

ИССЛЕДОВАНИЯ

Сорбционно-фильтровальных свойств материала ЭКОФЕРОКС и эффективности его применения в схемах фильтрования

1. ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА ЭКОФЕРОКС

1.1. Определение механической прочности ЭКОФЕРОКС

Механическая прочность фильтрующих материалов характеризуется их истираемостью и измельчаемостью. Измельчаемость – процент износа вследствие растрескивания зерен, истираемость – процент износа материала вследствие трения зерен друг о друга. Материал, измельчаемость которого не превышает 4 %, истираемость 0,5 % считается механически прочным.

Согласно методике истираемость и измельчаемость определяли следующим образом: 300 г материала высушивали при 60 °С и отсеивали на ситах с отверстиями 1 и 0,5 мм. Материал, прошедший через сито 1 мм и оставшийся на сите диаметром 0,5 мм в количестве 100 г помещали в колбу емкостью 250 мл и заливали 150 мл дистиллированной воды. Колбу закрывали крышкой и встряхивали в течение 24 часов на лабораторной машине для встряхивания (120 встряхиваний в минуту). Далее, содержимое колбы выпаривали и просушивали при 60 °С. После просушивания материал просеивали последовательно на ситах 0,5 и 0,25 мм и взвешивали. Масса материала (г), прошедшего через сито с отверстиями диаметром 0,5 мм, но оставшаяся на сите с диаметром 0,25 мм (m_1), показывает измельчаемость материала (%). Масса пыли (г), прошедшей через сито с отверстиями диаметром 0,25 мм (m_2) показывает истираемость материала (%).

В результате исследований были получены следующие результаты (усредненные на основании трех измерений механической прочности):

- измельчаемость (m_1) – 0,227 г или 0,23 %;
- истираемость (m_2) – 0,087 г или 0,087 %.

Таким образом, материал ЭКОФЕРОКС по механической прочности удовлетворяет нормативным требованиям. Для сравнения в таблице 1.1 представлены данные по механической прочности, полученные при испытании образца ЭКОФЕРОКС.

Таблица 1.1.

Характеристика механической прочности материала ЭКОФЕРОКС

Показатель, %	Норма	Значение по данным			Среднее значение
		Образец 1	Образец 2	Образец 3	
Измельчаемость	Не более 4	0,23	0,14	0,22	0,20
Истираемость	Не более 0,5	0,087	0,06	0,09	0,08

Необходимо отметить, что по механической прочности материал ЭКОФЕРОКС значительно превосходит практически все применяемые в настоящее время известные фильтрующие материалы, как это следует из табл. 1.2.

Таблица 1.2

Физико-химические свойства фильтрующих материалов

Материал	Крупность зерен, мм	Механическая прочность, %	
		Истираемость	Измельчаемость
1	2	3	4
ЭКОФЕРОКС	0,8	0,08	0,20
Дробленый антрацит ПКФ «Синтез»	-	0,30	2,87
Дробленый антрацит CWG, Германия	-	0,48	3,70
Кварцевый песок «Гора Хрустальная»	-	0,15	2,6
Дробленый керамзит	0,9	3,31	0,63
Дробленый керамзит	1,78	2,12	0,12

Дробленный керамзит	1,78	2,02	0,11
Недробленный керамзит	1,18	0,17	0,36
Горелые породы	1,0	0,26	2,12
Вулканические шлаки: кармрашен мастера, шенуайр	0,95 1,07	0,08 0,07	0,72 1,05
Алгопорит	0,84	0,20	1,5
Шунгизит	0,84	0,20	1,5
Гранодиорит	1,1	0,32	2,8
Металлургический шлак комбината «Печенганикель»	1,1	2,4	2,6
Габбро-диабаз	1,1	0,15	1,54
Клиноптилолит	1.15	0,4	3,4
Пиролюзит	0,8	0,35	0,95
Гранитный песок	0,8	0,11	1,4

1.2. Определение химической стойкости материала ЭКОФЕРОКС

Важным требованием, предъявляемым к качеству фильтрующих материалов, является их химическая стойкость по отношению к фильтруемой воде, т.е. чтобы она не обогащалась веществами, вредными для здоровья человека (в питьевых водопроводах) или для технологии того производства, где она используется.

Согласно методике для оценки химической стойкости фильтрующей загрузки в конические колбы помещают по 10 грамм предварительно отмытого и высушенного материала. В каждую колбу наливают по 500 мл дистиллированной воды. Далее в одну из колб добавляют 250 мг хлористого натрия, в другую – 100 мг соляной кислоты плотностью 1,19; в третью – 100 мг едкого натрия. После 24 – часового контакта (встряхиванием) фильтрующий материал со средой

отфильтровывают и в полученном фильтрате определяют растворенный (плотный) остаток, перманганатную окисляемость, концентрацию кремниевой кислоты и окислы трехвалентных металлов (алюминия и железа). Удовлетворительный по химической стойкости фильтрующий материал в результате такого испытания должен давать следующие величины прироста: растворенного (плотного) остатка – не выше 20 мг/дм³, окисляемости – не выше 10 мг/дм³, кремнекислоты – не более 10 мг/дм³, окислов трехвалентных металлов – не более 2 мг/дм³.

Для определения химической стойкости материала ЭКОФЕРОКС была принята методика, согласно которой испытания материала на химическую стойкость проводились в более «жестких» условиях. Сущность определений заключалась в следующем: в три колбы помещали по 100 г материала ЭКОФЕРОКС, предварительно отмытого и подсушенного при 60 °С. Затем в первую колбу наливали 500 мл раствора едкого натра (200 мг NaOH на 1 л дистиллированной воды), во вторую 500 мл раствора соляной кислоты (кислая среда из 0,4 мл HCl с плотностью 1,19 на 1 л дистиллированной воды); в третью – 500 мл раствора поваренной соли (нейтральная среда из 5000 мл NaCl на 1 л дистиллированной воды). По истечении 24 – часового встряхивания содержание колб отфильтровывали и в полученном фильтрате (из каждой колбы) по стандартным методикам определяли окисляемость, концентрацию кремнекислоты и окислов металлов. Результаты определений представлены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Показатели химической стойкости материала ЭКОФЕРОКС

Среда (раствор)	Окисляемость, мг/дм ³	Кремнекислота, мг/дм ³	Прирост, мг/дм ³	
			Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
NaOH	9,0 (10)	7,1 (10)	Нет (2)	Нет (2)
HCl	9,8 (10)	7,6 (10)	Нет (2)	Нет (2)
NaCl	8,6 (10)	7,6 (10)	Нет (2)	Нет (2)

Примечание: в скобках указаны предельно допустимые значения нормируемых параметров.

Из данных таблицы 1.3 следует, что исследуемый образец отвечает требованиям, предъявляемым к фильтрующим загрузкам по химической стойкости.

1.3. Определение плотности и пористости материала ЭКОФЕРОКС

При выборе фильтрующей загрузки предпочтение следует отдавать материалам, имеющим развитую удельную поверхность и большую межзерновую пористость. Этим требованиям в наибольшей степени отвечают зернистые материалы, получаемые дроблением плотных (антрацит, мрамор, аглопорит, пиролюзит и др.), или, лучше, пористых (керамзит, горелые породы, клиноптилолит, цеолиты) кусковых материалов.

Плотность материалов не регламентируется каким-либо нормативными документами, тем не менее, это важный технологический показатель фильтрующей загрузки. Минимально допустимое значение плотности загрузки для фильтров с нисходящим потоком воды при заданной крупности зерен определяется приемлемыми условиями ее промывки. Применительно к очистке природных вод при их реагентной обработке интенсивность восходящего потока воды желательно иметь не ниже $12-14 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$, что реализуется в загрузках плотностью не ниже $1,3 - 1,4 \text{ мг/см}^3$, при этом обеспечивается полное удаление отмытых от загрузки загрязнений.

Пористость (доля свободного объема) – отношение объема, занятого жидкостью, к общему объему слоя и определяется по следующей методике: три пробы по 250 см^3 предварительно промытого образца, полученного дроблением пористых материалов, высушивают, взвешивают и выдерживают в течение 30

мин в кипящей воде (для заполнения внутренних пор). После кипячения каждую навеску переносят на бумажный фильтр, укладываемый в воронку, из которой под вакуумом удаляют избыточную влагу. Затем в три мерных цилиндра емкостью 1000 мл наливают по 500 мл дистиллированной воды при 20 °С и в каждый из цилиндров через воронку небольшими порциями засыпают подготовленные навески образцов исследуемого материала.

При засыпке каждой порции для удаления воздуха перемешивают загрузку стеклянной палочкой, после чего определяют объем воды V_1 (см³), вытесненный загрузкой. Далее в цилиндр доверху наливают дистиллированную воду и, закрыв его пробкой (под уровень воды), осторожно его опрокидывают, затем ставят в исходное положение и измеряют объем загрузки после свободного осаждения V_2 (см³). Определение производят несколько раз, отмечая наибольшую величину. После этого слегка постукивают по цилиндрам, добиваясь уплотнения, и измеряют объем V_3 (см³), занимаемый загрузкой в цилиндрах.

Плотность фильтрующего материала ρ_3 определяют по формуле:

$$\rho_3 = \frac{G}{V_1 - \frac{G_1 - G}{\rho_6}};$$

где G – масса сухой пробы песка, г;

G_1 – масса пробы после кипячения, г;

V_1 – объем воды, вытесненный песком, см³;

ρ_6 – плотность воды, г/см³.

Максимальную и минимальную пористость рассчитывают по формулам:

$$\varepsilon_{\max} = 1 - \frac{V_1}{V_2};$$

$$\varepsilon_{\min} = 1 - \frac{V_1}{V_3}.$$

Результаты проведенных исследований по определению плотности и пористости образца ЭКОФЕРОКС представлены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Результаты определения плотности и пористости материала ЭКОФЕРОКС

№ пробы	Вес сухой пробы, г	Вес пробы после кипячения, г	Объем пробы, см ³			Пористость, %		Плотность ρ , г/см ³
			V ₁	V ₂	V ₃	E _{max}	E _{min}	
1	182,96	259,84	190	265	240	28,3	20,8	1,62
2	181,85	262,46	185	270	245	31,5	24,5	1,74
3	183,12	263,84	195	273	250	28,6	22,0	1,60
Средние показатели						29,5	22,4	1,65

Как следует из данных табл. 1.4 максимальное значение пористости составляет $E_{max} = 29,5$ %, минимальное – 22,4 %. По данным исследований материала ЭКОФЕРОКС эти показатели составляют соответственно 50,2 % и 42,0 %. С целью проверки полученных данных (табл. 3.1) были проведены повторные определения межзерновой пористости и плотности материала ЭКОФЕРОКС, результаты которых представлены в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Результаты определения плотности и пористости фильтрующего материала ЭКОФЕРОКС

№ пробы	Вес сухой пробы, г	Вес пробы после кипячения, г	Объем пробы, см ³			Пористость, %		Плотность ρ , г/см ³
			V ₁	V ₂	V ₃	E _{max}	E _{min}	
1	182,96	208,65	140	240	230	42	39	1,60
2	182,96	210,2	150	245	235	39	36	1,49
3	182,96	207,8	150	250	225	40	33	1,46
Средние показатели						40,3	36	1,52

Определенная плотность материала и равная 1,65 (первое определение) и 1,52 г/см³ также достаточно хорошо согласуется с данными в ТУ (1,60 г/см³).

1.4. Определение гранулометрического состава образца фильтрующего материала ЭКОФЕРОКС

Степень однородности размеров зерен фильтрующей загрузки и ее фракционный состав существенно влияют на работу фильтровальных сооружений. Использование более крупного фильтрующего материала, чем это предусмотрено рекомендациями СНиП 2.04.02.84, влечет за собой снижение качества фильтрата. С другой стороны, использование более мелкого фильтрующего материала увеличивает сопротивление слоя вызывает уменьшение фильтроцикла, перерасход промывной воды и, в конечном итоге, удорожание эксплуатационной стоимости очистки воды.

Использование фильтрующих материалов с большой степенью неоднородности по величине зерен, превышающей допустимые пределы, ухудшает условия их промывки, так как вынос мелких верхних фракций начнется раньше, чем придут в движение основная масса зерен загрузки. Это вызывает необходимость снижения интенсивности промывки, чтобы прекратить вынос мелких фракций. При этом значительная часть фильтрующего слоя будет промыта недостаточно. Кроме ухудшения условий промывки загрузки, применение весьма неоднородного по крупности фильтрующего материала вызывает ухудшение условий фильтрования из-за образования поверхностной фильтрующей пленки. Для загрузки фильтров должны применяться фильтрующие материалы с коэффициентом неоднородности $K \leq 2,0$.

Однородность и крупность фильтрующего материала определяют ситовым анализом путем просеивания навески материала через ряд калиброванных сит. Калибр сита определяется диаметром шара, равновеликого по объему наиболее крупным зернам фильтрующего материала, проходящим еще через данное сито. Для определения зернового (гранулометрического) состава и однородности из исследуемой партии фильтрующего материала отбирают среднюю пробу в количестве 500 – 600 г и высушивают ее до постоянной массы при температуре 105 °С. Из этого количества высушенного материала берут навеску 400г и

рассеивают на наборе калиброванных сит. Остатки на ситах взвешивают и записывают процент материала, задержанного ситом. По результатам определений строят график ситового анализа фильтрующего материала, по которому можно определить основные показатели, характеризующие фильтрующую загрузку: эквивалентный диаметр зерен и параметры, определяющие коэффициент неоднородности фильтрующей загрузки, а именно: 10 %-ный калибр зерен материала, равный такому калибру сита, через который прошло 10 % (по массе) просеиваемого материала, и 80 %-ный калибр, равный такому калибру сита, через который прошло при просеивании 80 % зерен (по массе).

Эквивалентный диаметр зерен $d_{\text{экв}}$, мм, определяют по формуле:

$$d_{\text{экв}} = \frac{100}{\sum P_i / d_k}$$

где P_i – процентное содержание (по массе) фракций со средним диаметром зерен d_k , т.е. количество просеиваемых зерен, %, оставшихся на сите калибром d_k .

Результаты определения гранулометрического состава материала ЭКОФЕРОКС представлены в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Результаты ситового анализа материала ЭКОФЕРОКС

Размер ячеек сита, мм	Вес фракции на сите, г			Процент задержания материала ситом, %
	Определение №1	Определение №2	Средний вес	
1	2	3	4	5
2,5	14,2	14,4	14,3	3,58
2,0	16,7	16,9	16,8	4,20
1,8	29,8	30,2	30,0	7,5
1,7	142,2	144,2	143,2	35,80
1,5	68,8	68,0	68,4	17,10
1,4	62,1	62,7	62,4	15,60
1,2	31,0	31,4	31,2	7,80

1	2	3	4	5
1,0	15,4	16,8	16,1	4,02
0,9	6,6	6,6	6,6	16,50
0,8	6,3	6,5	6,4	1,6
0,7	4,1	4,7	4,4	1,10
0,6	0,2	0,2	0,2	0,05

Для фильтрующего материала ЭКОФЕРОКС, результаты ситового анализа которого представлены в табл. 1.6, величина $d_{э\text{кв}}$ составит:

$$d_{э\text{кв}} = \frac{100}{\frac{3,58}{2,5} + \frac{4,2}{2,0} + \frac{7,5}{1,8} + \frac{35,8}{1,7} + \frac{17,1}{1,5} + \frac{15,6}{1,4} + \frac{7,8}{1,2} + \frac{4,02}{1,0} + \frac{16,5}{0,9} + \frac{1,6}{0,8} + \frac{1,1}{0,7} + \frac{0,05}{0,6}} = \frac{100}{82,25} = 1,22 \text{ мм}$$

Следуя рекомендациям СНиП 2.04.02-84, табл. 21 высота фильтрующего слоя с таким эквивалентным диаметром должна составлять 1,8-2,0 м.

По данным табл. 1.6 построен график (рис. 1.1) ситового анализа материала ЭКОФЕРОКС, по которому можно определить коэффициент неоднородности материала ЭКОФЕРОКС. Коэффициент неоднородности определяют как отношение 80 %-го калибра к его 10 %-ному калибру: $K_n = d_{80}/d_{10}$. В нашем случае $d_{10}=1,04$ мм и $d_{80}=1,66$ мм, коэффициент неоднородности будет равен

$$K_n = \frac{1,66}{1,04} = 1,6$$

Именно такой коэффициент рекомендуется СНиПом для $d_{э\text{кв}}$ 1,0-1,2 мм и при высоте фильтрующего слоя до 1,8-2,0 м.

Таким образом, следуя результатам ситового анализа материал ЭКОФЕРОКС наиболее целесообразно применять в качестве фильтрующей загрузки при высоте ее слоя до 1,8-2,0 м, что можно считать достаточно хорошим показателем, поскольку рекомендуемая скорость фильтрования при такой высоте слоя может составлять до 12 – 14 м/ч, что превышает скорость фильтрования, а, следовательно, и производительность, традиционных скорых фильтров в 2 раза, используемых на очистных сооружениях водопровода с загрузкой из кварцевого песка.

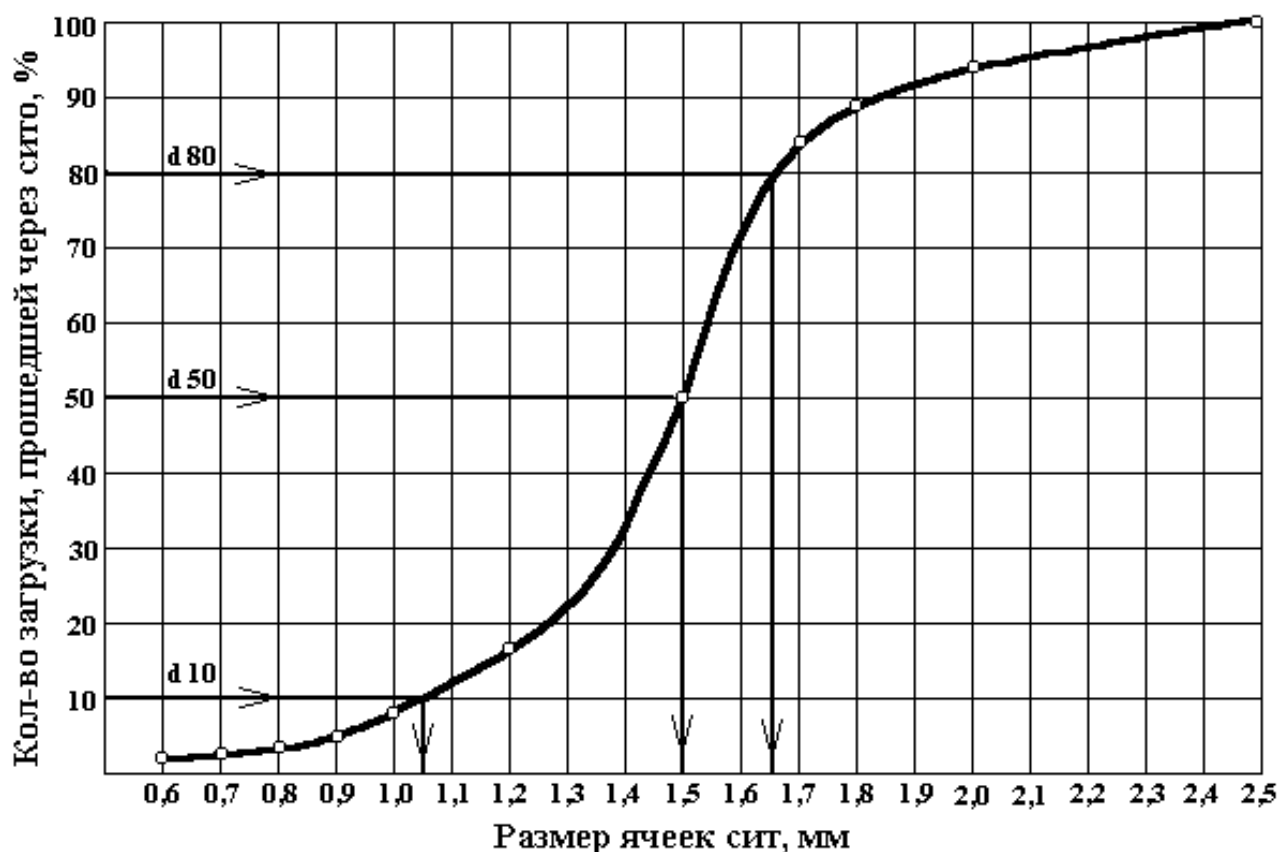


Рис. 1.1. Результаты ситового анализа пробы ЭКОФЕРОКС

2. Исследования сорбционных свойств сорбционно - фильтрующего материала ЭКОФЕРОКС

Сорбция – это процесс поглощения вещества из окружающей среды твердым телом или жидкостью. Поглощающее тело называется сорбентом, а поглощаемое – сорбатом. Различают поглощение вещества всей массой жидкого сорбента (абсорбция) и поверхностным слоем твердого сорбента (адсорбция).

Сорбция представляет собой один из наиболее эффективных методов глубокой очистки от растворенных органических веществ природных и сточных вод. Преимуществами сорбционной очистки являются возможность адсорбции веществ многокомпонентных смесей и, кроме того, высокая эффективность очистки, особенно слабоконцентрированных вод.

Сорбционная очистка наиболее рациональна, если в воде содержатся преимущественно ароматические соединения, неэлектролиты, непредельные

соединения или гидрофобные (например, содержащие хлор или нитрогруппы) алифатические соединения.

В качестве сорбентов различают различные искусственные и природные пористые материалы; золу, коксовую мелочь, силикагели, алюмогели, активные глины, активированные угли и другие. Широкое применение сорбции в практике водоподготовки ограничивается относительно высокой стоимостью сорбционных материалов, особенно получаемых искусственным путем (синтетических), таких как сульфоугли, синтетические цеолиты, ферроцианидные и другие сорбенты. С другой стороны, в России налажена добыча минеральных пород высокой пористости и обладающих сорбционными свойствами. Сорбционные характеристики природных сорбентов (клиноптилолита, морденита, бентонитов и др.) безусловно уступают искусственным, однако их применение обусловлено значительно более низкой стоимостью и, соответственно, снижением затрат на водоочистку.

2.1. Исследования сорбционной емкости ЭКОФЕРОКСа в статических условиях

Как известно, процесс сорбции может осуществляться в статических условиях, при которых частица жидкости не перемещается относительно частицы сорбента, т.е. движется вместе с последней, а также в динамических условиях, при которых частица жидкости перемещается относительно сорбента. В соответствии с этим различают статическую и динамическую активность сорбента. Статическая активность сорбента характеризуется максимальным количеством вещества, поглощенного единицей объема или, массы сорбента к моменту достижения равновесия при постоянных температуре жидкости и начальной концентрации вещества.

Одним из основных критериев оценки адсорбционных свойств сорбента является изотерма сорбции, определяющая зависимость емкости сорбента от концентрации сорбируемого вещества в условиях равновесия. Для построения

изотермы сорбции в статических условиях была принята методика, которая заключалась в следующем: четыре образца ЭКОФЕРОКС по 110, 660, 1750 и 3920 мг помещают в колбы с притертыми пробками на 200-300 мл со 150-200 мл воды. Образцы 44 часа встряхивают непрерывно с малой интенсивностью при 20 ± 1 °С с последующим анализом воды. Емкость сорбента или количество вещества, сорбированное 1 г сорбента для всех проб рассчитывали из выражения

$$\Gamma = \frac{C_0 - C_{\text{равн}}}{P} \cdot V, \text{ мг/л}$$

где C_0 – начальная концентрация вещества в пробе, мг/дм³;

$C_{\text{равн}}$ – равновесная (конечная после 44 часового встряхивания) концентрация вещества в пробе, мг/дм³;

V – объем пробы, мл;

P – вес навески сорбента, мг.

