i_0}{i}, \quad i' = i / i_0.$$

Полученные данные явились основой для усовершенствования технологии тонкослойного фильтрования и технологических расчетов радиальных фильтров различных конструкций. Последние находят применение в системах водозабора и очистки природных вод для питьевого и технического водоснабжения [10, 11].

Выводы. На основании проведенных исследований подтверждена приоритетность влияния зон и участков вероятного закрепления агрегатов в первых по ходу движения воды слоях контактных зернистых фильтров на образование грязевых экранов и возможность управления адгезионными процессами.

Динамику формирования осадка в слоях зернистой загрузки при $\omega_n / \omega_0 > 1$ предложено оценивать отношением их грязеемкости к гидравлическому уклону.

Данные, полученные при разных режимах ввода и перерыва в подаче растворов коагулянта и флокулянта перед зернистым слоем загрузки, позволяют обосновать возможность применения фильтров с небольшими слоями загрузки (до 30 – 40 см) для получения воды нужного качества. Такие загрузки наиболее целесообразно использовать в радиальных фильтрах, работающих с убывающей скоростью фильтрования по толщине загрузки. При этом подача растворов коагулянтов и флокулянтов должна осуществляться в заданном автоматическом режиме

Резюме. Представлено сучасну динамічну модель процесів контакт-ного реагентного освітлення водних суспензій у зернистому фільтруючому шарі. Установлено, що переривчастий режим введення розчинів коагулянту і флокулянта перед зернистим шаром у визначених інтервалах часу і доз дозволяє збільшувати сумарну поверхню міжпорового простору в порівнянні з початковою в 1,1 – 1,2 рази. За рахунок посилення адгезійних сил на границі розділу фаз і міцностних властивостей осаду зростає питома грязеемність фільтруючого шару. Отримані дані є основою для конструювання радіальних високопродуктивних фільтрів з відносно невеликими (до 30 – 40 см) толщинами шарів завантаження

M.G. Gurba, V.M. Neglukchenko

THE ADHESIVE PROPERTIES AND SLUDGE FORMATION IN CONTACT FILTER GRANULAR BEDS

Summary

The article represents an up-to-date dynamic model of the processes of aqueous suspension contact reagent clarification in a granular filter bed. It is

found out that the intermittent introduction of coagulant and flocculant solutions prior to the granular layer at certain time intervals and within certain dose ranges makes it possible to increase the total surface of the inter-pore space some 1.1 – 1.2 times compared to the initial one. Due to increased interfacial adhesive forces and strength properties of sludge, the specific solids take-up capacity of the filter layer is improved. The data obtained are the basis for designing the high-performance radial filters having relatively shallow filter-beds (up to 30 – 40 cm).

1. *Журба М.Г.* // Дис ... докт. техн. наук. – М., 1986. – 389 с.
2. *Миңц Д.М.* Теоретические основы технологии очистки воды. – М.: Госстройиздат, 1964. – 156 с.
3. *Веницианов Е.В., Рубинштейн Р.Н.* Динамика сорбции из жидких сред. – М.: Наука, 1983. – 237 с.
4. *Аюкаев Р.И.* // Автореф. дис ... докт. техн. наук. – М., 1980. – 43 с.
5. *Фоминых А.М.* // Журн. прикл. химии. – 1980. – **53**, № 6. – С. 1320 – 1326.
6. *Митянин В.М.* // Водоснабж. и сан. техника. – 1970. – № 10. – С. 28 – 29.
7. *Оводова Н.В.* Расчеты проектирования сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения. – М.: Колос, 1996. – 176 с.
8. *Нежлукченко В.М.* // Автореф. дис ... канд. техн. наук. – Нижний Новгород, 1993. – 28 с.
9. *Митин Б.А.* Исследование насыщения порового пространства и изменения потерь напора при фильтровании: Процессы фильтрования при очистке природных и сточных вод. – Челябинск: Южноурал. изд-во, 1985. – 79 с.
10. *Журба М.Г.* Пенополистирольные фильтры. – М.: Стройиздат, 1992. – 176 с.
11. *Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М.* Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: В 3 т.– М.: Изд-во АСВ, 2004. – Т. 2. – 493 с.

Гос. унитарное предприятие
"МосводоканалНИИпроект",
г. Москва, Россия;
Гос. аграр. ун-т,
г. Херсон, Украина

Поступила 19.09.2006