Сорбция алюминия из воды. Пробы 100 мл с исходной концентрацией алюминия $C_0 = 47,69$ мг/дм³ после встряхивания имели следующие равновесные концентрации и соответствующие емкости сорбента:

$$C_{\text{равн.1}} = 46,06 \text{ мг/дм}^3; \quad \Gamma_1 = \frac{47,69 - 46,06}{110,0} \cdot 100 = 1,482 \text{ мг/г};$$

$$C_{\text{равн.2}} = 32,28 \text{ мг/дм}^3; \quad \Gamma_2 = \frac{47,69 - 38,28}{660} \cdot 100 = 1,426 \text{ мг/г}$$

$$C_{\text{равн.3}} = 26,36 \text{ мг/дм}^3; \quad \Gamma_3 = \frac{47,69 - 26,36}{1750} \cdot 100 = 1,219 \text{ мг/г}$$

$$C_{\text{равн.4}} = 15,06 \text{ мг/дм}^3; \quad \Gamma_4 = \frac{47,69 - 15,06}{1750} \cdot 100 = 0,983 \text{ мг/г}$$

По найденным значениям емкости сорбента, при различных равновесных концентрациях алюминия строим изотерму сорбции, рис. 2.1.

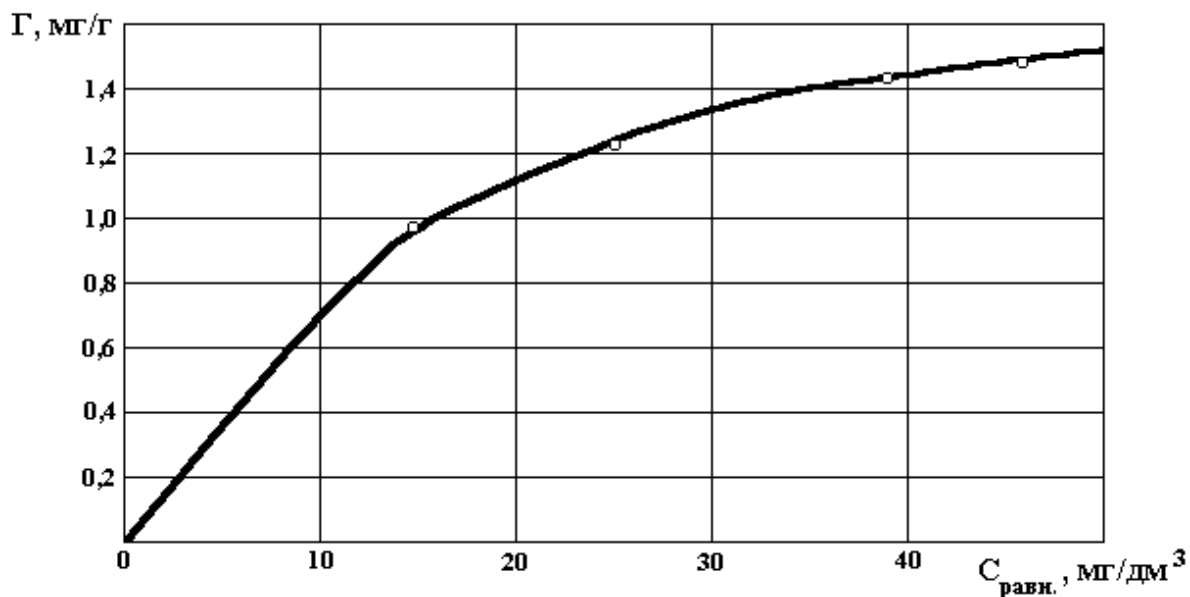


Рис. 2.1. Изотермы сорбции алюминия на материале ЭКОФЕРОКС в статических условиях.

Выпуклый характер изотермы сорбции указывает на наличие в сорбенте микропор. Сорбционная емкость по алюминию составляет до 1,5 мг/г сорбента, что является весьма хорошим показателем.

Сорбция железа из воды. Пробы объемом 100 мл с различными концентрациями железа 54,08 мг/дм³ имели, после встряхивания следующие показатели, табл. 2.1.

Таблица 2.1

№ опыта	Начальная концентрация, мг/дм ³	Равновесные концентрация, мг/дм ³				Емкость сорбента, мг/г			
		C _{p,1}	C _{p,2}	C _{p,3}	C _{p,4}	Γ ₁	Γ ₂	Γ ₃	Γ ₄
1	54,08	44,36	32,44	13,31	9,36	8,83	3,28	2,33	1,35
2	42,50	34,0	15,94	8,50	4,46	7,72	4,02	5,15	1,15

По данным табл. 2.1. строим изотерму сорбции железа на ЭКОФЕРОКС в статических условиях, рис. 2.2.

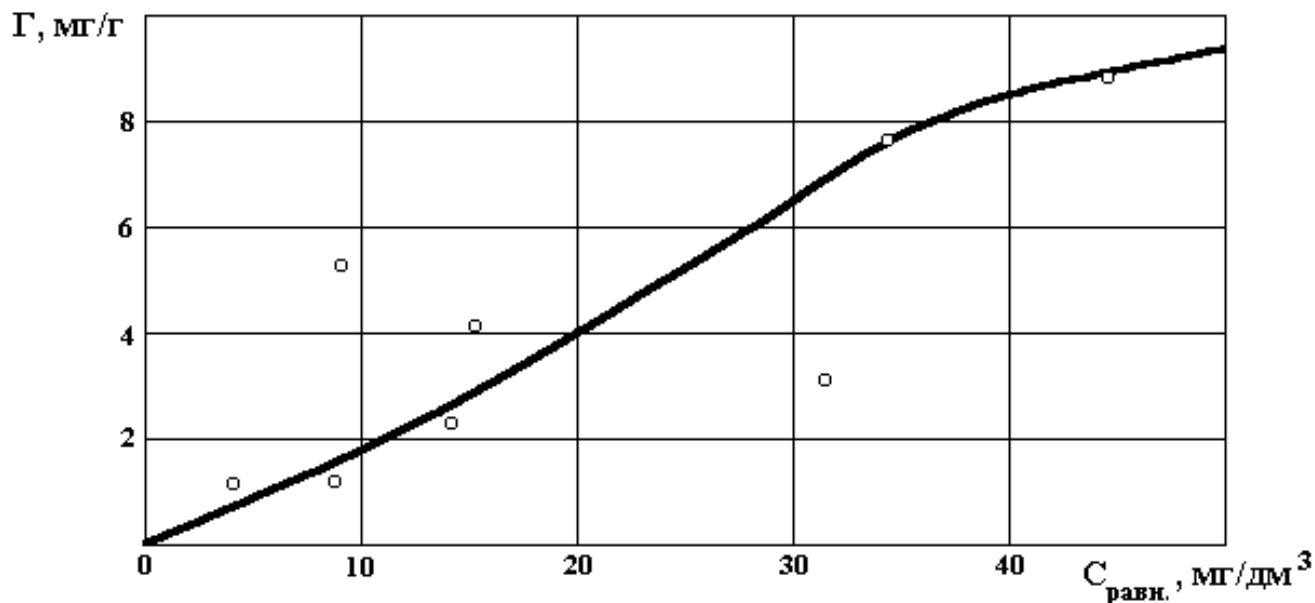


Рис. 2.2. Изотерма сорбции железа на материале ЭКОФЕРОКС в статических условиях.

Сорбционная емкость материала ЭКОФЕРОКС по железу достигает до 9 мг на г сорбента и значительно большая (в 6 раз), чем по алюминию, как это видно на рис. 2.2.

Сорбция нефтепродуктов из воды. Пробы объемом 200 мл с исходной концентрацией нефтепродуктов $10,22 \text{ мг/дм}^3$ имели после встряхивания следующие показатели:

$$C_{\text{равн.1}} = 5,11 \text{ мг/дм}^3; \quad \Gamma_1 = \frac{(10,22 - 5,11) \cdot 200}{110,0} = 9,29 \text{ мг/г};$$

$$C_{\text{равн.2}} = 3,17 \text{ мг/дм}^3; \quad \Gamma_2 = \frac{(10,22 - 3,17) \cdot 200}{660} = 2,14 \text{ мг/г}$$

$$C_{\text{равн.3}} = 1,50 \text{ мг/дм}^3; \quad \Gamma_3 = \frac{(10,22 - 1,5) \cdot 200}{1750} = 1,0 \text{ мг/г}$$

$$C_{\text{равн.4}} = 0,58 \text{ мг/дм}^3; \quad \Gamma_4 = \frac{(10,22 - 0,58) \cdot 200}{3320} = 0,58 \text{ мг/г}$$

По найденным значениям емкости сорбента строим изотерму сорбции нефтепродуктов на материале ЭКОФЕРОКС, рис. 2.3.

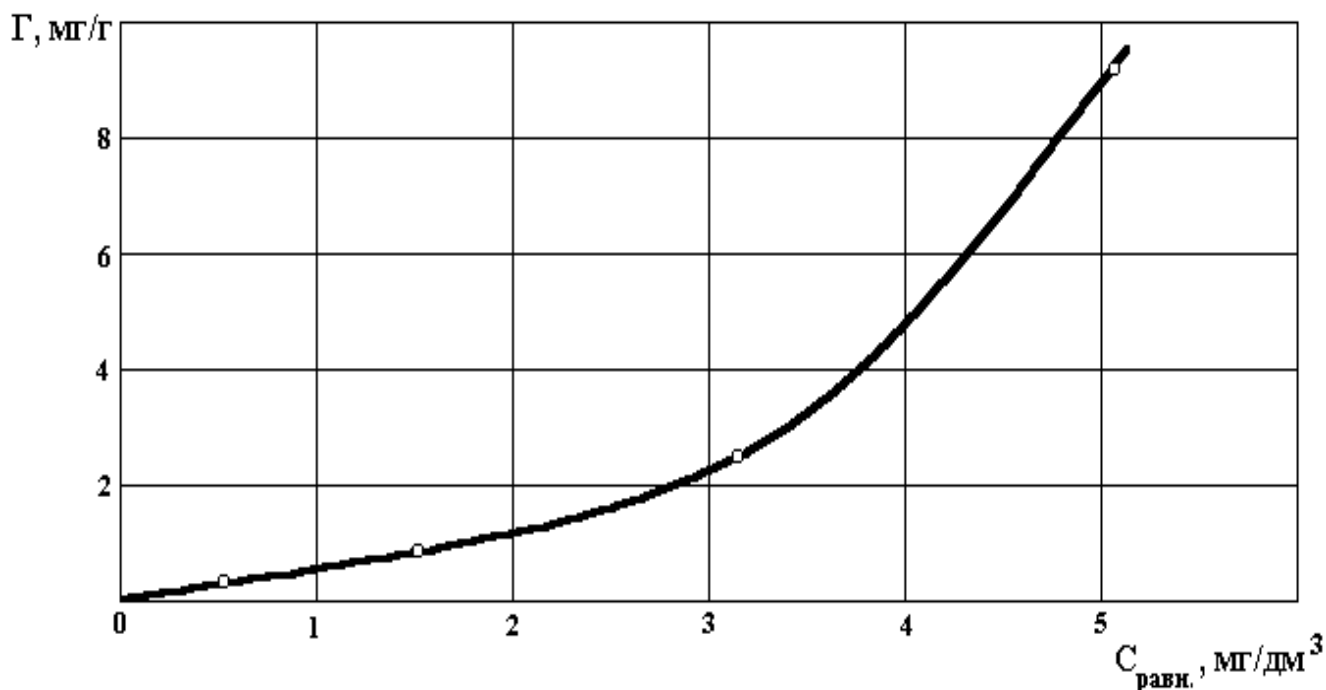


Рис. 2.3. Изотерма сорбции нефтепродуктов на материале ЭКОФЕРОКС в статических условиях

Сорбционная емкость ЭКОФЕРОКС по нефтепродуктам составляет до 9 мг/г сорбента. Вогнутый характер кривой, указывает на сильное межмолекулярное взаимодействие в веществе сорбента.

Сорбция фенола из воды. Пробы объемом 100 мл с исходной концентрацией фенола $C_0 = 22,13 \text{ мг/дм}^3$ после встряхивания имели следующие показатели:

$$C_{\text{равн.1}} = 6,18 \text{ мг/дм}^3;$$

$$\Gamma_1 = \frac{(22,13 - 6,18) \cdot 100}{110,0} = 14,5 \text{ мг/г};$$

$$C_{\text{равн.2}} = 4,18 \text{ мг/дм}^3;$$

$$\Gamma_2 = \frac{(22,13 - 4,18) \cdot 100}{660} = 2,72 \text{ мг/г};$$

$$C_{\text{равн.3}} = 2,67 \text{ мг/дм}^3;$$

$$\Gamma_3 = \frac{(22,13 - 2,67) \cdot 100}{1750} = 1,11 \text{ мг/г};$$

$$C_{\text{равн.4}} = 0,25 \text{ мг/дм}^3;$$

$$\Gamma_4 = \frac{(22,13 - 0,25) \cdot 100}{3320} = 0,66 \text{ мг/г};$$

По найденным значениям емкости сорбента строим изотерму сорбции фенола на материале ЭКОФЕРОКС, рис. 2.4.

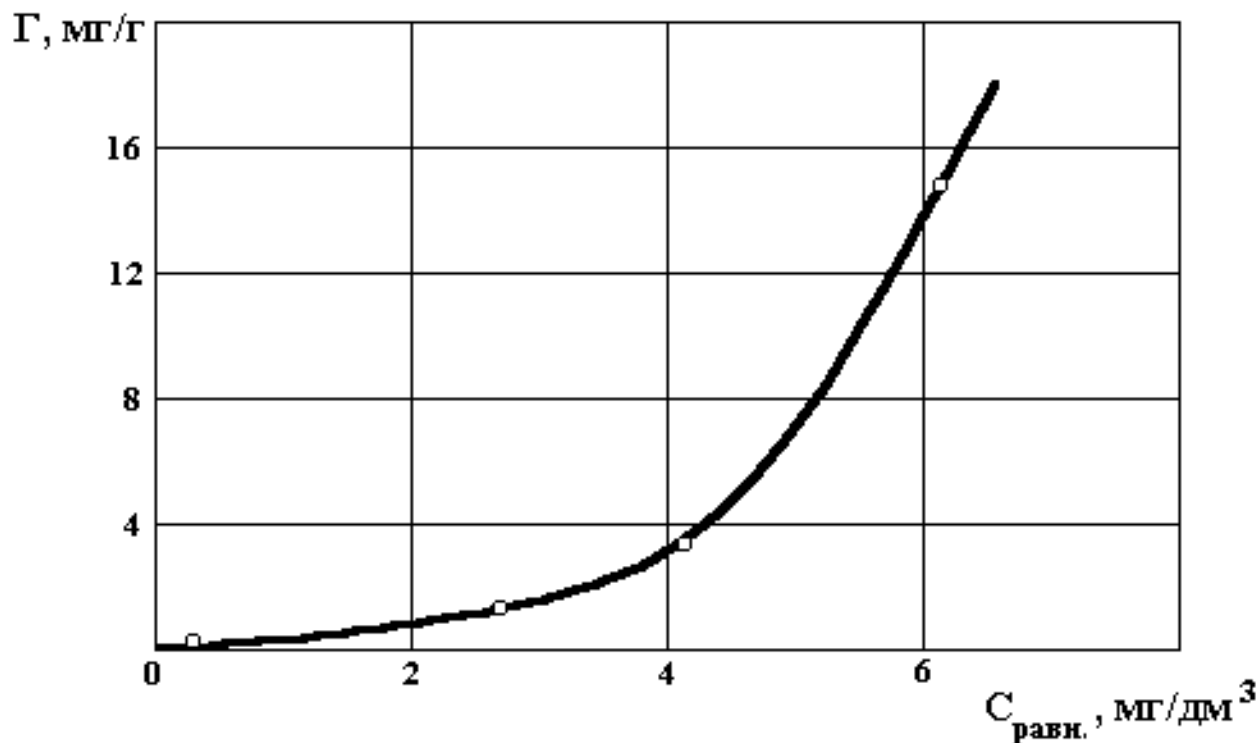


Рис. 2.4. Изотерма сорбции фенола на материале ЭКОФЕРОКС в статических условиях

Сорбционная емкость фенола на материале ЭКОФЕРОКС составляет до 16 мг/г сорбента. Характер кривой аналогичен изотерме сорбции нефтепродуктов, что указывает на сходство механизма сорбции фенола и нефтепродуктов на материале ЭКОФЕРОКС.

Сорбция азотсодержащих соединений из воды. Результаты исследований сорбции азотсодержащих соединений из воды представлены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Показатель	Концентрации, мг/дм ³			Сорбционная емкость, мг/г		
	Аммиак	Нитриты	Нитраты	Аммиак	Нитриты	Нитраты
1	2	3	4	5	6	7
C_0	0,46	0,076	21,49			
$C_{равн,1}$	0,34	0.053	25,23			

1	2	3	4	5	6	7
$C_{\text{равн},2}$	0,27	0,019	25,23			
$C_{\text{равн},3}$	0,31	0,017	25,23			
$C_{\text{равн},4}$	0,24	0,055	25,23			
Γ_1				0,109	0,021	0.0
Γ_2				0,029	0,0086	0.0
Γ_3				0,009	0,0034	0.0
Γ_4				0,006	0,0006	0,0

Как следует из табл. 2.2 сорбция азотсодержащих соединений весьма незначительна, а по нитратам практически отсутствует. Более того, концентрация нитратов в воде даже несколько повышается, что свидетельствует о переходе ионов NO_3^- в раствор.

2.2. Исследования сорбционной емкости ЭКОФЕРОКС в динамических условиях, определение времени защитного действия ЭКОФЕРОКС

Динамическая активность сорбента характеризуется максимальным количеством вещества, поглощенного единицей объема или массы сорбента до момента появления сорбируемого вещества в фильтрате при пропуске воды через слой сорбента.

Сущность экспериментальных исследований заключалась в следующем: через стеклянную колонку диаметром 17 мм, загруженную образцом сорбента ЭКОФЕРОКС высотой слоя 500 мм пропускали исследуемую воду со скоростью 5 м/ч (19,2 мл/мин). В процессе эксперимента определяли концентрации загрязнений на выходе и фиксировали объемы пропущенной через колонку воды на момент анализа концентраций загрязняющих компонентов. Объем загрузки в колонке составлял:

$$W = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h = \frac{3,14 \cdot 0,017^2}{4} \cdot 0,5 = 0,1134 \text{ дм}^3.$$

Масса сорбента в колонке при плотности материала ЭКОФЕРОКС

$$\rho = (1,52 + 1,65) / 2 = 1,585 \text{ г/см}^3 \text{ составила}$$

$$P = W \cdot \rho = 0,1134 \cdot 1,585 = 180 \text{ г.}$$

Динамику степени извлечения загрязнений (в долях единицы) в зависимости от объема пропущенной воды изображали в виде графиков. По результатам исследований также строили графики динамики адсорбции загрязнений на материале ЭКОФЕРОКС (мг на г сорбента) в зависимости от объема пропущенной через колонку исследуемой воды.

Результаты исследований представлены в табл. 2.3-2.7 и на рисунках 2.5-2.13.

Таблица 2.3

Изменение степени очистки воды $(C_0 - C) / C_0$ и величины адсорбции алюминия на материале ЭКОФЕРОКС $(C_0 - C) \cdot V / P$ в зависимости от объема пропущенной через колонку воды. $C_0 = 43,4 \text{ мг/дм}^3$

$C, \text{ мг/дм}^3$	$\frac{C_0 - C}{C_0}$	Объем воды V, мл	Время отбора проб T, мин	$\Delta\Gamma = \frac{(C_0 - C) \cdot V}{P}$ мг/г	$\Gamma, \text{ мг/г}$	$\frac{C}{C_0}$
1	2	3	4	5	6	7
0,12	0,997	100	5,2	24,04	24,04	0,0027
21,7	0,500	500	26	60,28	84,32	0,500
32,55	0,250	1500	78	90,41	174,75	0,750
37,98	0,125	2000	104	60,22	234,95	0,875
43,4	0,000	2500	130	0,00	234,95	1,000

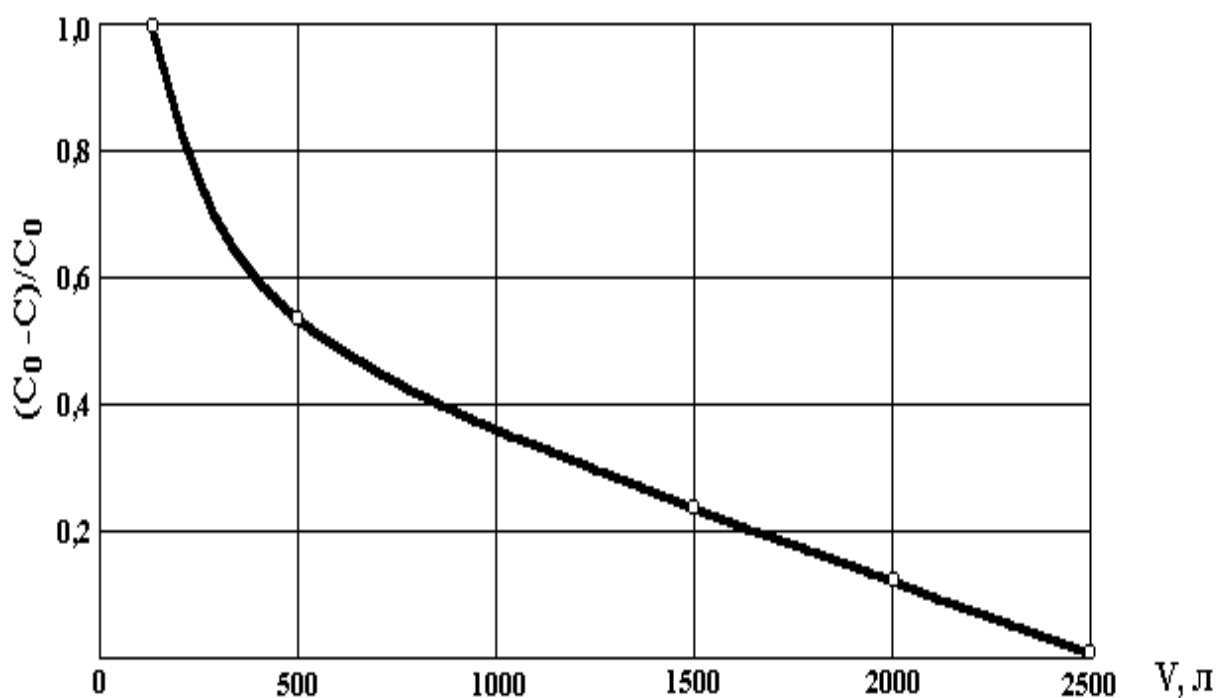


Рис.2.5. Динамика степени извлечения из воды алюминия на материале ЭКОФЕРОКС

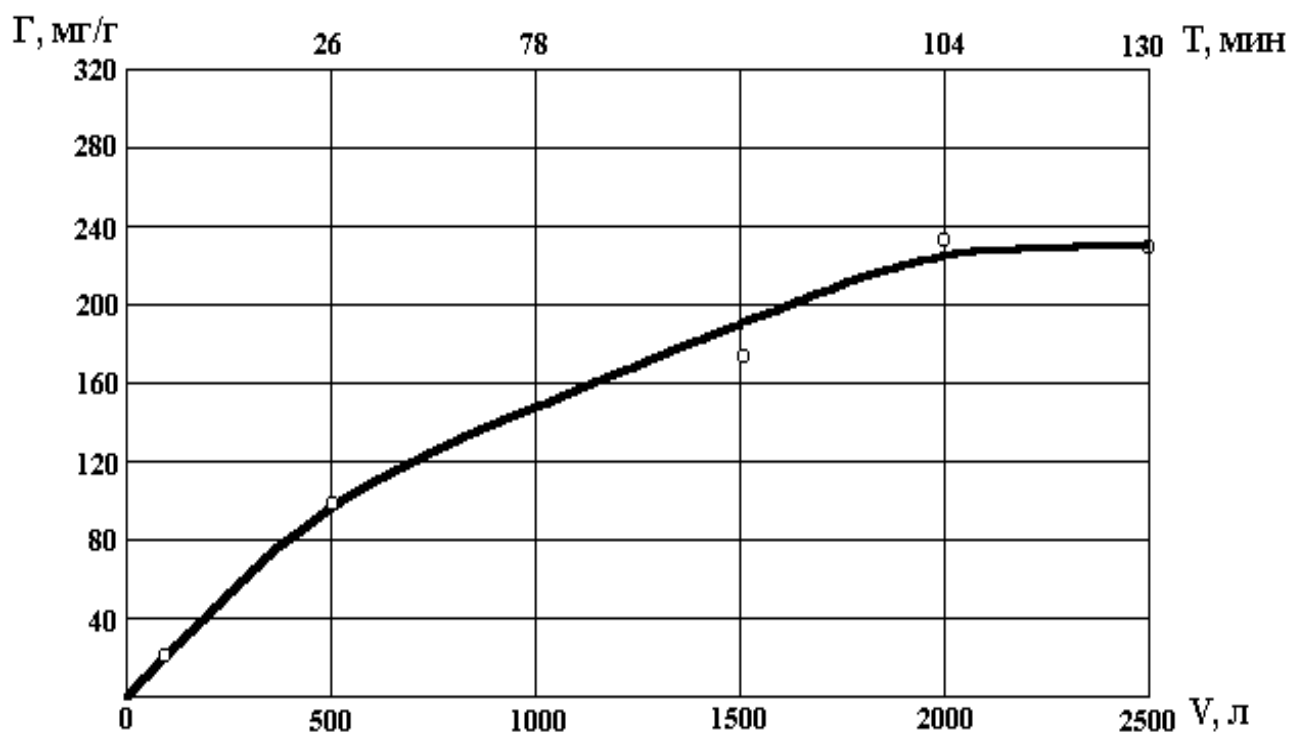


Рис.2.6. Динамика адсорбции алюминия на материале ЭКОФЕРОКС

При расчете насыпных фильтров время защитного их действия $t_{з.д.}$ определяют по формуле:

$$t_{з.д.} = K_{з.д.} \cdot H,$$

где $K_{з.д.}$ – коэффициент защитного действия, определяемый экспериментально,

H – высота слоя сорбента, м.

Коэффициент защитного действия равен:

$$K_{з.д.} = \frac{a_{равн}}{V \cdot C_0},$$

где $a_{равн}$ – предельная насыщенность сорбента, равновесная с концентрацией, кг/кг

и устанавливается по экспериментальной изотерме сорбции. В нашем

случае из графика на рис. 5.6 $a_{равн} = 0,235$ кг/кг;

V – скорость фильтрация, м/ч;

C_0 – начальная концентрация вещества в воде, кг/м³.

Для сорбента ЭКОФЕРОКС время защитного действия загрузки по адсорбции алюминия будет равным:

$$t_{з.д.} = \frac{0,235}{5 \cdot 0,043} \cdot 0,5 = 0,54 \frac{ч \cdot м^3}{кг}.$$

Время работы фильтра при концентрации алюминия в воде $C=0,5$ мг/л составит:

$$T_{\phi} = \frac{t_{з.д.}}{C} = \frac{0,54}{0,0005} = 1083 \text{ часа, или 45 суток.}$$

Таблица 2.4

Изменение степени очистки воды $(C_0-C)/C_0$ и величины адсорбции железа на материале ЭКОФЕРОКС $(C_0-C) \cdot V/P$ в зависимости от объема пропущенной через колонку воды. $C_0=54,12$ мг/дм³

$C,$ мг/дм ³	$\frac{C_0 - C}{C_0}$	Объем воды V , мл	Время отбора проб T , мин	$\Delta\Gamma = \frac{C_0 - C}{P} \cdot V$ мг/г	Γ , мг/г	$\frac{C}{C_0}$
1	2	3	4	5	6	7
2,01	0,962	100	5,2	28,91	28,91	0,0384
13,31	0,754	500	26	113,36	142,27	0,2459
1	2	3	4	5	6	7
30,78	0,431	1500	78	194,5	336,77	0,5687

38,28	0,293	2000	104	176,0	512,77	0,7073
47,09	0,130	2800	146	109,36	622,15	0,870
54,12	0,00	3500	182	0,00	622,13	1,00

Таблица 2.5

Изменение степени очистки воды $(C_0 - C)/C_0$ и величины адсорбции алюминия на материале ЭКОФЕРОКС $(C_0 - C) \cdot V/P$ в зависимости от объема пропущенной через колонку воды. $C_0 = 29,30 \text{ мг/дм}^3$

$C, \text{ мг/дм}^3$	$\frac{C_0 - C}{C_0}$	Объем воды $V, \text{ мл}$	Время отбора проб $T, \text{ мин}$	$\Delta\Gamma = \frac{(C_0 - C) \cdot V}{P}$ мг/г	$\Gamma, \text{ мг/г}$	$\frac{C}{C_0}$
0,18	0,994	100	5,2	16,18	16,18	0,006
3,14	0,892	500	26	72,64	88,82	0,108
2,50	0,915	1000	52	148,88	237,7	0,085
4,12	0,859	1500	78	209,83	447,53	0,141
8,25	0,718	2000	104	233,88	681,41	0,282

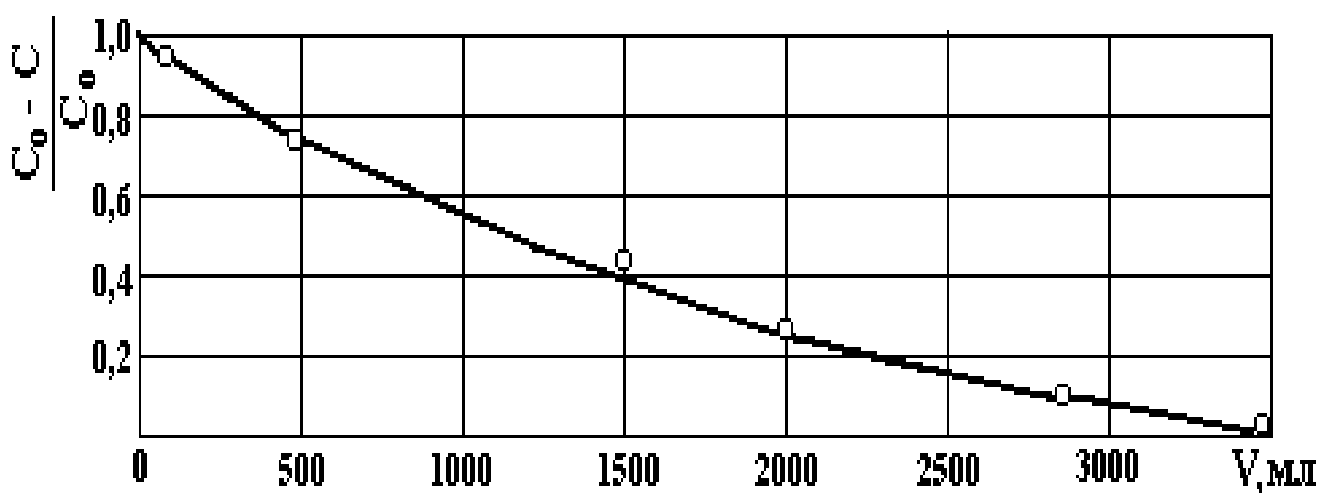


Рис.2.7. Динамика степени извлечения из воды железа на материале ЭКОФЕРОКС (к табл. 2.4)

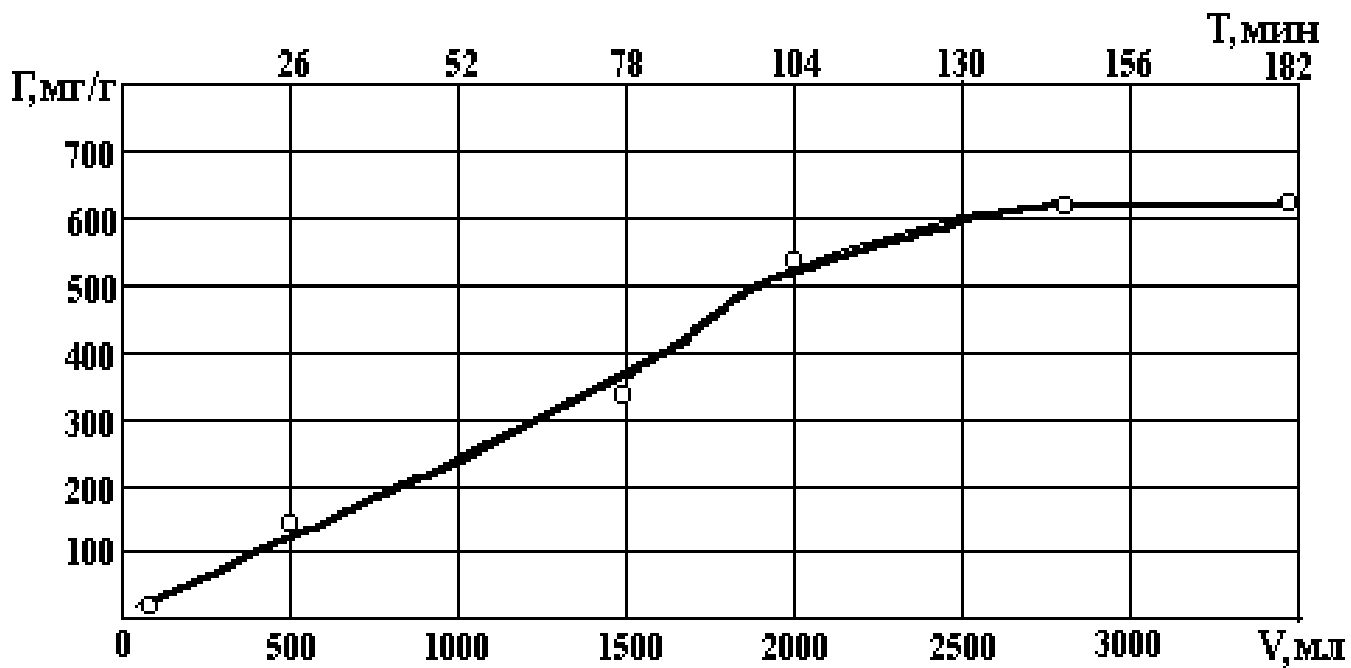


Рис.2.8. Динамика адсорбции железа на материале ЭКОФЕРОКС (к табл. 2.4)

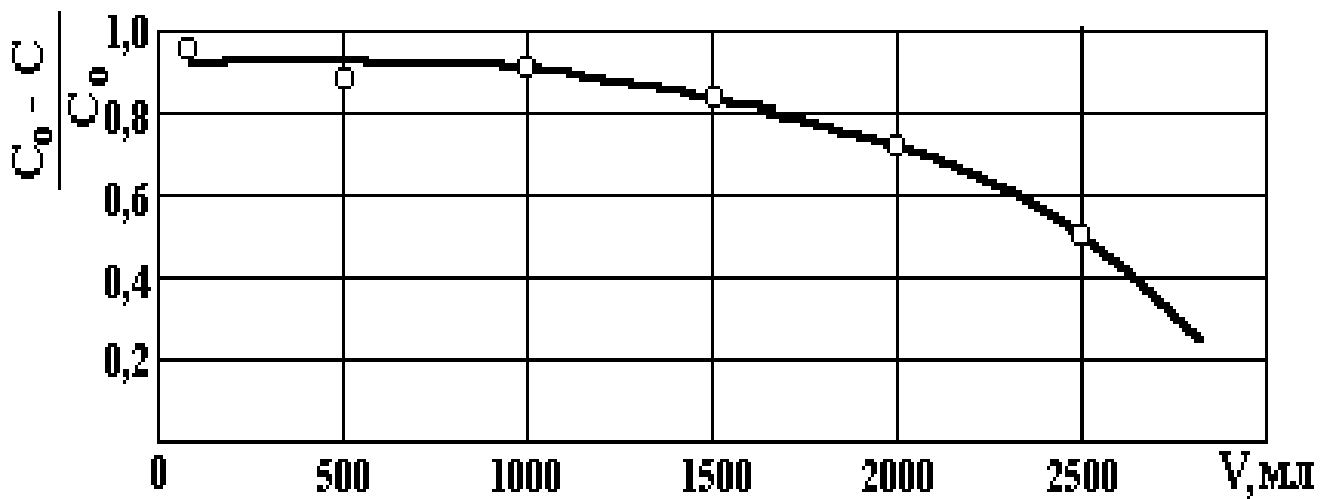


Рис.2.9. Динамика степени извлечения из воды алюминия на материале ЭКОФЕРОКС (к табл.2.5)

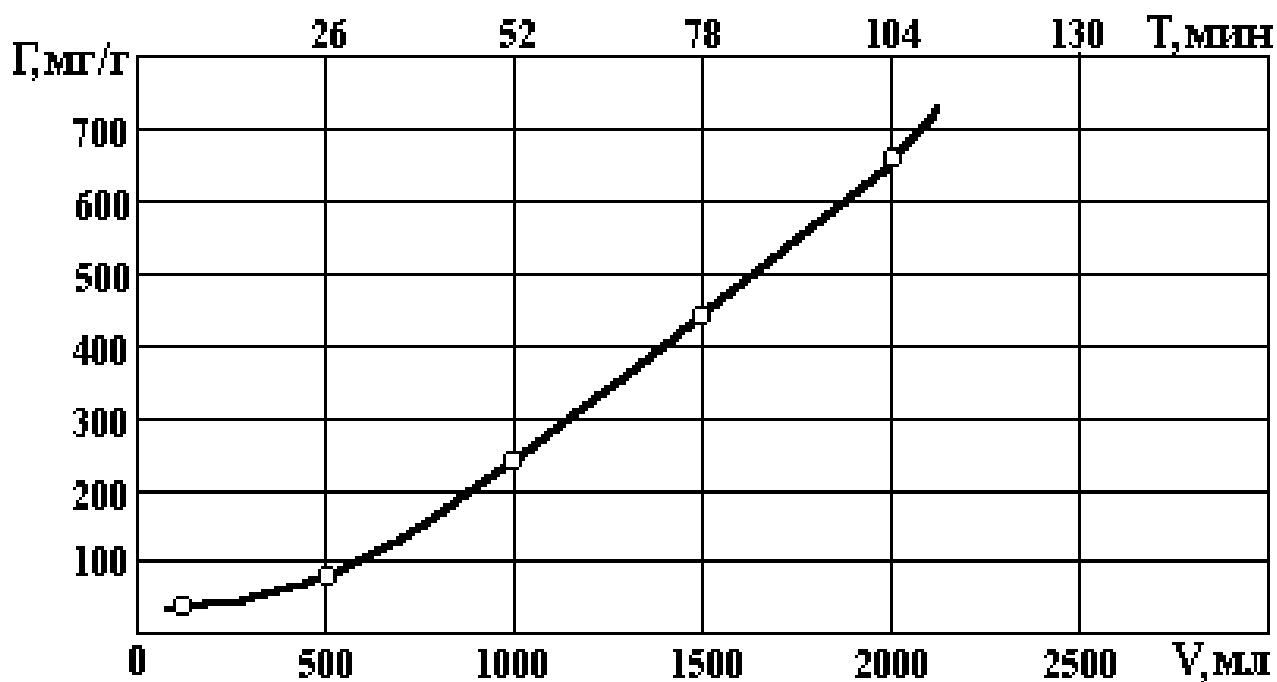


Рис.2.10. Динамика адсорбции алюминия на материале ЭКОФЕРОКС (к табл.2.5)

Таблица 2.6

Изменение степени очистки воды $(C_0 - C)/C_0$ и величины адсорбции железа на материале ЭКОФЕРОКС $(C_0 - C) \cdot V/P$ в зависимости от объема пропущенной через колонку воды. $C_0 = 36,76$ мг/дм³

C , мг/дм ³	$\frac{C_0 - C}{C_0}$	Объем воды V, мл	Время отбора проб T, мин	$\Delta\Gamma = \frac{(C_0 - C) \cdot V}{P}$ мг/г	Γ , мг/г	$\frac{C}{C_0}$
0,69	0,981	100	5,2	20,04	20,04	0,019
3,61	0,902	500	26	92,08	112,12	0,098
7,93	0,784	1000	52	160,16	272,28	0,216
4,25	0,884	1500	78	270,92	543,20	0,116
6,68	0,818	2000	104	339,22	877,42	0,182

Таблица 2.7

Изменение степени очистки воды $(C_0 - C)/C_0$ и величины адсорбции нефтепродуктов на материале ЭКОФЕРОКС $(C_0 - C) \cdot V/P$ в зависимости от объема пропущенной через колонку воды. $C_0 = 24,06$ мг/дм³

C , мг/дм ³	$\frac{C_0 - C}{C_0}$	Объем воды V , мл	Время отбора проб T , мин	$\Delta\Gamma = \frac{(C_0 - C) \cdot V}{P}$ мг/г	Γ , мг/г	$\frac{C}{C_0}$
2,40	0,900	100	5,2	12,03	12,03	0,0998
4,00	0,834	500	26	55,72	67,75	0,1663
9,48	0,606	1000	52	81,00	140,75	0,394
21,26	0,116	1500	78	23,33	172,08	0,884
24,06	0,00	2000	104	0,00	172,08	1,000

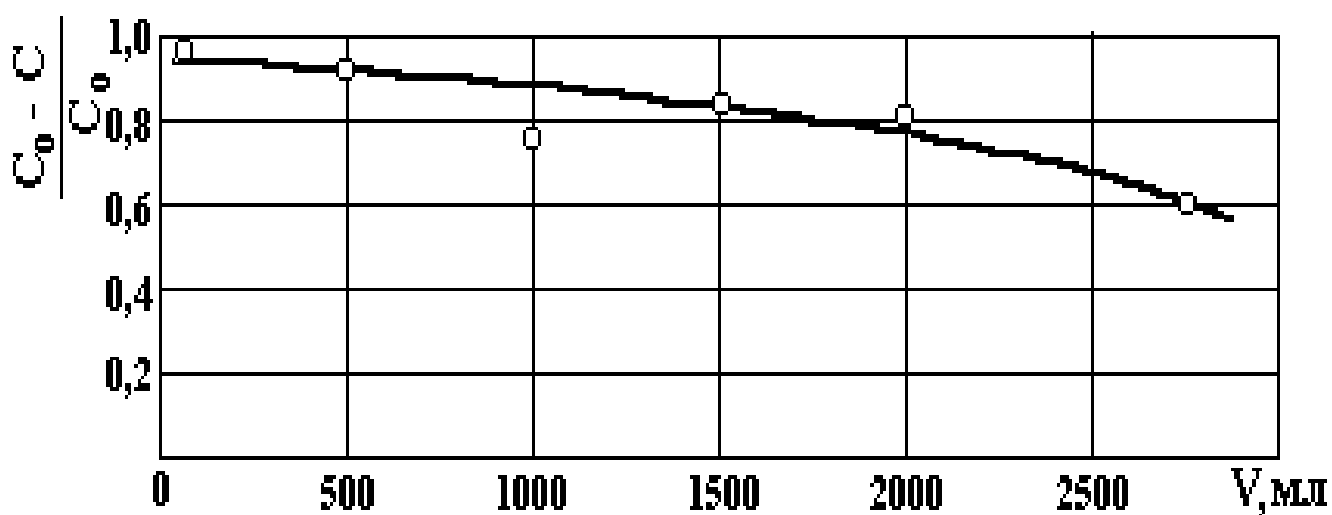


Рис. 2.11. Динамика степени извлечения из воды железа на материале ЭКОФЕРОКС (к табл. 2.6)

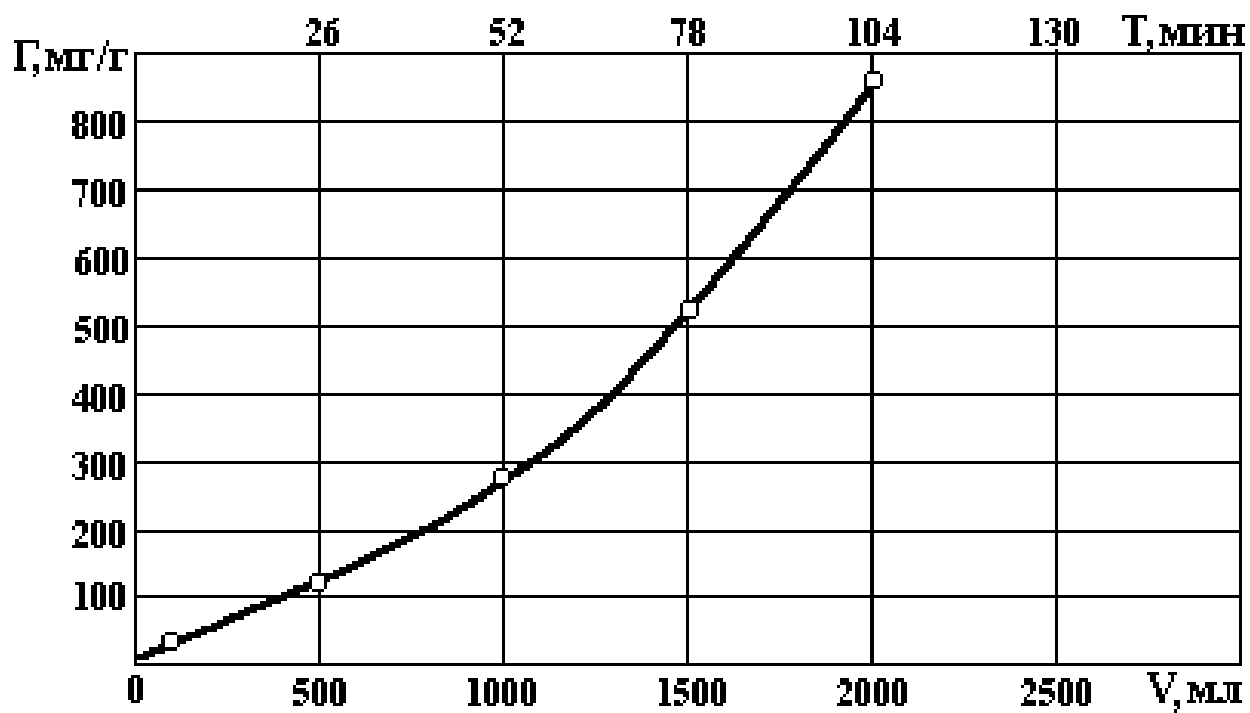


Рис. 2.12. Динамика адсорбции железа на материале ЭКОФЕРОКС (к табл. 2.6)

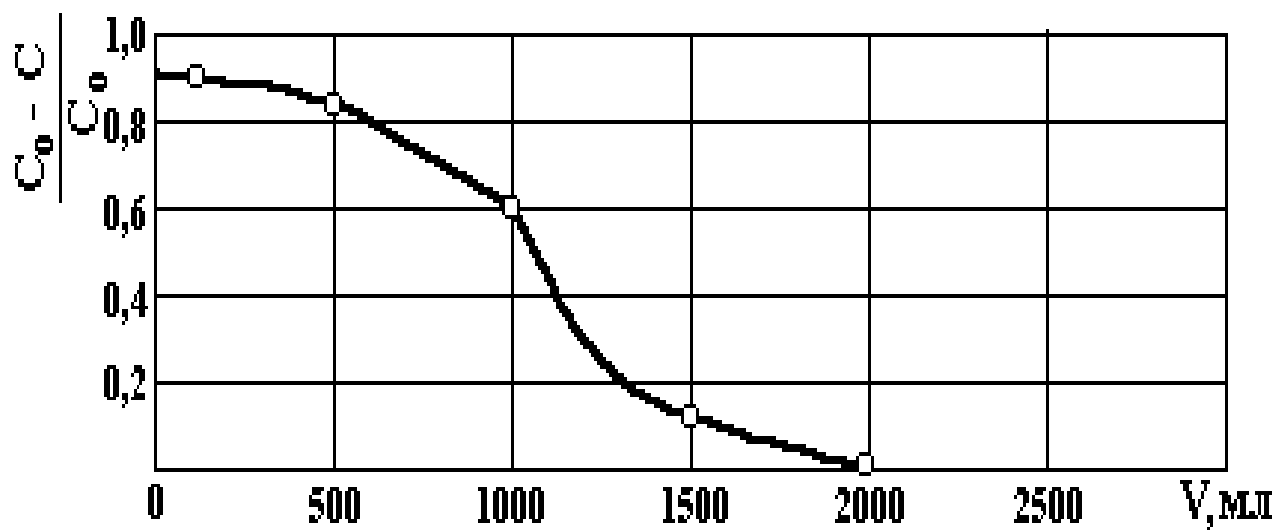


Рис.2.13. Динамика степени извлечения из воды нефтепродуктов на материале ЭКОФЕРОКС (к табл. 2.7)



Рис. 2.14. Динамика адсорбции нефтепродуктов на материале ЭКОФЕРОКС (к табл. 2.7)

В заключение следует отметить, что динамическая активность материала ЭКОФЕРОКС по алюминию, железу и нефтепродуктам достаточно велика и составляет соответственно 700 мг/г; 850 мг/г и 170 мг/г.

3. ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА КОНТАКТНОГО ФИЛЬТРОВАНИЯ НА МАТЕРИАЛЕ ЭКОФЕРОКС ПРИ ОБРАБОТКЕ ВОДЫ КОАГУЛЯНТАМИ

Как известно, обработка коагулянтами – самый распространенный метод очистки воды от грубодисперсных и коллоидных загрязнений. Масштабы и область применения метода коагуляции продолжают увеличиваться, поскольку актуален поиск путей усовершенствования этого метода – повышению скорости формирования и отделения коагулированной взвеси в осадок.

В отечественной практике водообработки традиционно сложилось, что основным реагентом, применяемым при коагуляционной обработке, является сернокислый алюминий. Однако наиболее успешная реагентная обработка достигается в условиях как правильно назначенной дозы, так и вида реагента для конкретного качества воды поверхностного водоисточника и с учетом существующего состава действующих сооружений (смесители, хлопьеобразователи, отстойники, осветлители со слоем осадка и др.).

3.1. Оценка коагулирующей способности сернокислого алюминия при ее очистке по схеме: отстаивание – фильтрование

Обычно на водопроводах, как это было установлено в результате их обследования доза коагулянта составляет 5 – 10, реже 15 – 20 мг/дм³ (по безводному $Al_2(SO_4)_3$), и только в период паводка ее поднимают до 50 – 60 мг/дм³. Однако, в большинстве случаев плотная хлопьевидная взвесь в камерах хлопьеобразования не образуется, что приводит к отклонениям в режиме реагентной обработки воды и, в частности, к несоответствию принятой дозы коагулянта реальным условиям. В этой связи был поставлен эксперимент, цель которого заключалась в установлении оптимальной дозы коагулянта в статических условиях методом пробного коагулирования, т.е. рядовой технологический анализ.

Порядок эксперимента следующий: в цилиндры емкостью 1000 мл наливали сырую воду со следующими физико-химическими показателями качества

- мутность $M = 16.0$ мг/дм³;
- водородный показатель $pH = 7,85$;
- щелочность $HCO_3^- = 3,85$ мг-экв/дм³;
- общая жесткость $Ca^{2+} + Mg^{2+} = 5,75$ мг-экв/дм³;
- температура $t = 16$ °С.

Перед добавлением коагулянта в каждом цилиндре проводили первичное хлорирование дозой 3,0 мг/дм³ по активному хлору. Спустя 1,5 – 2 минуты

добавляли коагулянт в интервале доз 20 – 170 мг/дм³. Крепость раствора коагулянта, определенная по его плотности, составляла 3.5%. Спустя 30 минут отстаивания из верхнего слоя воды цилиндров отбирали пробы, в которых определяли концентрацию взвешенных веществ (методом колориметрии), величину *pH*, щелочность. Результаты исследований представлены в табл.3.1.

Таблица 3.1

Определение оптимальной дозы коагулянта $Al_2(SO_4)_3$

№ цилинд- ров.	Доза $Al_2(SO_4)_3$		Остаточная мутность M , мг/дм ³	<i>pH</i>	HCO_3^- , мг-экв/дм ³	Эффект отстаив. Ξ , %
	мг/дм ³	мл/дм ³				
1	2	3	4	5	6	7
1	20,0	0,57	8,72	7,45	3,50	45,5
2	30,0	0,88	6,78	7,30	3,50	57,6
3	40,0	1,14	6,35	7,30	3,10	60,3
4	50,0	1,43	5,22	7,25	2,95	67,4
5	60,0	1,71	6,35	7,05	2,80	60,3
6	70,0	2,00	5,28	7,05	2,60	67,0
7	80,0	2,28	6,15	6,87	2,50	61,5
8	90,0	2,57	4,81	6,94	2,30	69,9
9	100,0	2,85	6,78	6,70	2,20	57,6
10	110,0	3,14	5,74	6,80	2,15	64,1
11	120,0	3,42	4,81	6,75	2,00	69,9
12	130,0	3,71	5,22	6,65	1,90	67,4
13	140,0	4,00	5,22	6,65	1,85	67,4
14	150,0	4,28	7,22	6,55	1,75	54,9
15	160,0	4,57	8,66	6,55	1,70	45,9
16	170,0	4,86	10,24	6,50	1,60	36,0

В результате испытания различных доз коагулянта (сернокислого алюминия) было установлено следующее:

- при дозе 20 – 30 мг/дм³ по безводному продукту после контакта с обрабатываемой водой в течение 1 часа в статических условиях хлопья гидроксида алюминия отсутствовали, вода в цилиндрах опалесцировала;
- при дозе 40 мг/дм³ после контакта в течение 1 часа появились очень мелкие хлопья, но осадения их не происходило;

- при дозе 50 мг/дм³ после 1 часа отстаивания также образовались мелкие хлопья, но осадения их не замечалось;
- при дозе 60 мг/дм³ мелкие хлопья появились спустя 30 минут, опалесценция сохранилась и хлопья практически не осаждались;
- при дозе 70 мг/дм³ процесс хлопьеобразования несколько ускорился. мелкие хлопья появились уже через 10 – 15 минут, но опалесценция не исчезала в течение даже 1 часа, хлопья также находились во взвешенном состоянии;
- при дозе 80 мг/дм³ процесс хлопьеобразования заметно улучшился с образованием крупных, оседающих хлопьев, опалесценция спустя 30 – 40 минут стояния не отмечалась;
- при дозах 90 – 100 мг/дм³ отмечалось интенсивное хлопьеобразование. В течение 5 минут образовались крупные хлопья, которые интенсивно выпадали в осадок. После отстаивания проб воды в течение 15 минут почти все хлопья в цилиндрах № 8 и № 9 осели и осадок получился сравнительно плотным и тяжелым;
- при дозах 110 – 130 мг/дм³ наблюдали сравнительно интенсивное хлопьеобразование, однако полное осаждение хлопьев отмечалось спустя 30 – 40 минут;
- при дозах 140 – 150 мг/дм³ спустя 10 – 15 минут образовывались крупные, рыхлые, плохо оседающие хлопья. В цилиндрах также отмечалась легкая опалесценция;
- при дозах 160 – 170 мг/дм³ образование хлопьев отмечали спустя 10 – 15 минут. Хлопья имели неплотную, рыхлую структуру, находились во взвешенном состоянии, полного их осаждения не было отмечено спустя 1 часового отстаивания.

При последующем стоянии проб воды в цилиндрах № 12 – 16 (дозы коагулянта 130 – 170 мг/дм³) хлопья медленно осаждались, но осадок получался рыхлый и при малейшем покачивании цилиндров легко поднимался кверху. При разбивании хлопьев интенсивным перемешиванием они не восстанавливались.

На основании проведенных исследований пробной коагуляции можно сделать следующие выводы:

1. Оптимальной дозой коагуляции следует считать $D_{Al_2(SO_4)_3} = 90 - 100 \text{ мг/дм}^3$ по безводному продукту.
2. Оптимальная величина pH проведения коагуляции составляет pH_k 6,8 – 7,0.

Полученную в результате экспериментальных исследований достаточно высокую при относительно малой мутности ($M_{исх} = 16 \text{ мг/дм}^3$) дозу коагулянта возможно объяснить следующим: следуя литературным данным осветление и обесцвечивание воды средней жесткости ($4 - 5 \text{ ммоль/дм}^3$) со щелочностью $3 - 4 \text{ ммоль/дм}^3$ и цветностью до 40 градусов происходит при оптимальных значениях pH в интервале 6 – 7,2, что и отмечалось в нашем случае. Для того, чтобы достигнуть снижения pH воды с 8,0 – 8,2 до оптимальных значений pH коагуляции необходимо проводить подкисление исходной воды. В нашем случае подкисление до оптимальных значений pH коагуляции проводилось непосредственно самим коагулянтом, что и вызвало, в конечном итоге, его повышенные дозы.

В итоге, из проведенных исследований по определению оптимальной дозы коагулянта можно сделать следующее заключение: оптимальной дозой коагулянта для сырой воды при мутности до 8 мг/л следует считать дозу 90 – 100 мг/дм³. Необходимо отметить, что указанные дозы могут быть еще более высокими при снижении температуры обрабатываемой воды, поскольку общеизвестно, что сернокислый алюминий резко снижает свою активность при низких температурах осветляемой воды. Более того, поскольку в периоды низких температур коагуляция не успевает завершаться на очистных сооружениях, то в домовых сетях, при повышении температуры коагуляция заканчивается в трубах, в которых, в свою очередь, образуются гидроксидные осадки алюминия.

К недостаткам применения сернокислого алюминия следует отнести также:

- при применении неочищенного сернокислого алюминия требуются значительные складские помещения и довольно громоздкое реагентное

хозяйство; при «сухом» хранении реагент «слеживается», что затрудняет его перегрузку в растворные баки; раствор имеет кислую реакцию, что требует особого соблюдения правил техники безопасности;

- большие объемы коагулянта влекут за собой значительные транспортные расходы;
- при применении больших доз сернокислого алюминия нарушается карбонатное равновесие, и вода становится агрессивной, т.е. необходима дополнительная стабилизационная обработка воды известью (или содой);
- образуется большое количество влажных гидроксидных осадков, требующих своей обработки и утилизации.

Наконец, практика применения малых, по сравнению с необходимыми, доз сернокислого алюминия приводит к образованию мелких, не оседающих в течение 4 – 5 часов хлопьев, которые, проходя транзитом через отстойники выносятся на фильтры и кольматируют верхние 5 – 10 см песчаного слоя, что приводит к резкому росту потерь напора и падению скорости фильтрования.

Изменить существующее положение возможно в следующих направлениях:

- применение оптимальных доз коагулянта (что резко удорожает стоимость водоподготовки);
- использование вспомогательных средств коагуляции, т.е. флокулянтов (на ряде водопроводов предусмотрена обработка воды полиакриламидом, однако наиболее рациональным и экономичным для донской воды это метод признать нельзя);
- применение одноступенчатой обработки воды с использованием метода контактного фильтрования на загрузке ЭКОФЕРОКС.

Еще более лучшие результаты были получены при применении в схеме контактного фильтрования нового коагулянта – оксихлорида алюминия, выпуск которого в последние годы налажен в России в промышленных масштабах. Стоимость оксихлорида алюминия в 2 – 2,5 раза выше стоимости сернокислого

алюминия, однако это компенсируется, во-первых, более высоким содержанием активного продукта в товарном коагулянте (30% Al_2O_3 против 9,5% у сернокислого алюминия) и, во-вторых, доза оксихлорида при контактном фильтровании в 3 – 4 раза меньшая и составляла 1,5 – 2,0 мг/дм³ против 8 – 10 мг/дм³ при обработке воды сульфатом алюминия. К положительным свойствам оксихлорида алюминия $Al_2(OH)_5Cl^-$ следует отнести значительно более высокое содержание водорастворимого алюминия, его растворы (в отличие от сернокислого алюминия) не требуют применения нержавеющей сталей и противокоррозионной защиты арматуры и трубопроводов. При хранении коагулянт не слеживается и не стареет.

С целью обеспечения минимального разрыва во времени прохождения воды с добавленным к ней коагулянтом (дозирование коагулянта в существующий вихревой вертикальный смеситель неприемлемо) до загрузки, а также для наиболее быстрого смешения и равномерного распределения коагулянта в обрабатываемой воде, что имеет немаловажное значение, раствор коагулянта следует вводить непосредственно перед поступлением воды в загрузку через распределительную систему, смонтированную над поверхностью фильтрующего слоя (под желобами фильтра). Верхняя распределительная система представляет собой центральный коллектор и отходящие от него боковые ответвления с отверстиями, располагающимися в два ряда под углом 45° вниз к вертикальной оси ответвления в шахматном порядке.

4. ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛА ЭКОФЕРОКС ПРИ ОДНОСТУПЕННОЙ ОЧИСТКЕ ВОДЫ КОНТАКТНЫМ ФИЛЬТРОВАНИЕМ

При наличии нескольких видов промышленно доступных фильтрующих материалов выбор загрузки для вновь построенных или действующих очистных сооружений производится на основе технико-экономических расчетов. При этом, однако, должны приниматься во внимание и такие факторы, как возможность

увеличения производительности фильтровальных сооружений за счет использования новых высокоэффективных загрузок из нетрадиционных материалов, затраты на транспортировку материала и его кондиционирование (дробление и рассев), долговечность материала (истираемость и измельчаемость), его способность сорбировать истинно растворенные примеси воды и др.

Эффективность использования предлагаемых к загрузке фильтрующих материалов анализировали путем сравнения работы смешанного слоя антрацита марки «Пуралат – стандарт» с материалом ЭКОФЕРОКС и слоя, состоящего только из ЭКОФЕРОКС. В обоих вариантах нижний фильтрующий слой был представлен кварцевым песком размерами фракций 0,5-1,8 мм. Размеры зерен антрацитовой крошки составляли 1,5-2,5 мм, материала ЭКОФЕРОКС– 2,5-3,5 мм.

4.1. Экспериментальная установка контактного фильтрования воды и порядок проведения исследований

Определение основных параметров фильтрования с целью получения данных для расчета фильтровальных сооружений и является основной задачей фильтрационного технологического анализа воды, который выполняется на фильтровальной колонке, оборудованной пробоотборниками и пьезометрами для определения потерь напора в фильтрующей загрузке.

Для уменьшения влияния пристеночного эффекта, а также для того, чтобы расход воды, отбираемый пробоотборниками, не влиял на результаты экспериментов, диаметр фильтровальной колонки принимаем равным 150 мм (0,15м) общей площадью фильтрования $0,0177 \text{ м}^2$. Высота колонки составляла 3,2 м, что обеспечивало размещение в ней фильтрующего слоя необходимой высоты и образования достаточного пространства над загрузкой для поддержания уровня воды при увеличении потери напора в фильтрующей загрузке, а также необходимого пространства при расширении слоя во время промывки фильтрующего материала. Фильтровальную колонку загружали предварительно

отмытым и отсортированным материалом послойно. Необходимое количество загрузки определяли из выражения

$$m = \rho \cdot (1 - n) \cdot V$$

где m —масса отмытого и отсортированного фильтрующего материала, кг;

ρ —плотность загрузки, кг/м³;

n —пористость загрузки;

V —расчетный (требуемый) объем загрузки.

Засыпав в колонку фильтрующий материал, его уплотняли постукиванием по стенке колонки, пока верхняя поверхность материала не доходила до метки, соответствующей заданному объему загрузки (в этом случае пористость загрузки будет равна пористости этого материала в реальном фильтре). Аналогично засыпали в колонку последующие после кварцевого песка слои фильтрующего материала (антрацита и ЭКОФЕРОКС). Для получения достоверных результатов фильтровальная колонка имела 6 пробоотборников, расположенных с шагом 30 см. При проведении опытов обеспечивали непрерывное истечение воды из пробоотборников во избежание разрушения структуры осадка в толще зернистого материала, расположенного вблизи от пробоотборника. Суммарный расход воды из пробоотборников не превышал 5% общего расхода воды, проходящей через колонку. Схема работы колонки (экспериментальной установки) представлена на рис.6.1.

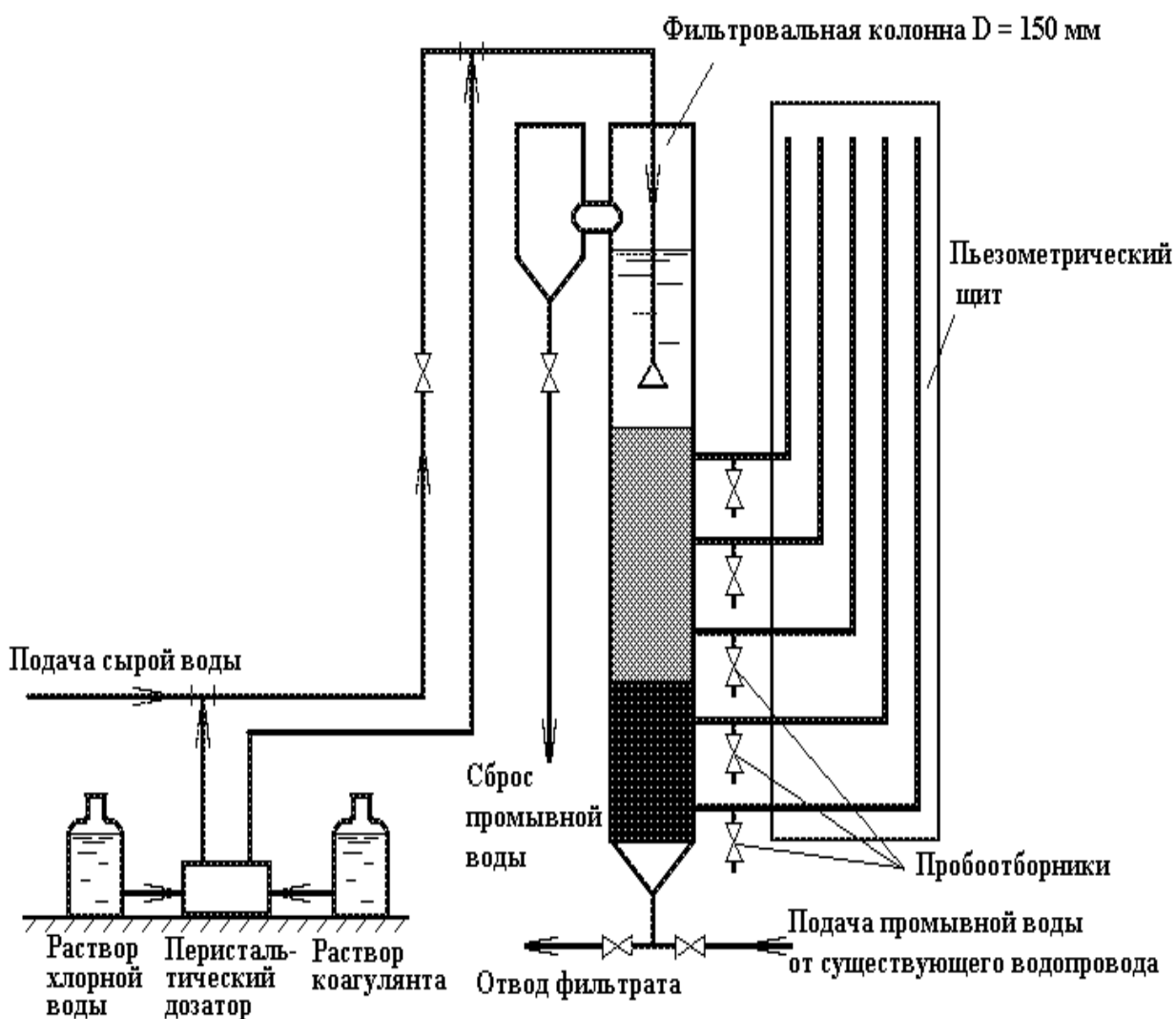


Рис. 6.1. Схема работы опытно-производственной установки контактного фильтрования воды

При определении параметров фильтрования на колонку подавали воду из трубопровода сырой воды. Хлор и коагулянт подавали непосредственно в трубопровод (шланг) перед колонкой при помощи перистальтического дозатора. В ходе эксперимента в журнале наблюдений фиксировали результаты определений концентрации взвеси в отбираемых пробах и потерю напора в загрузке. Скорость фильтрования во всех изучаемых случаях поддерживали постоянной и равной 15 м/ч, при этом расход воды через колонку составлял $0,2655 \text{ м}^3/\text{ч}$. Частоту контрольных определений назначали в зависимости от хода опыта, которая в среднем составляла интервал в 1 час. Рассматривали 2 варианта режима работы колонки: первый – загрузка фильтра кварцевым песком (0,6 м) + антрацит (0,6м) + материал ЭКОФЕРОКС (0,6м); второй – кварцевый песок (0,8м) + материал

ЭКОФЕРОКС(1,2м). Кроме того фильтрование осуществляли с применением двух типов коагулянтов – сернокислого алюминия и основного хлорида алюминия (оксихлорида алюминия).

По окончании каждого фильтроцикла определяли грязеемкость загрузки (количество загрязнений, кг, задержанных 1 м^2 площади фильтра) и производительность фильтра за цикл (количество профильтрованной единицей площади фильтра воды за цикл, $\text{м}^3/\text{м}^2$). С целью определения и сравнения сорбционных свойств изучаемых фильтрующих материалов в каждом из двух вариантов режима работы колонки выполняли полный химический анализ водоисточника, фильтрата на выходе из экспериментальной установки.

4.2. Исследования эффективности применения материала ЭКОФЕРОКС при контактном фильтровании воды

На первом этапе исследований фильтровальную колонку загрузили тремя слоями отмытой и отсортированной загрузки – песком, дробленным антрацитом и материалом ЭКОФЕРОКС по 0,6м высоты каждого слоя. Далее фильтр заполнили водой, выдержали загрузку в замоченном виде в течение 2-х суток, после чего произвели промывку загрузки обратным током воды (снизу вверх) с интенсивностью, обеспечивающей 50%-ное расширение всего слоя фильтровальных материалов. По окончании промывки, как и предполагалось, произошло взаимное перемешивание двух верхних слоев – антрацита и ЭКОФЕРОКС, однако перемешивания кварцевого песка с остальными материалами на границе слоя не происходило, что свидетельствует о правильно выбранном соотношении фракций песка и антрацита. Интенсивность промывки, обеспечивающей 50%-ное расширение всего слоя загрузки составила $14,6\text{ л/с м}^2$ (измерение интенсивности производили объемным методом при помощи мерного литрового цилиндра). При этом каждый из слоев – кварцевый и смешанный (антрацит+ЭКОФЕРОКС) – также расширяется на 50%.

Далее определяли оптимальные дозы коагулянта, обеспечивающие нормативные показатели фильтруемости воды по взвешенным веществам на выходе из фильтра. Дозирование коагулянта (сернокислого алюминия) осуществляли по двум вариантам: первый – коагулянт подавали отдельно в распределительную систему коагулянта, смонтированную над поверхностью загрузки и второй – исходную воду с добавленным коагулянтом подавали в распределительную систему подачи воды, также располагаемую над загрузкой. Результаты определений оптимальной дозы $Al_2(SO_4)_3$ по первому варианту дозирования представлены в табл.4.1. Как следует из данных таблицы 4.1 первый вариант дозирования малоэффективен, поскольку требует значительных расходов реагента (оптимальная доза составляет 30-35 мг/л сернокислого алюминия). Результаты определений оптимальной дозы коагулянта по второму варианту представлены в таблице 4.2 из которой видно, что в этом случае доза реагента составляет не более 8 мг/л. Таким образом, окончательно, при всех последующих исследованиях нами был принят вариант дозирования коагулянта (сернокислого алюминия или оксихлорида) непосредственно в трубопровод сырой воды перед фильтром с последующей подачей смеси воды с реагентом в распределительную систему, смонтированную непосредственно над фильтрующим слоем (на высоте 15 см от загрузки). С целью окончательного уточнения оптимальной дозы сернокислого алюминия было отработано два фильтроцикла по 10 часов каждый и при дозах коагулянта 7 и 5 мг/л (прилож., табл.1) в результате чего, окончательно, была определена доза $Al_2(SO_4)_3$ в 5 мг/л, обеспечивающая стабильное качество фильтрата в пределах до 0,5 мг/л по мутности. Аналогично была установлена оптимальная доза оксихлорида алюминия, которая составила 1,25 мг/л (по Al_2O_3), (прилож., табл.2).

Таблица 4.1

Определение оптимальной дозы сернокислого алюминия при
первом варианте дозирования

Дата	Время отбора проб	Скорость фильтрации V_f , м/ч	Расход фильтрата Q_f , м ³ /ч	Расход коагулянта q_k , мл/мин	Доза коагулянта D_k , мг/л	Крепость дозируемого раствора, C_3 , %	$M_{исх}$, мг/л	$M_{вых}$, мг/л	Время включения, час	Время выключения, час	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
14.02	15.30 17.00	15 15	0,2655 0,2655	- 28	- 7,6	- 0,12	4,88 7,00	3,36 1,74	15.00	17.15	Коагулянт $Al_2(SO_4)_3$
15.02	11.30 12.10 13.10	15 15 15	0,2655 0,2655 0,2655	28 56 28	32 64 57,4	0,5 0,5 0,9	5,66 5,66 5,66	1,45 0,12 0,29	11.00	13.30	
20.02	11.30 12.00	15 15	0,2655 0,2655	28 28	32 32	0,5 0,5	5,22 5,22	0,87 0,46	11.00	13.00	

Таблица 4.2

Определение оптимальной дозы сернокислого алюминия
при втором варианте дозирования

Дата	Время отбора проб	Скорость фильтрации V_f , м/ч	Расход фильтрата Q_f , м ³ /ч	Расход коагулянта q_k , мл/мин	Доза коагулянта D_k , мг/л	Крепость дозируемого раствора, C_3 , %	$M_{исх}$, мг/л	$M_{вых}$, мг/л	Время включения, час	Время выключения, час	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
20.02	14.20 15.00 15.30	15 15 15	0,2655 0,2655 0,2655	28 28 28	32 16 8	0,5 0,25 0,25	5,88 5,88 5,88	0,29 0,4 0,4	13.00	15.40	Коагулянт $Al_2(SO_4)_3$

Следующий этап исследований ставил своей задачей определение основных технологических показателей и фильтровальных характеристик изучаемой загрузки – времени защитного действия фильтрующего слоя (продолжительности фильтроцикла), динамики прироста потерь напора в загрузке, кинетики задержания взвеси в фильтрующем слое, грязеемкости загрузки,

производительности фильтра за цикл и др. Основные результаты указанных исследований представлены в табл.3-6 приложения.

Второй этап исследований заключался в определении фильтровальных характеристик для двухслойной загрузки, состоящей из кварцевого песка высотой слоя 0,8м и материала ЭКОФЕРОКС высотой 1,2м. Оптимальные дозы коагулянта в этом варианте были определены равными 5 и 1,5 мг/л соответственно для сернокислого алюминия и оксихлорида алюминия. Основные результаты определения технологических показателей работы двухслойного фильтра представлены в таблицах 7-10 приложения.

На основании проведенных исследований фильтровальных характеристик трех- и двухслойной загрузок с применением двух типов коагулянтов возможно сделать следующие выводы:

1. Прирост потерь напора во времени фильтроцикла происходит медленнее на двухслойной загрузке, чем на трехслойной, как это видно из графиков, представленных на рис. 1-4 приложений, и спустя 25 часов работы фильтра составляют (средние по четырем фильтроциклам): для двухслойной загрузки – 1,6 м; для трехслойной – 1,9м. Производительность двухслойного фильтра за цикл в среднем на 10% больше, чем трехслойного.
2. Во всех изучаемых случаях прирост потерь напора происходит более интенсивно при применении коагулянта оксихлорида алюминия, рис. 1-4. Наилучшие показатели по продолжительности фильтроцикла (времени защитного действия загрузки) получены на двухслойной загрузке с коагулянтом сернокислым алюминием, при этом производительность двухслойного фильтра в 1,8 раза больше трехслойного, рис. 2, приложения.
3. Интегральные графики изменения потерь напора по глубине загрузки во времени фильтроцикла, рис.5-12, приложения, построенные по данным пьезометрических измерений (табл.3-10, приложения) показывают, что прирост потерь напора в смешанном слое антрацита и ЭКОФЕРОКС происходит интенсивней, чем в слое материала ЭКОФЕРОКС (без антрацита) и что указывает на то, что материал ЭКОФЕРОКС по своим

фильтровальным характеристикам более технологичен в сравнении с дробленным антрацитом.

4. Диаграммы изменения мутности по высоте фильтрующих слоев (рис.13-20, приложения) показывают, что процесс задержания загрязнений в толще загрузки протекает быстрее на материале ЭКОФЕРОКС в сравнении со смешанной загрузкой. Интенсивность прилипания примесей по глубине фильтрующего слоя трех- и двухслойной загрузки представлена в виде графиков динамики изменения мутности по высоте фильтрующих материалов, рис.21 и 22 приложения. Грязеемкости (средние по четырем фильтроциклам) составляют: для материала ЭКОФЕРОКС – $3,8 \text{ кг/м}^3$, для смешанного слоя ЭКОФЕРОКС и антрацита – $2,3 \text{ кг/м}^2$. Относительно невысокие грязеемкости загрузок (хотя и большие в 1,5 раза в сравнении с кварцевым песком) объясняются весьма низкой мутностью поступающей на фильтры воды. Тем не менее производительность фильтра за цикл составляет в среднем $380\text{-}400 \text{ м}^3/\text{м}^2$, что в 3-5 раз выше в сравнении с песчаными фильтрами.
5. Наилучшие показатели по качеству очищаемой воды были получены на материале ЭКОФЕРОКС с применением в качестве коагулянта оксихлорида алюминия. Особо следует отметить сорбционные свойства материала ЭКОФЕРОКС. Так, снижение жесткости составило 18%; кальция – 28%; натрия – 20%; хлоридов – 24%; сульфатов – 28%; сухого остатка – 28% (на 240 мг/л). Указанное обстоятельство делает весьма перспективным применение сорбционно-фильтровального материала ЭКОФЕРОКС в технологических схемах подготовки воды для хозяйственно-питьевых и иных целей.

Заключение

В результате проведенных исследований физико-химических, сорбционных и фильтровальных свойств материала ЭКОФЕРОКС установлена его эффективность и преимущество в отношении традиционных фильтрующих

материалов (кварцевого песка, дробленого антрацита, керамзита и др.).

Основными достоинствами исследуемого материала являются:

- высокая механическая прочность, на порядок превышающая показатели по истираемости и измельчаемости, антрацитовый, керамзитовый и некоторых других загрузок;
- увеличение продолжительности фильтроцикла в 3 раза при вдвое большей по сравнению с традиционными технологиями производительностью;
- снижение в 2,5-3 раза расхода воды на собственные нужды (промывку фильтров) и, соответственно, потребления электроэнергии на питание насосных агрегатов;
- снижение доз коагулянта до 8-10 раз в сравнении с традиционными технологиями;
- уменьшение общего солесодержания (сухого остатка) очищаемой воды на 25%.

ПРИЛОЖЕНИЕ

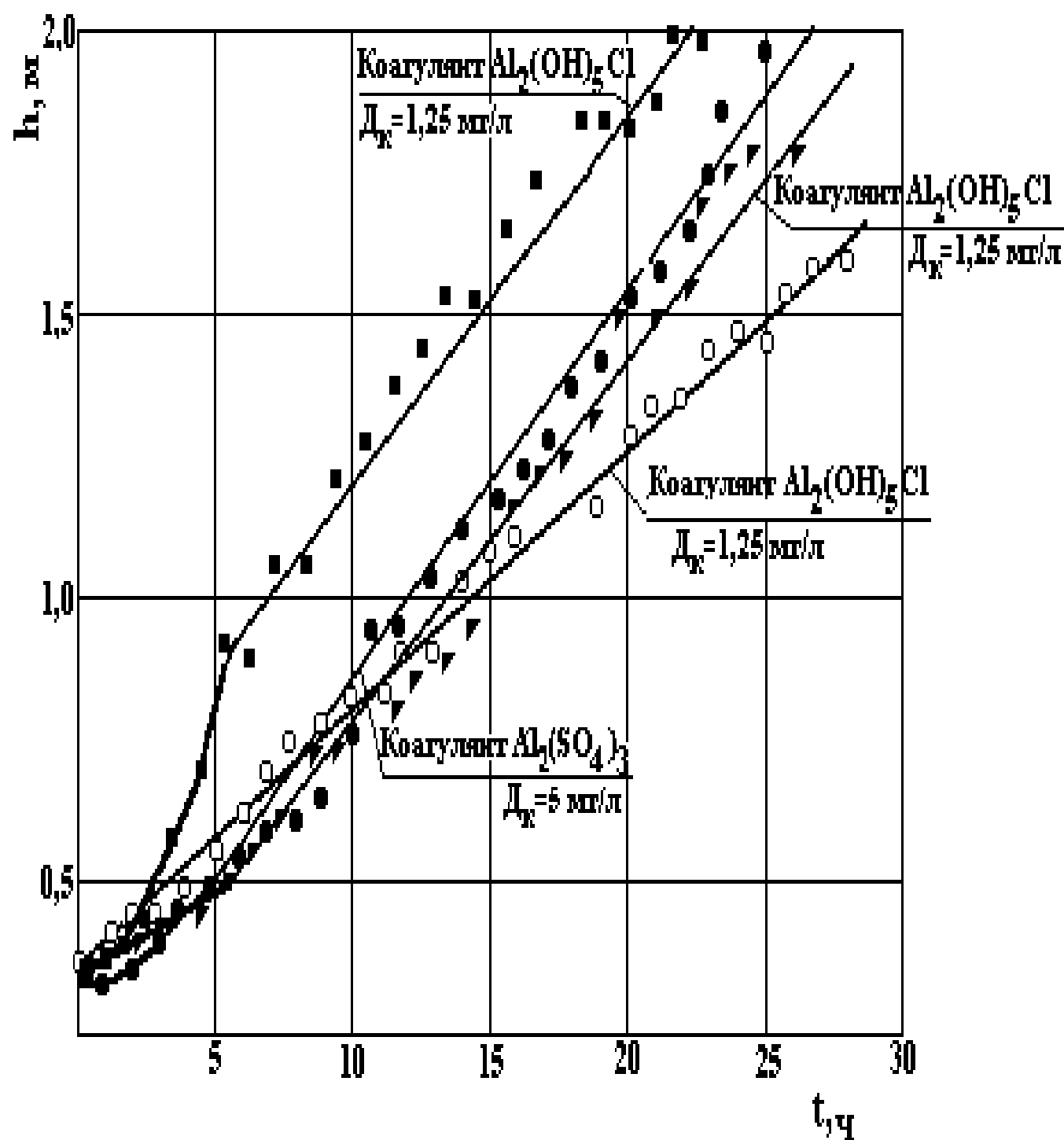


Рис. 1 Графики прироста потерь напора на трехслойной загрузке

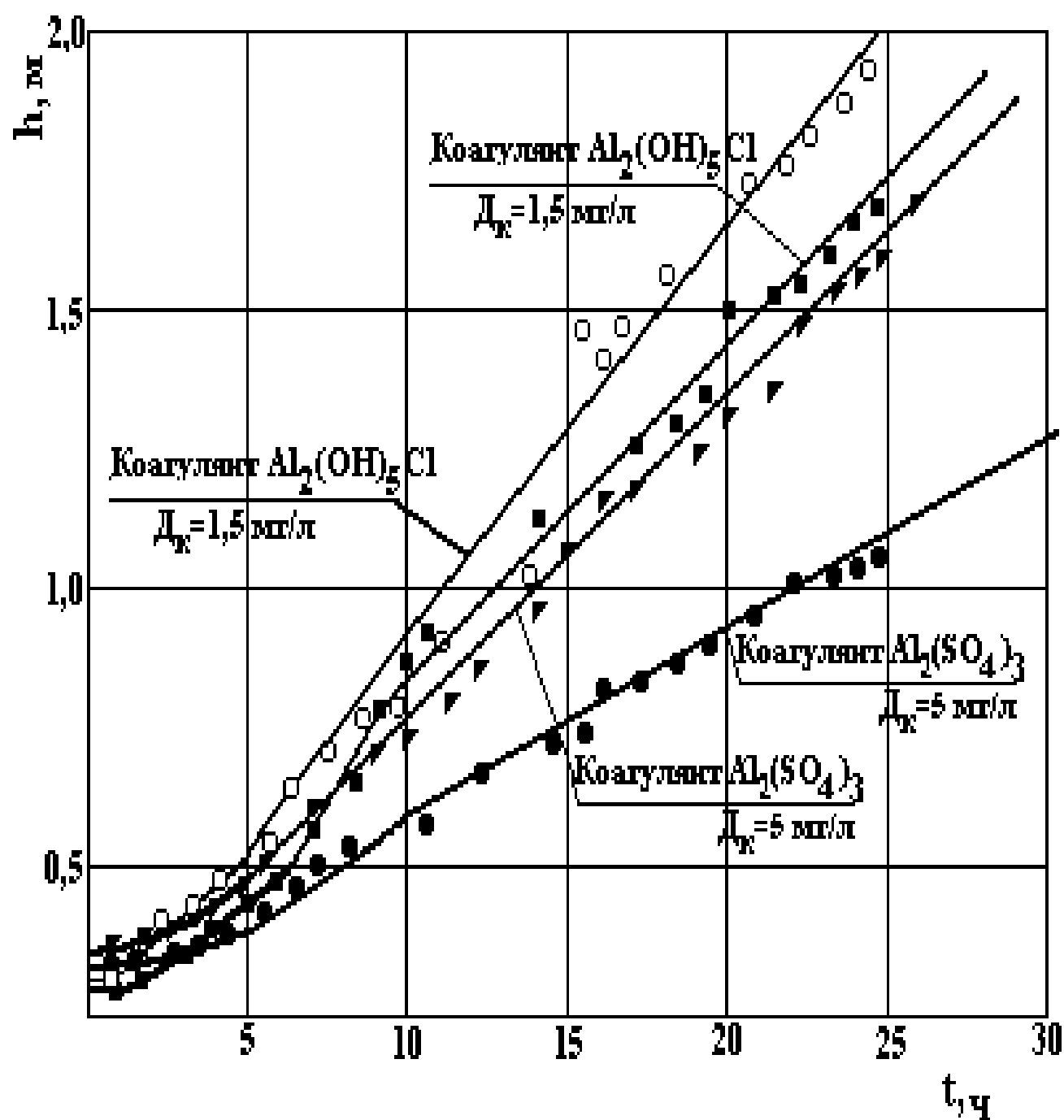


Рис. 2 Графики прироста потерь напора на двухслойной загрузке

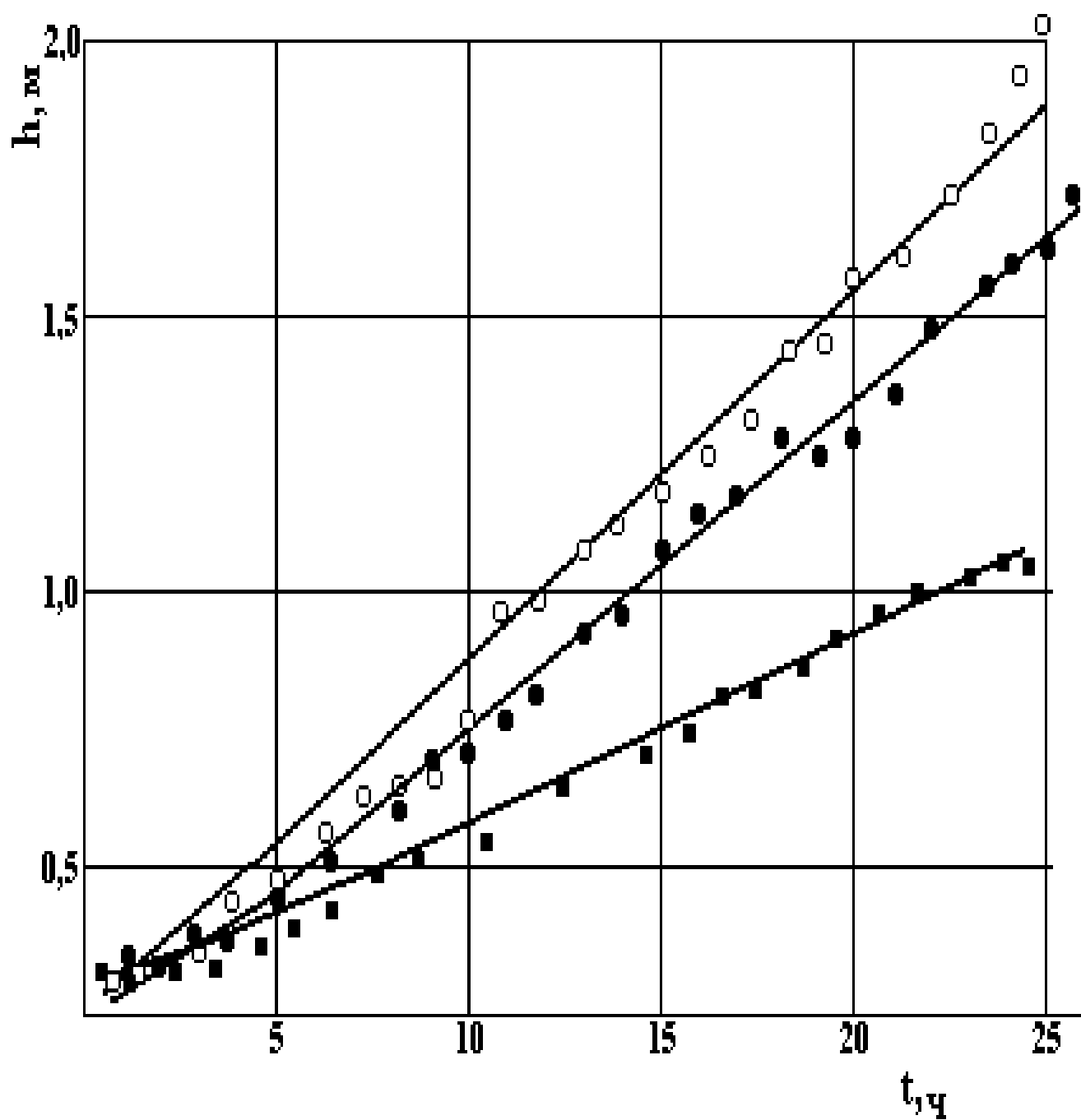


Рис. 3 Графики прироста потерь напора с использованием коагулянта сернокислого алюминия

□ загрузка трехслойная;
 ●, ■ загрузка двухслойная

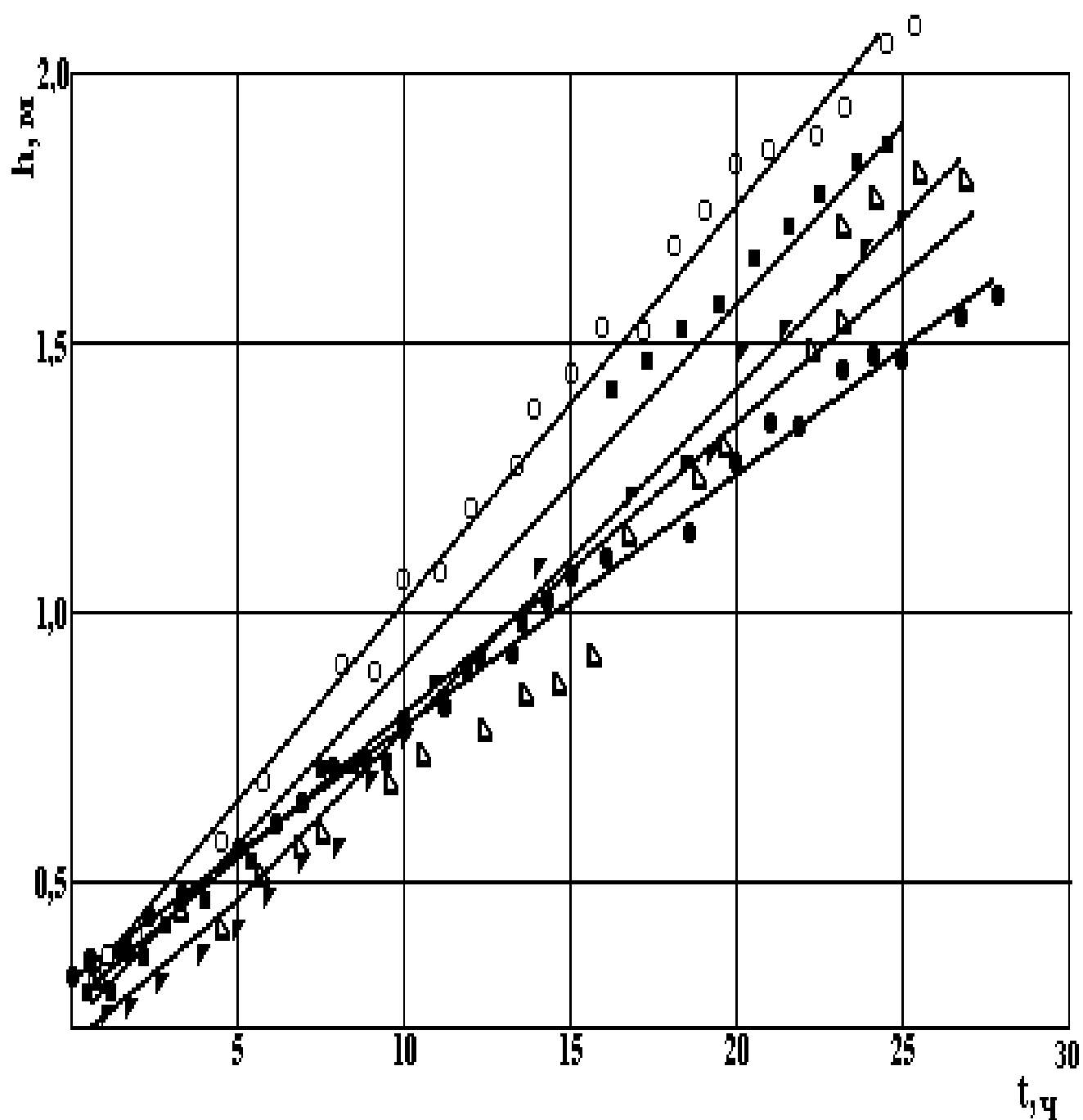


Рис. 4 Графики прироста потерь напора с использованием коагулянта оксихлорида алюминия

□, ●, △ загрузка трехслойная,
 ▴, ■ загрузка двухслойная

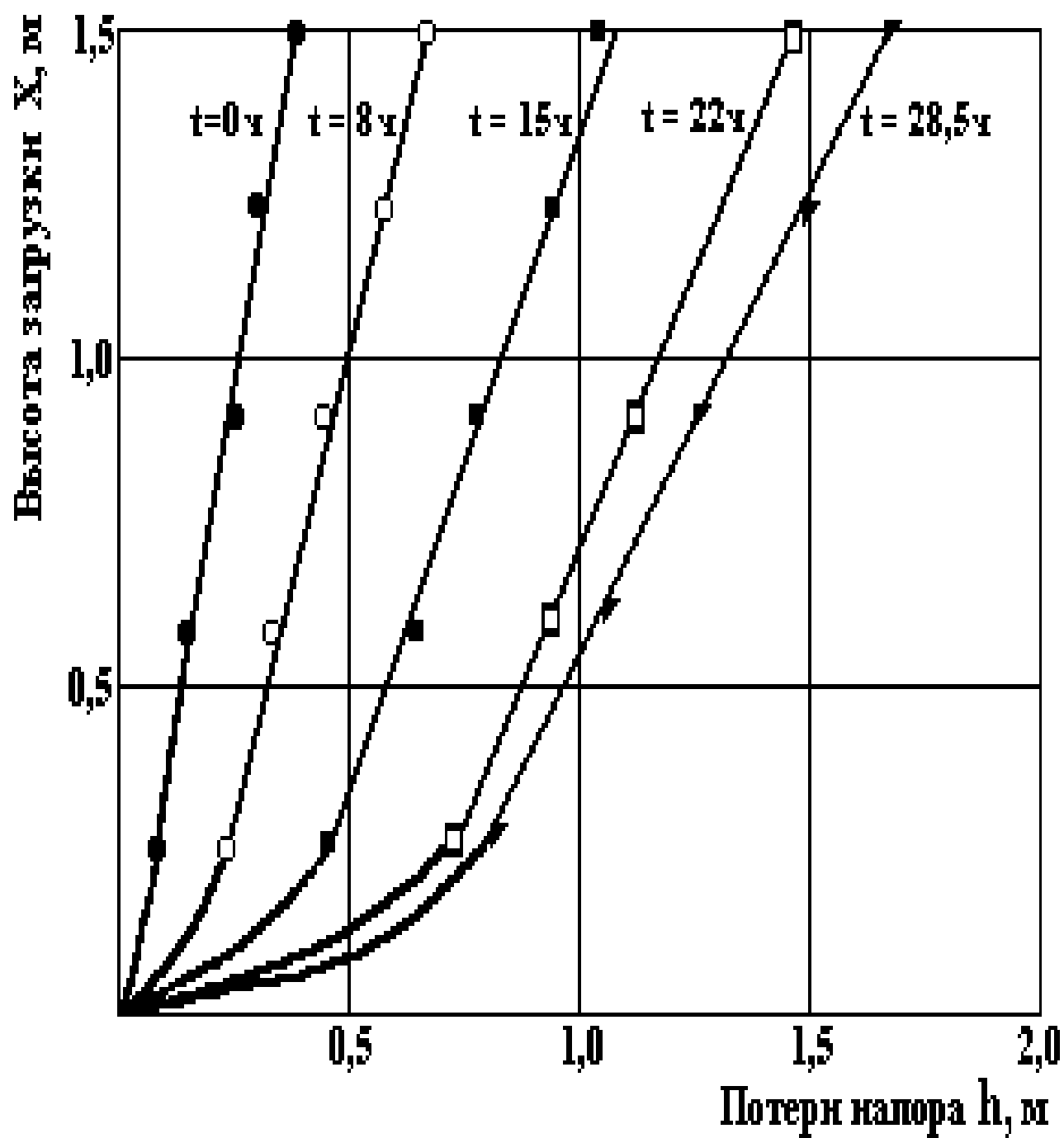


Рис. 5 Интегральные графики изменения потери напора во времени по высоте фильтрующего слоя.

Загрузка – трехслойная, коагулянт оксихлорид алюминия (к табл.№3)

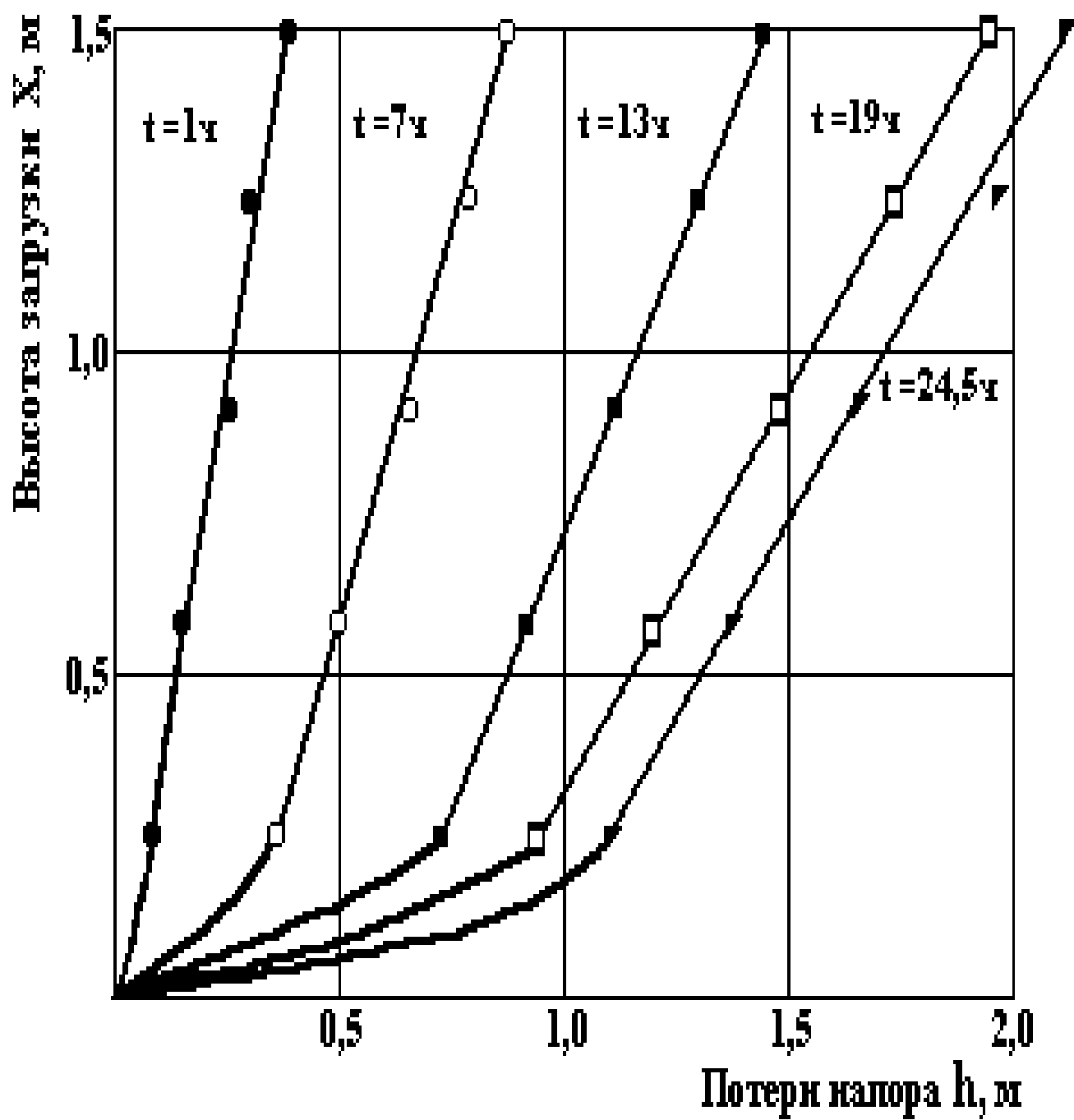


Рис. 6 Интегральные графики изменения потери напора во времени по высоте фильтрующего слоя.

Загрузка – трехслойная, коагулянт оксихлорид алюминия (к табл.№4)

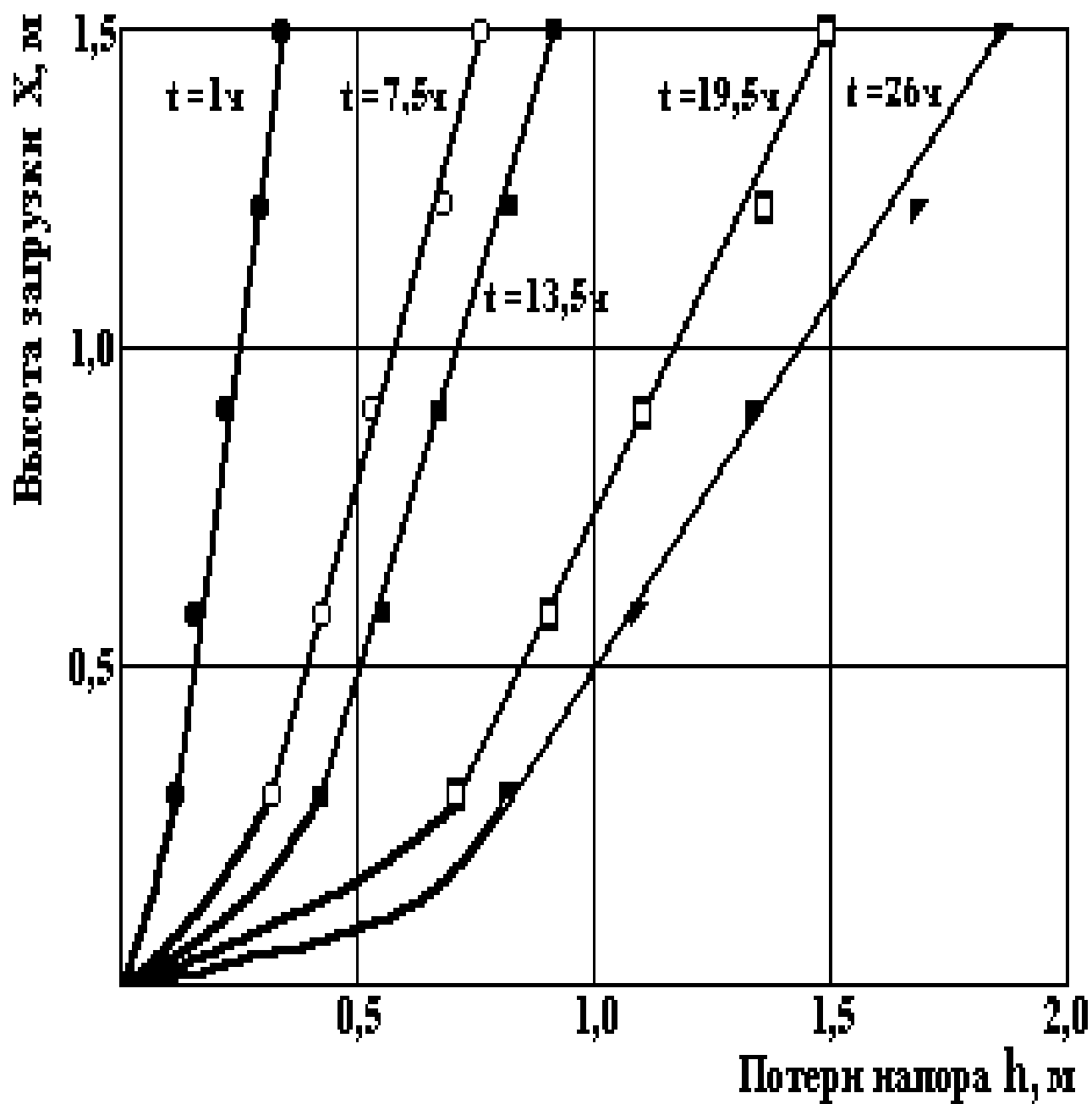


Рис. 7 Интегральные графики изменения потери напора во времени по высоте фильтрующего слоя.

Загрузка – трехслойная, коагулянт оксихлорид алюминия (к табл.№5)

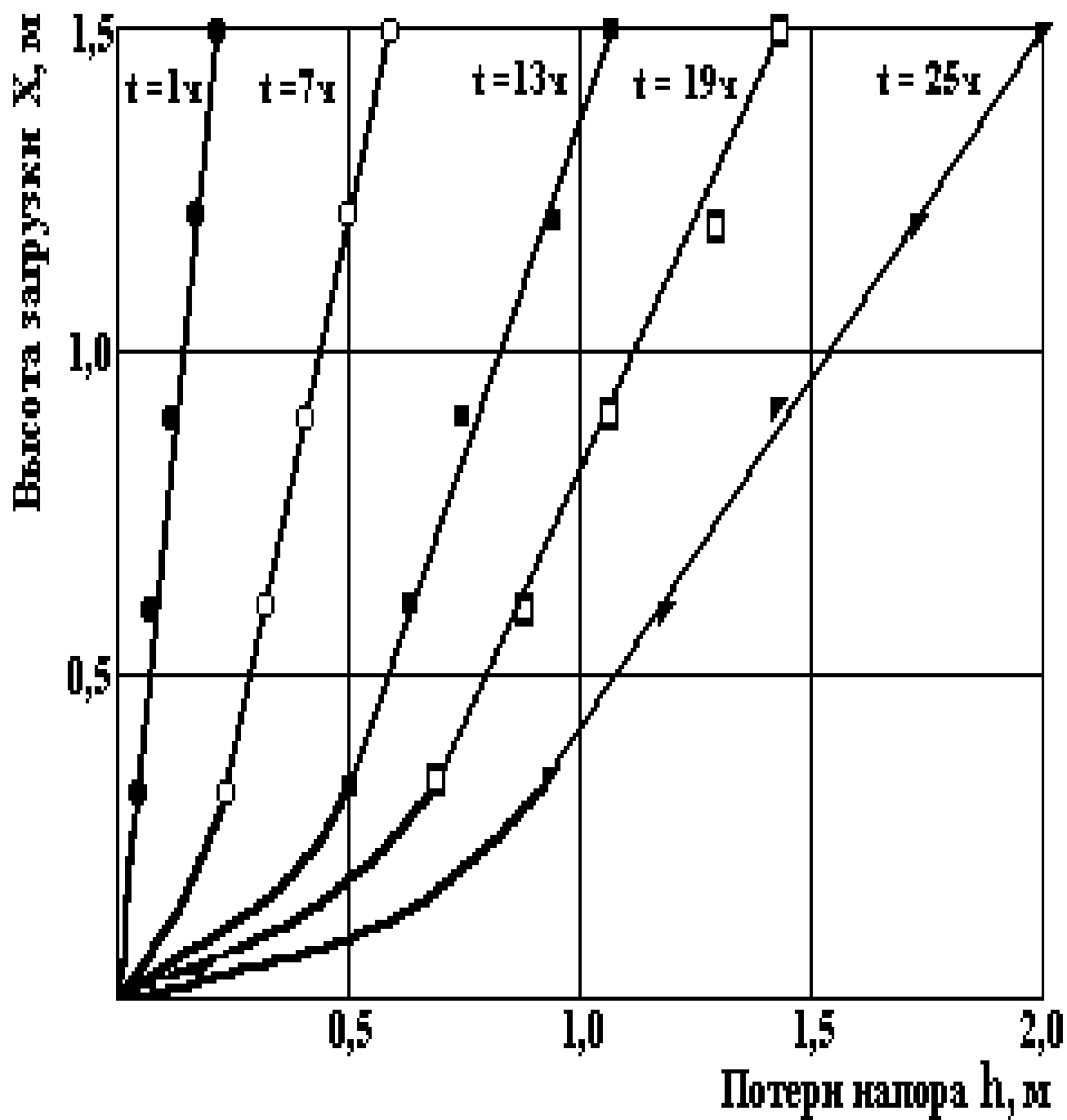


Рис. 8 Интегральные графики изменения потери напора во времени по высоте фильтрующего слоя.

Загрузка – трехслойная, коагулянт сернокислый алюминий (к табл.№6)

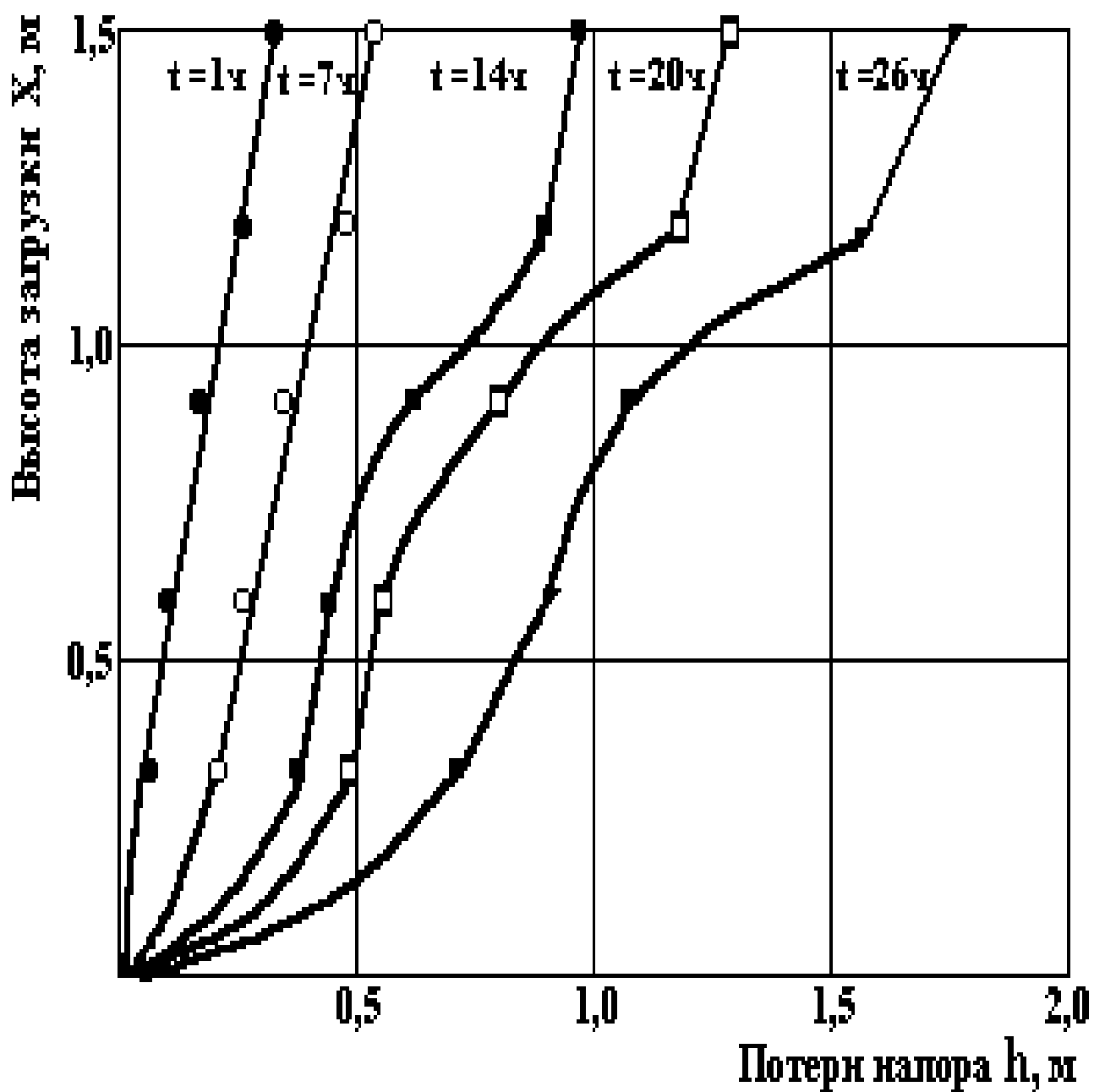


Рис. 9 Интегральные графики изменения потери напора во времени по высоте фильтрующего слоя.

Загрузка – двухслойная, коагулянт сернокислый алюминий (к табл. №7)

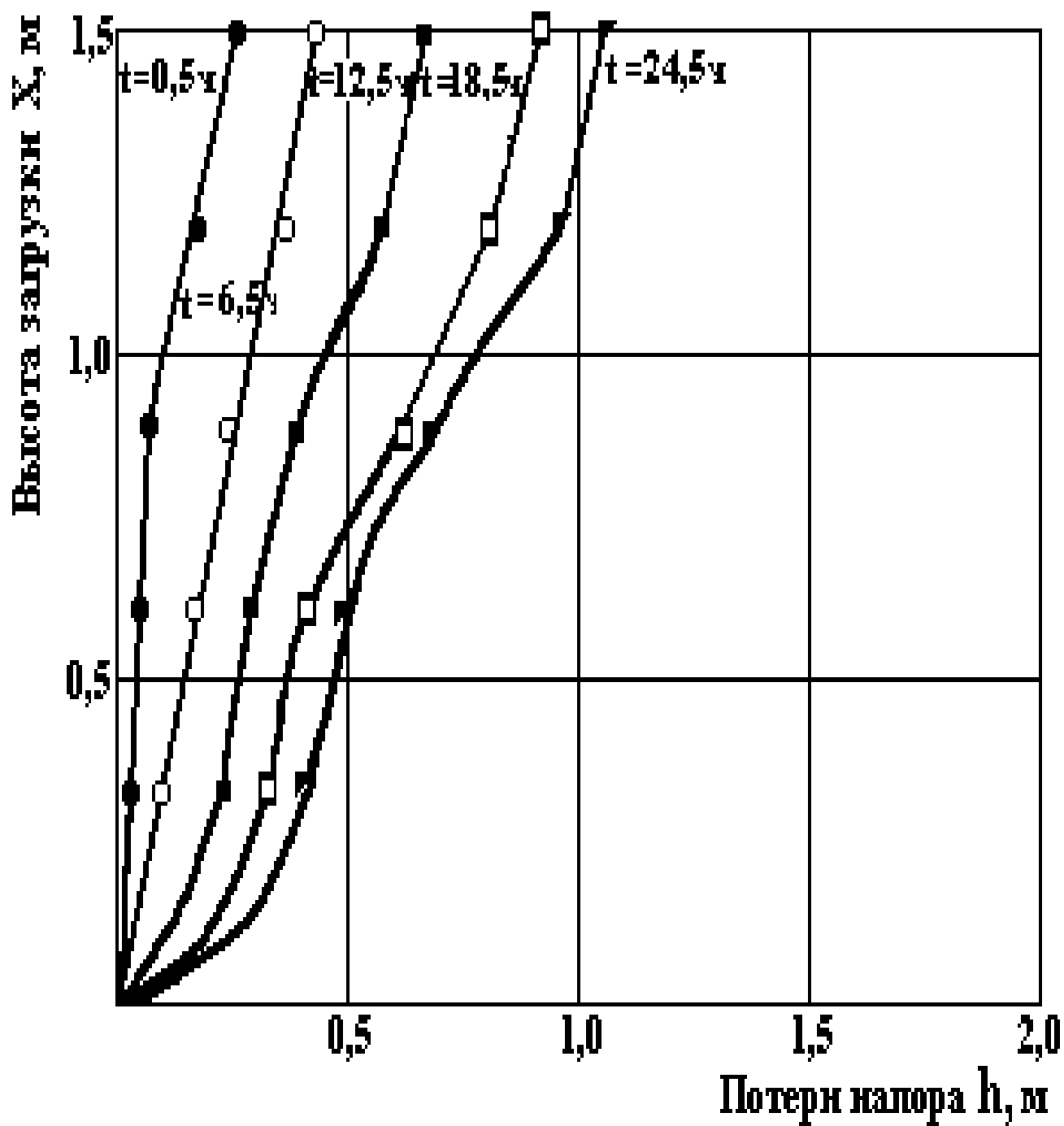


Рис. 10 Интегральные графики изменения потери напора во времени по высоте фильтрующего слоя.

Загрузка – двухслойная, коагулянт сернокислый алюминий (к табл. №8)

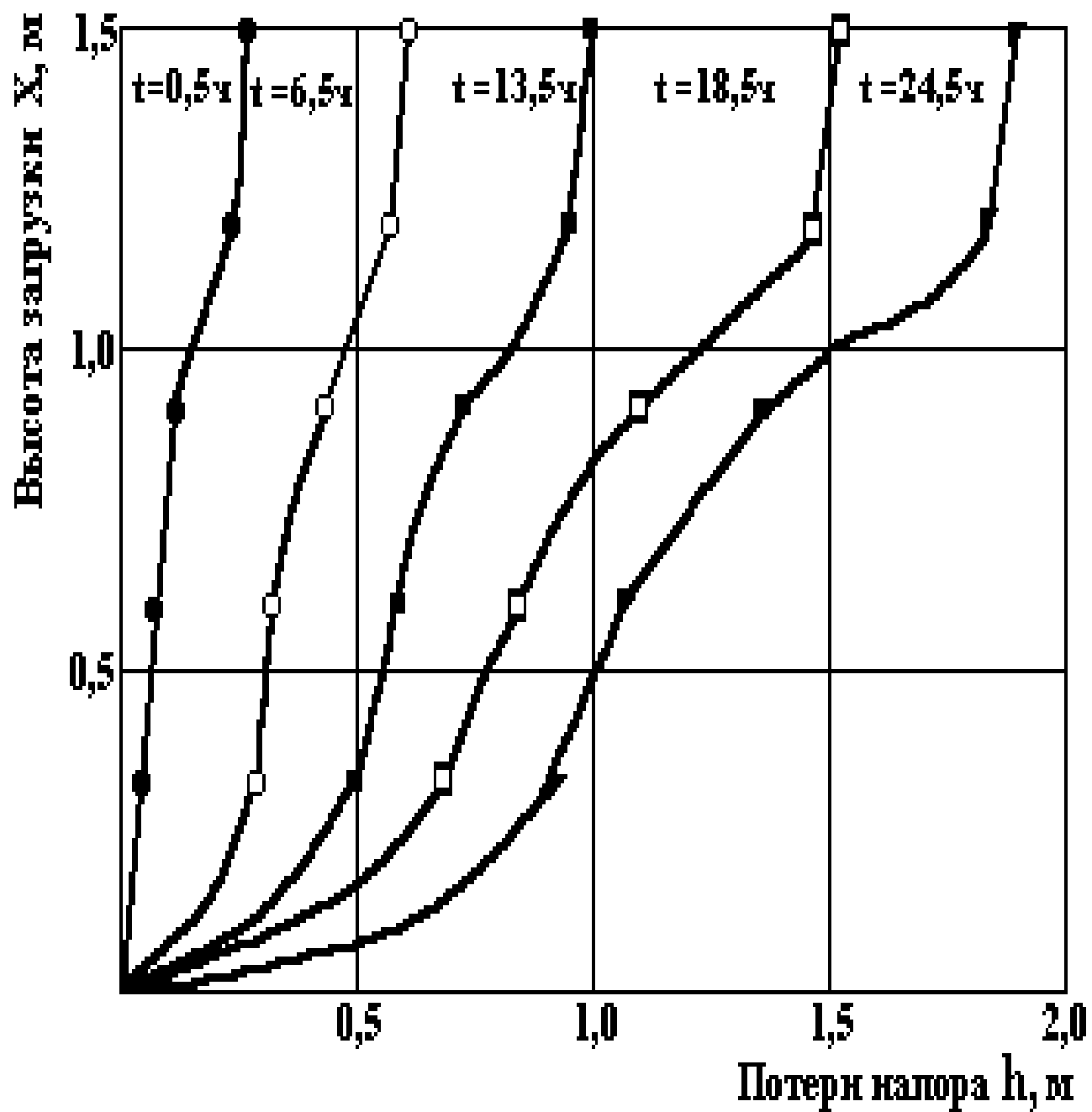


Рис. 11 Интегральные графики изменения потери напора во времени по высоте фильтрующего слоя.

Загрузка – двухслойная, коагулянт оксихлорид алюминия (к табл. №9)

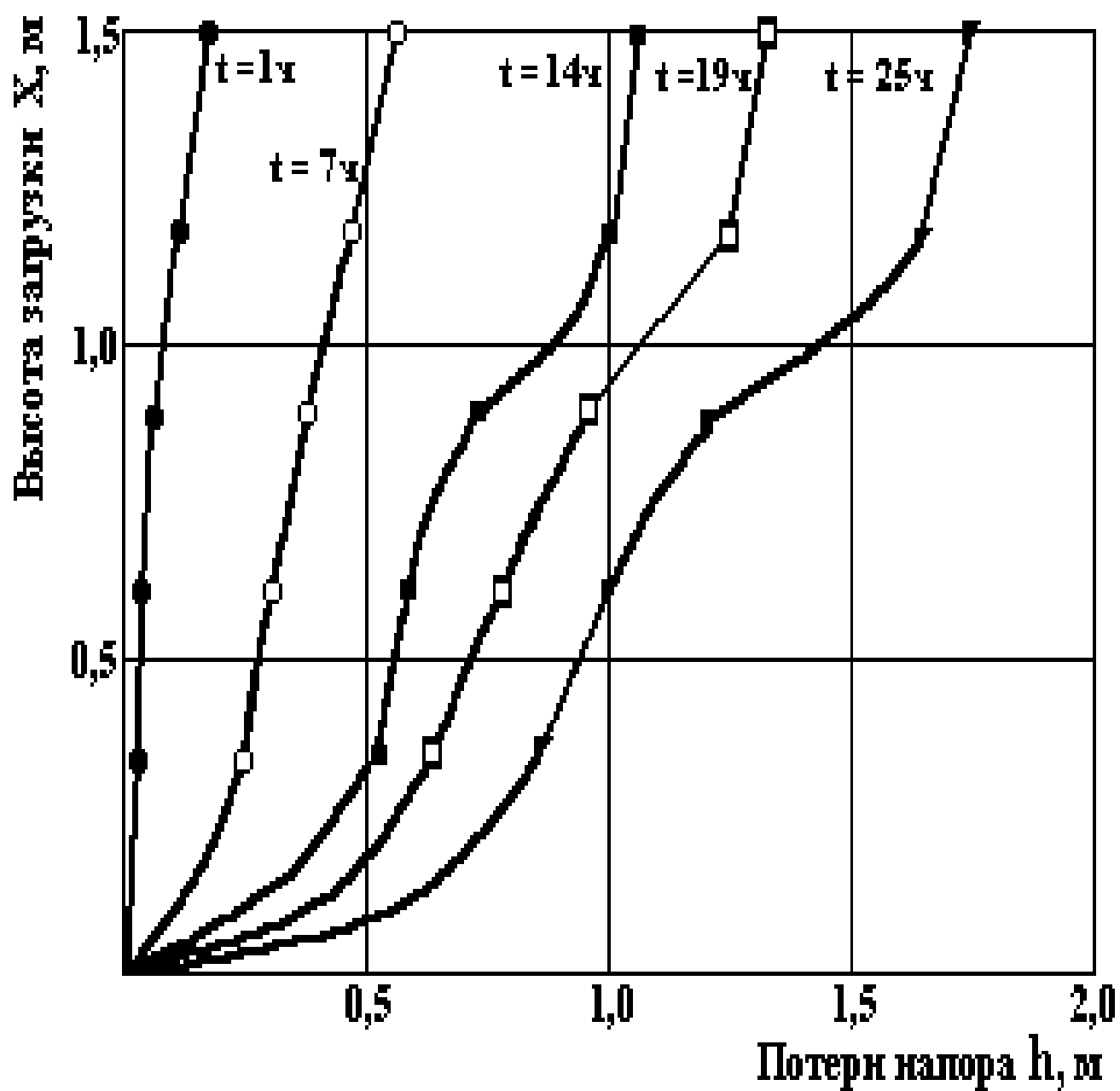


Рис. 12 Интегральные графики изменения потери напора во времени по высоте фильтрующего слоя.

Загрузка – двухслойная, коагулянт оксихлорид алюминия (к табл. № 10)

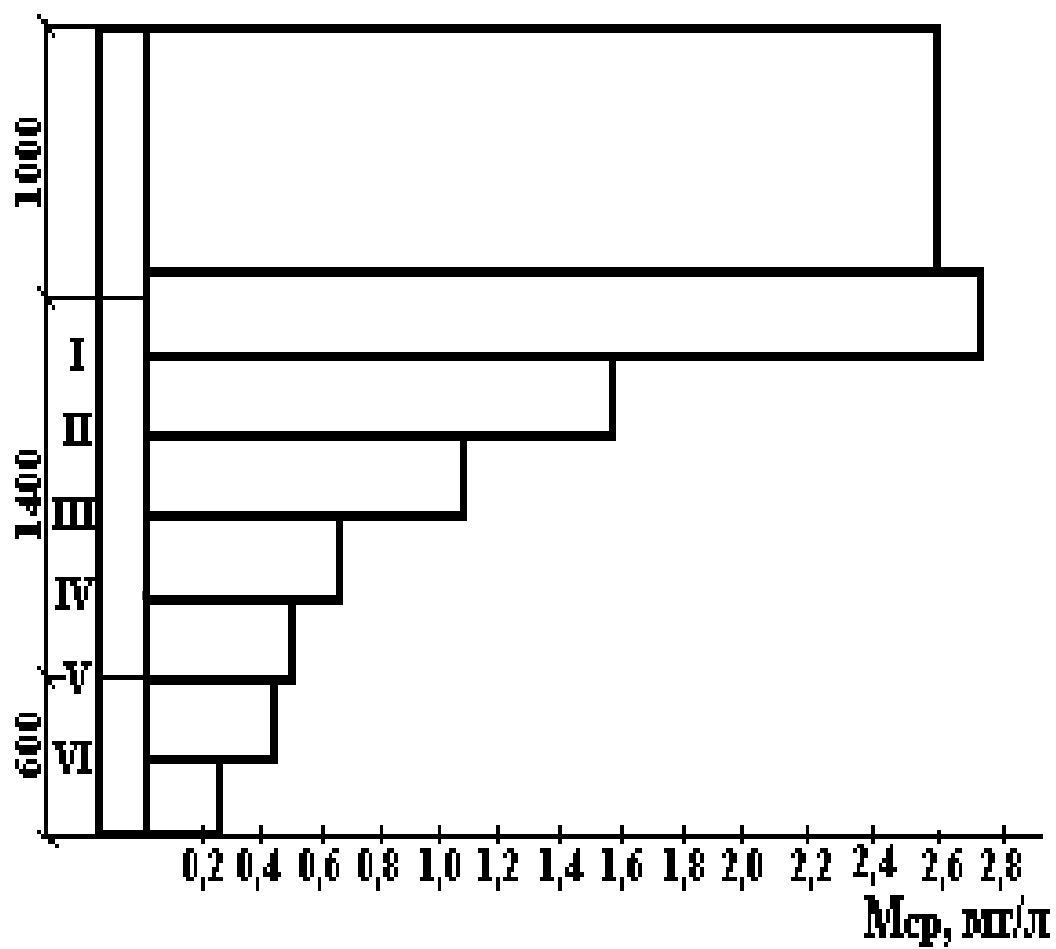


Рис. 13 Диаграмма изменения мутности по высоте загрузки.

Загрузка трехслойная, коагулянт – оксихлорид алюминия

$D_k = 1,25$ мг/л (к табл. № 3)

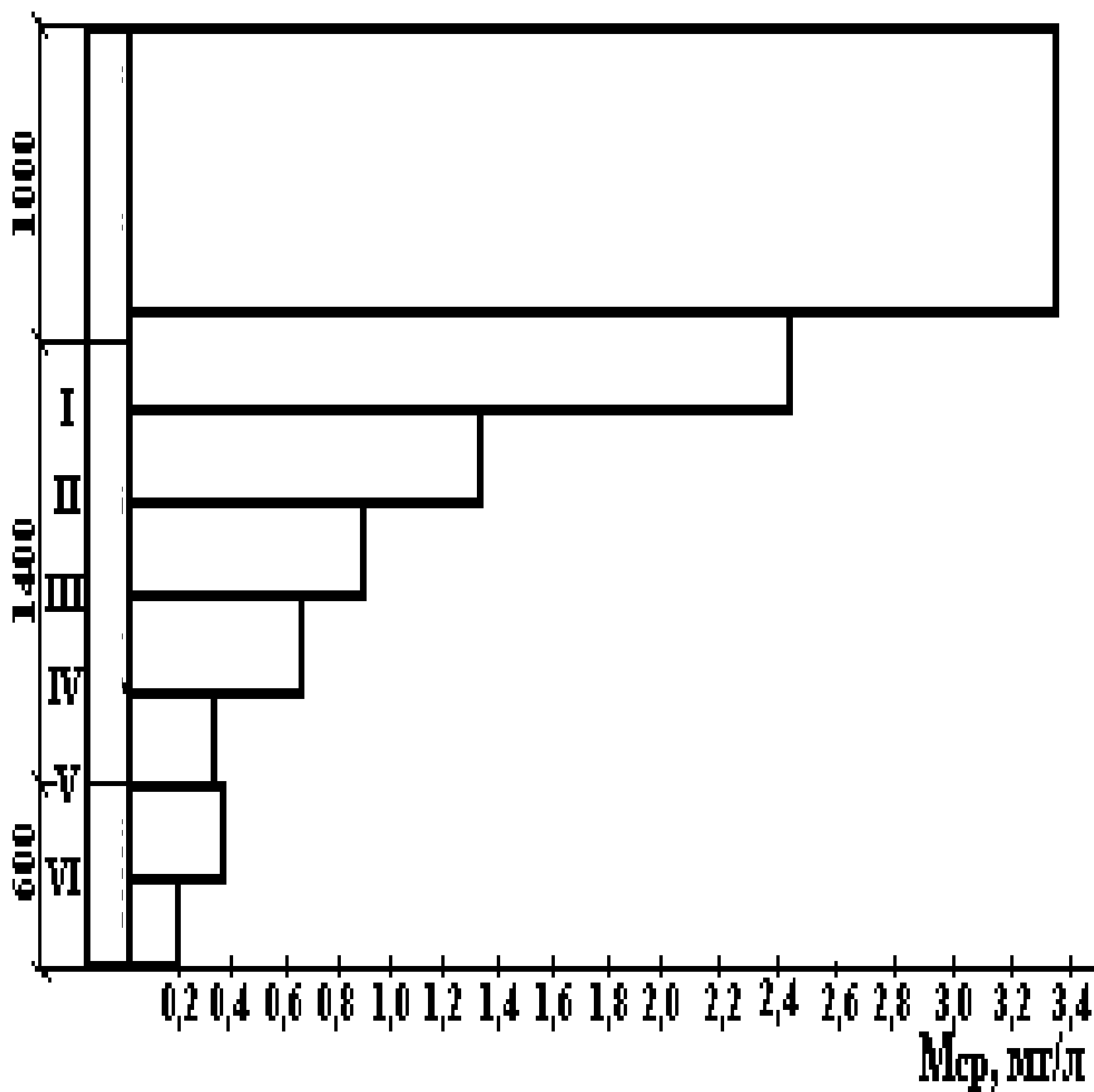


Рис. 14 Диаграмма изменения мутности по высоте загрузки.

Загрузка трехслойная, коагулянт – оксихлорид алюминия

$D_k = 1,25$ мг/л (к табл. № 4)

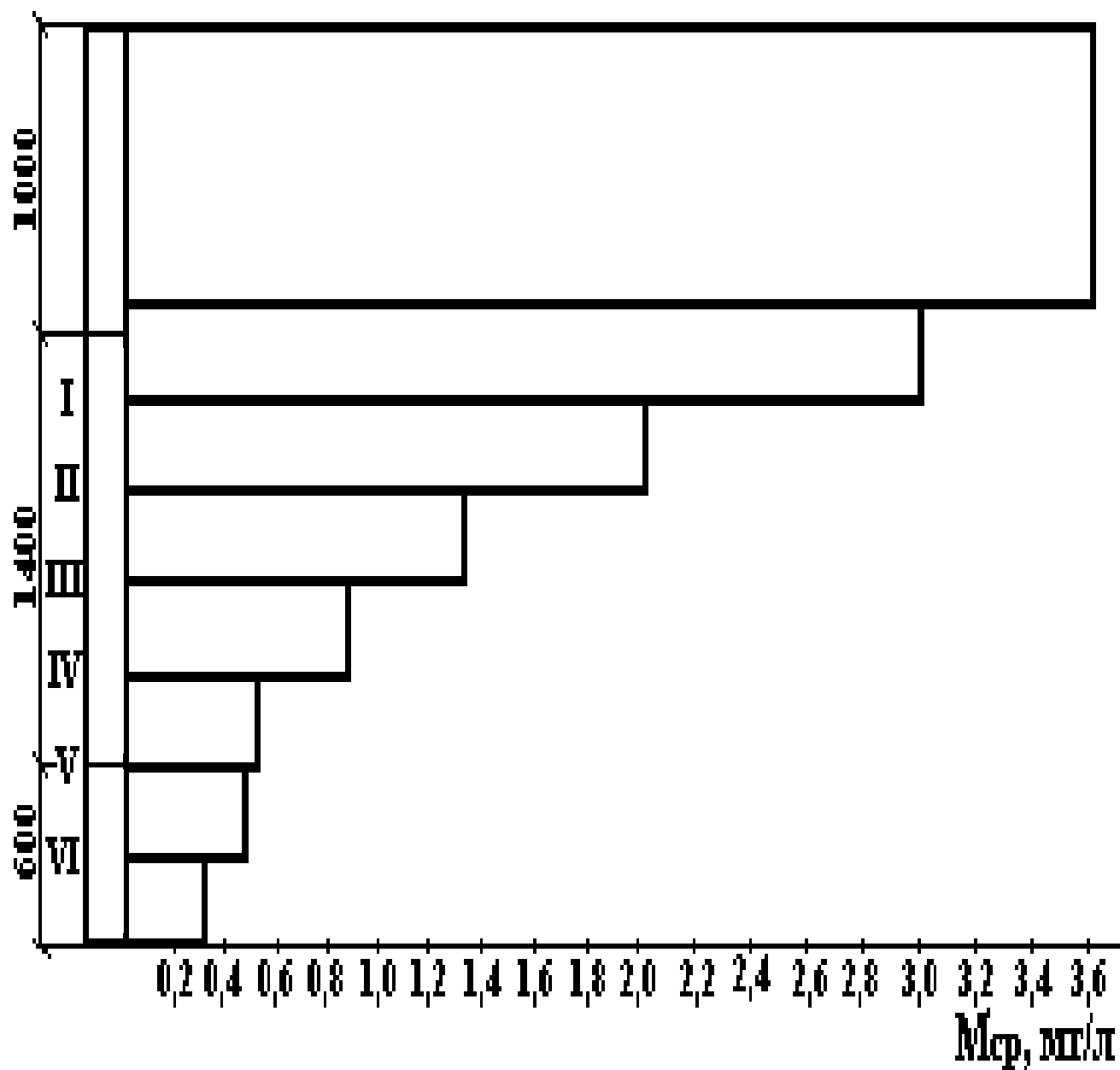


Рис. 15 Диаграмма изменения мутности по высоте загрузки.

Загрузка трехслойная, коагулянт – оксихлорид алюминия

$D_k = 1,25$ мг/л (к табл. № 5)

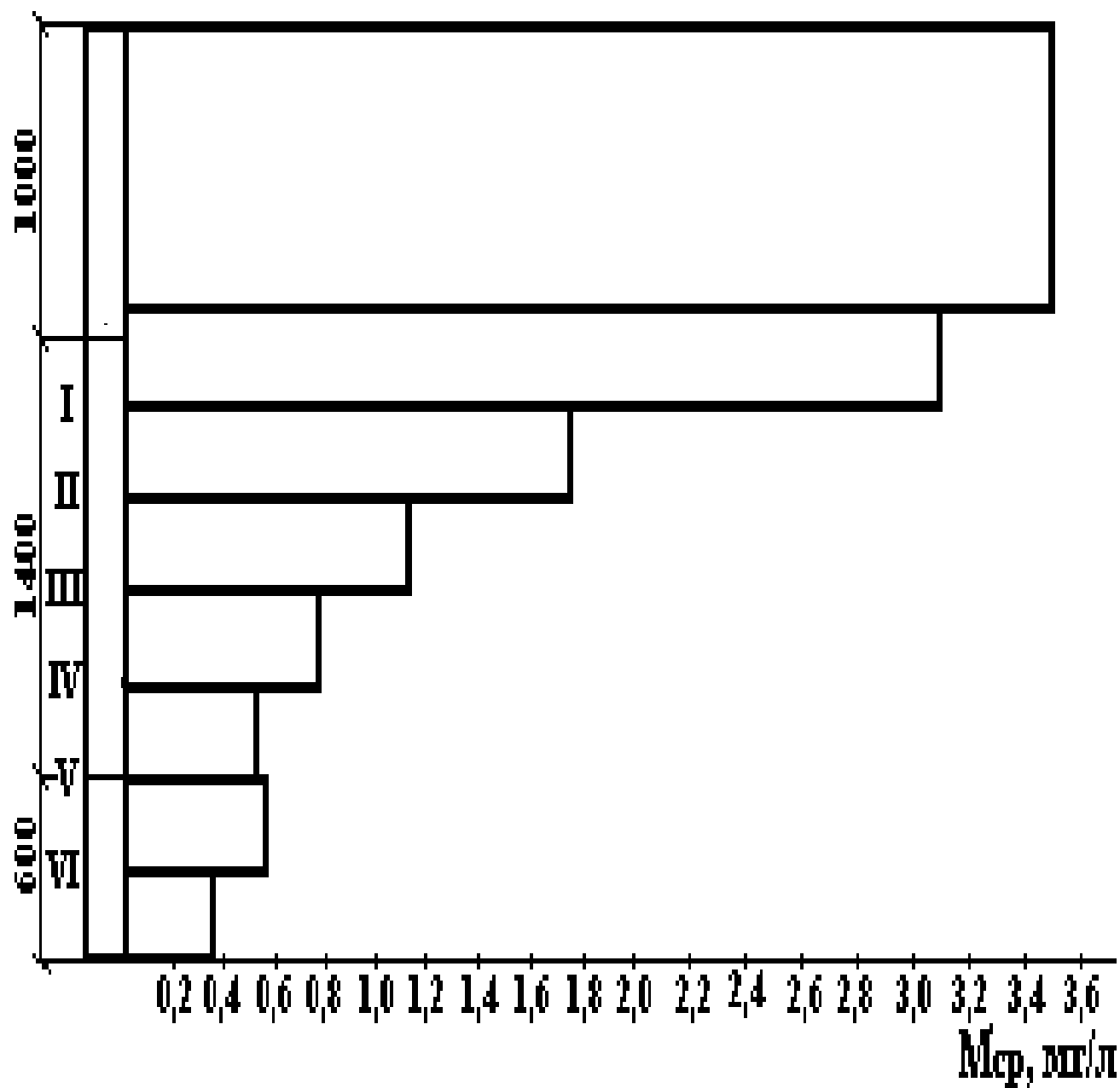


Рис. 16 Диаграмма изменения мутности по высоте загрузки.

Загрузка трехслойная, коагулянт – оксихлорид алюминия

$D_k = 5$ мг/л (к табл. № 6)

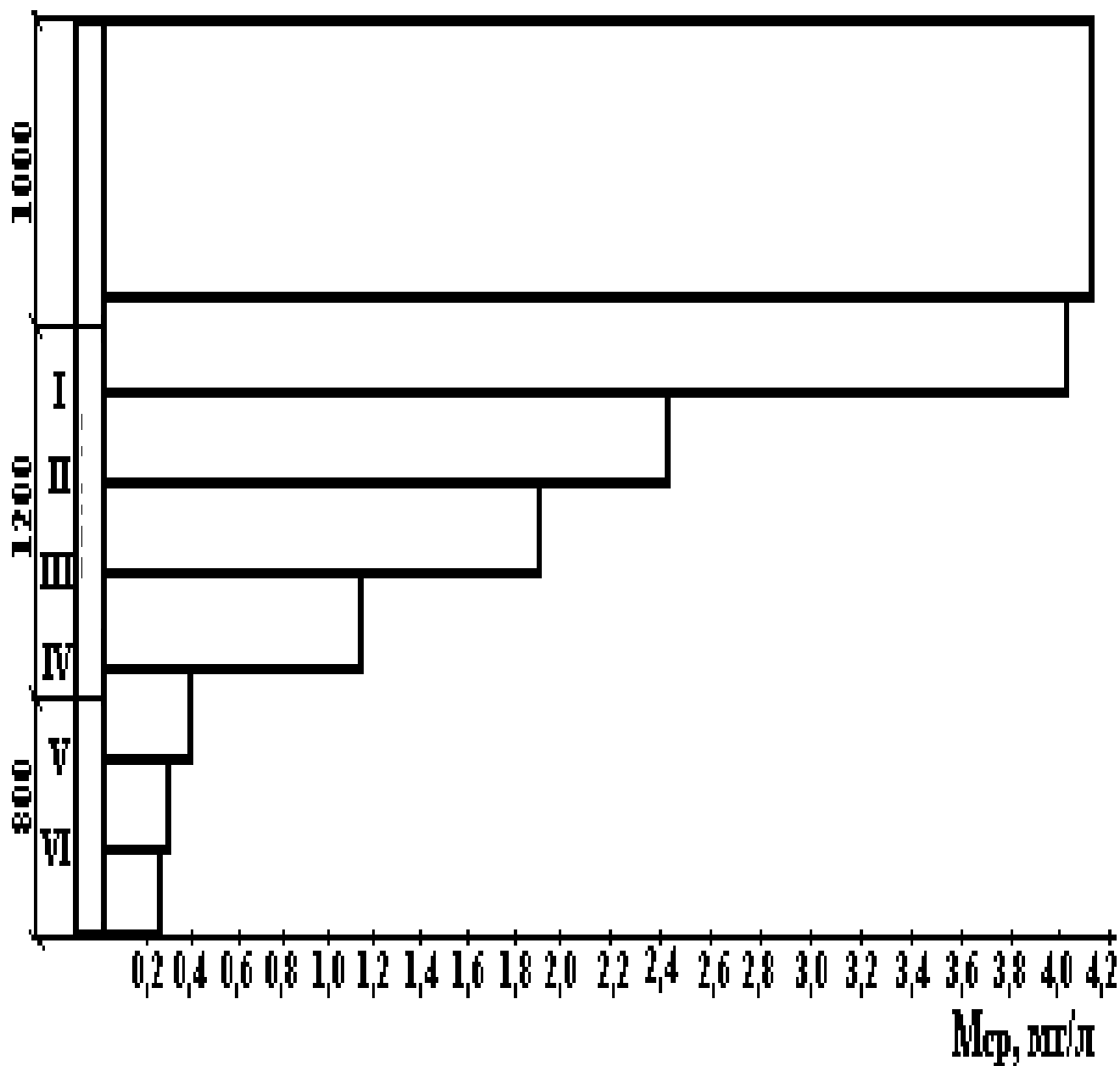


Рис. 17 Диаграмма изменения мутности по высоте загрузки.

Загрузка двухслойная, коагулянт – сернокислый алюминий

$D_k = 5$ мг/л (к табл. № 7)

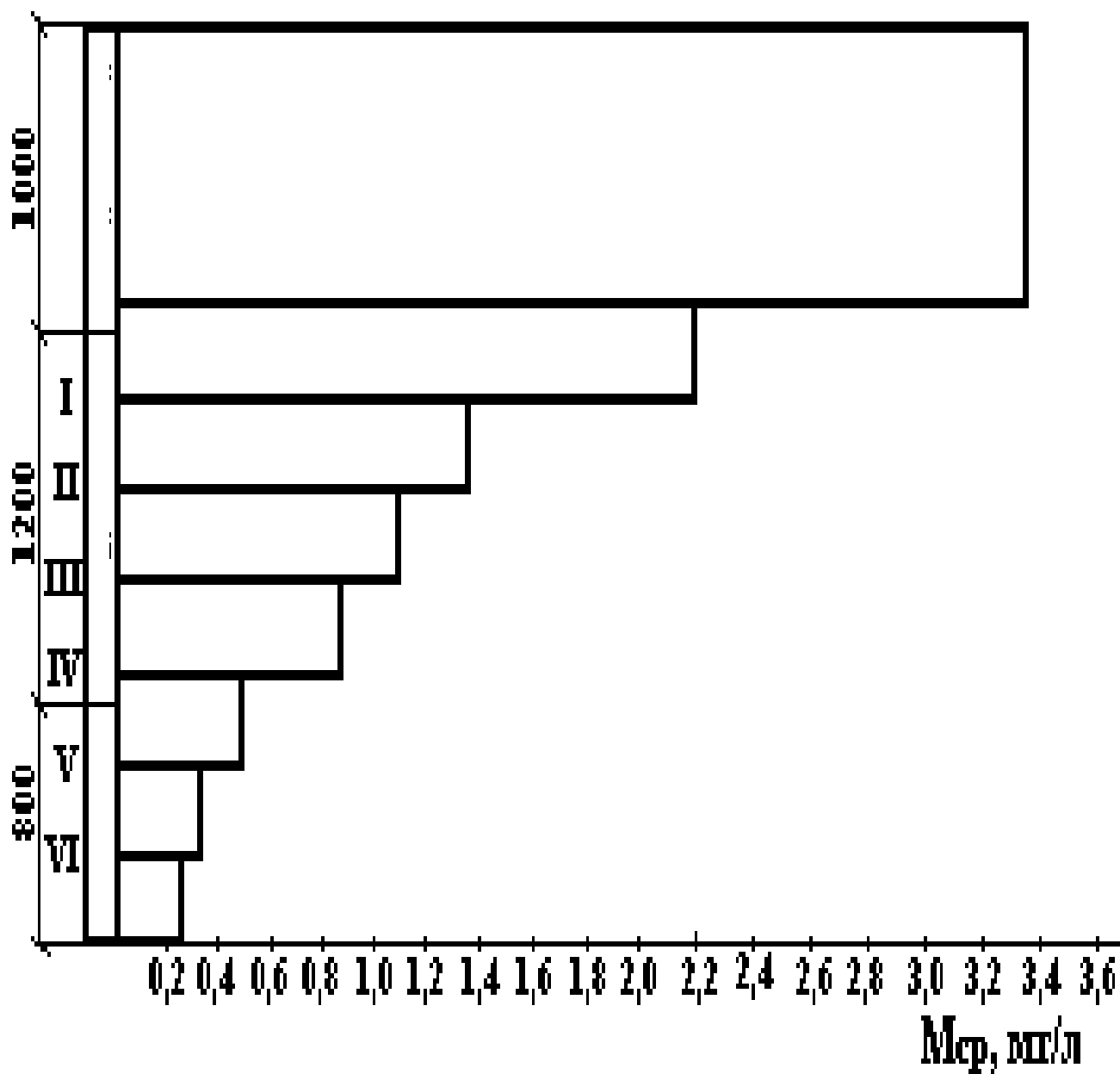


Рис. 18 Диаграмма изменения мутности по высоте загрузки.

Загрузка двухслойная, коагулянт – сернокислый алюминий

$D_k = 5$ мг/л (к табл. № 8)

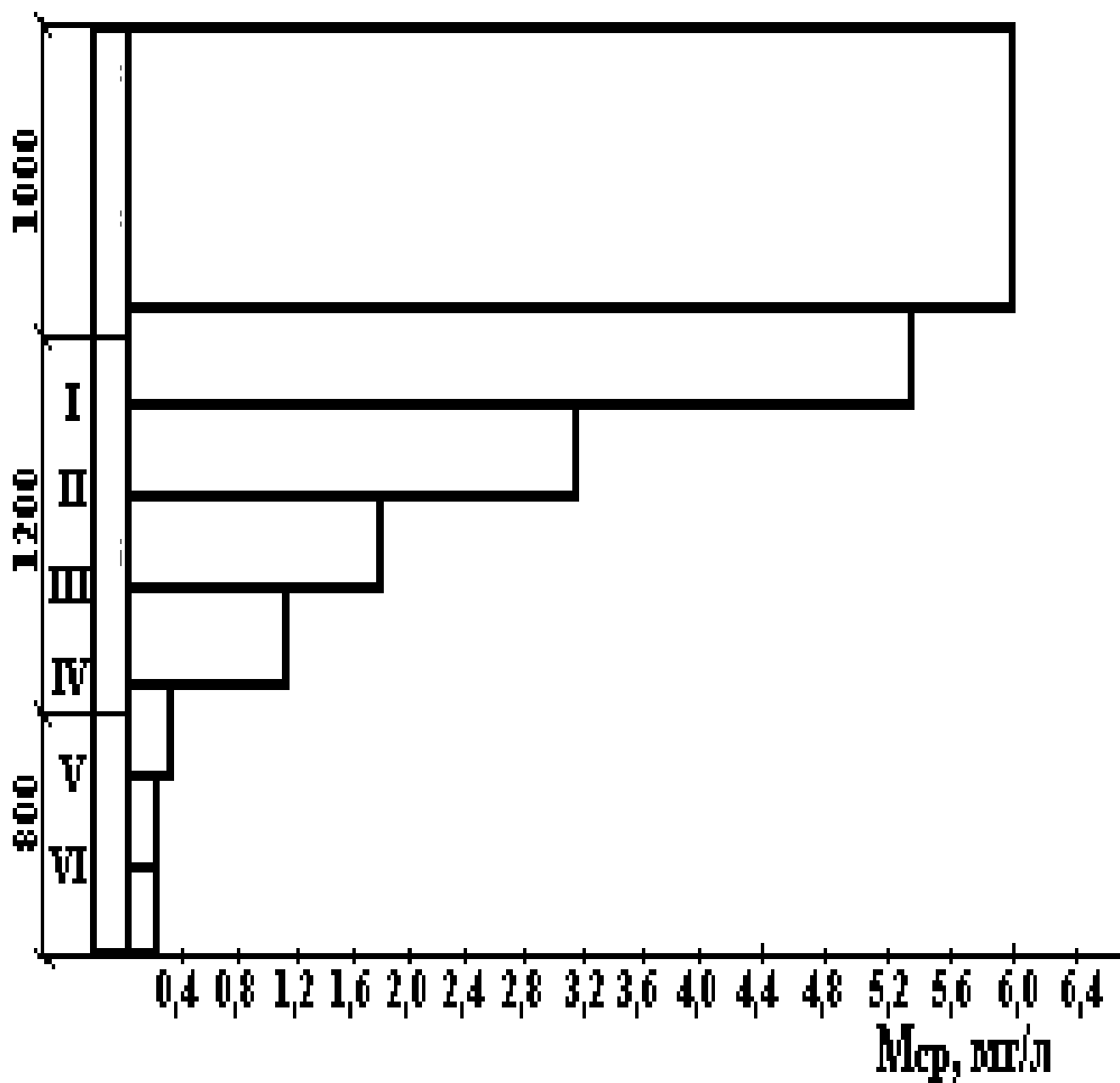


Рис. 19 Диаграмма изменения мутности по высоте загрузки.

Загрузка двухслойная, коагулянт – оксихлорид алюминия

$D_k = 5$ мг/л (к табл. № 9)

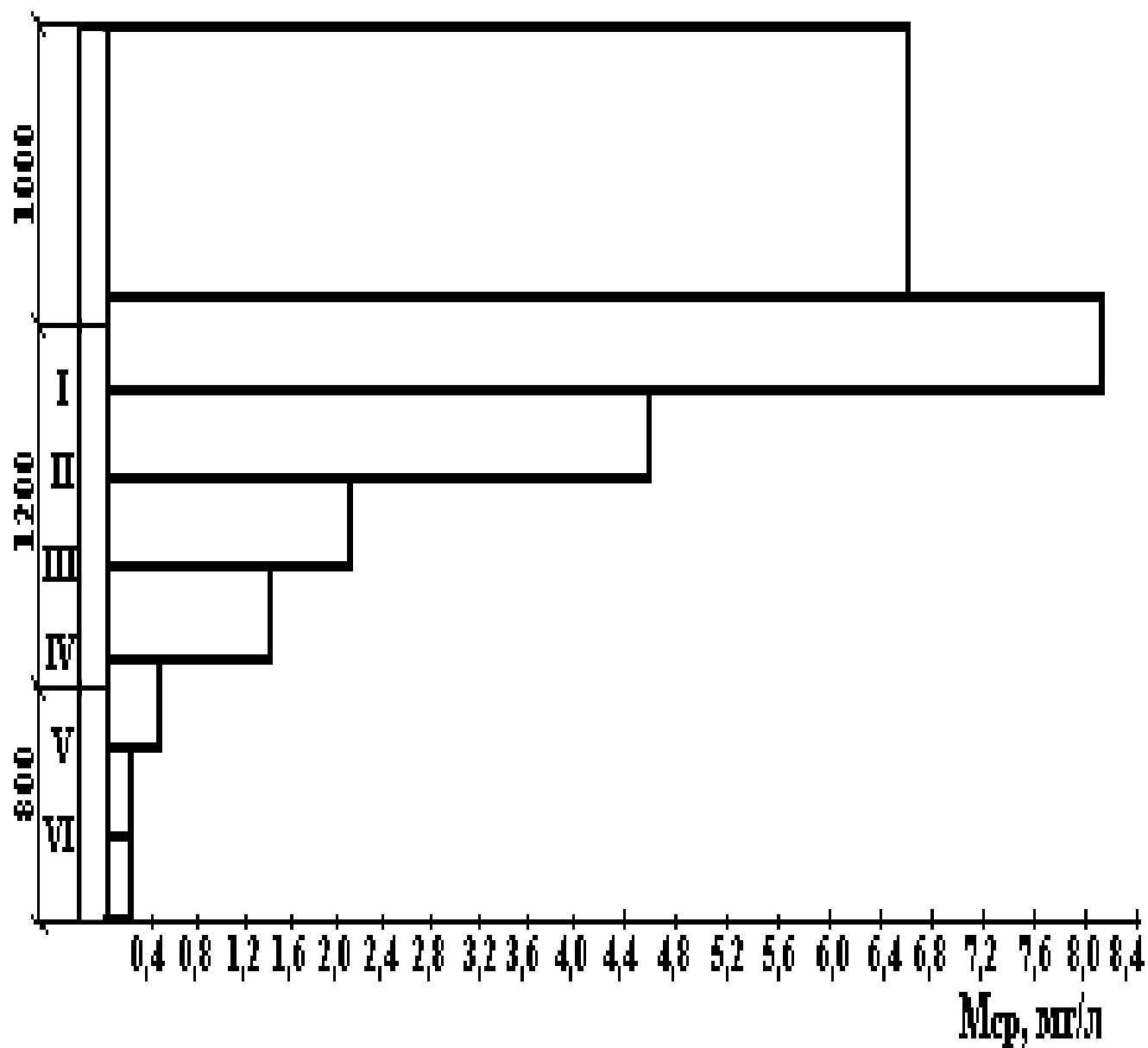
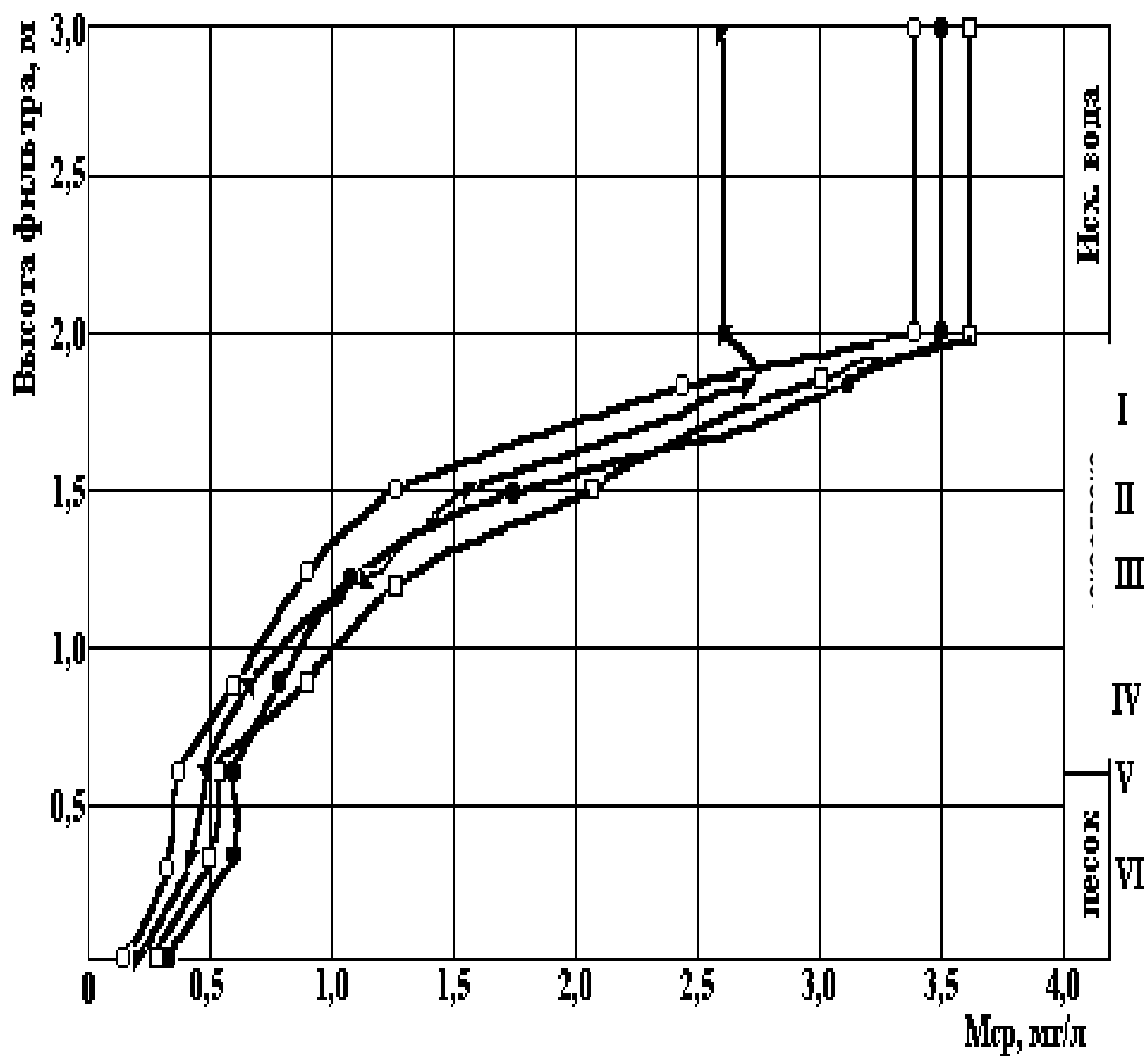


Рис. 20 Диаграмма изменения мутности по высоте загрузки.

Загрузка двухслойная, коагулянт – оксихлорид алюминия

$D_k = 1,5$ мг/л (к табл. № 10)



**Рис. 21. Динамика изменения мутности по высоте
трехслойной фильтрующей загрузки**

- коагулянт - сернокислый алюминий, $D=5$ мг/л
- коагулянт – оксихлорид алюминия $D=1,5$ мг/л
- ▴ коагулянт – оксихлорид алюминия $D=1,5$ мг/л
- ▣ коагулянт – оксихлорид алюминия $D=1,5$ мг/л

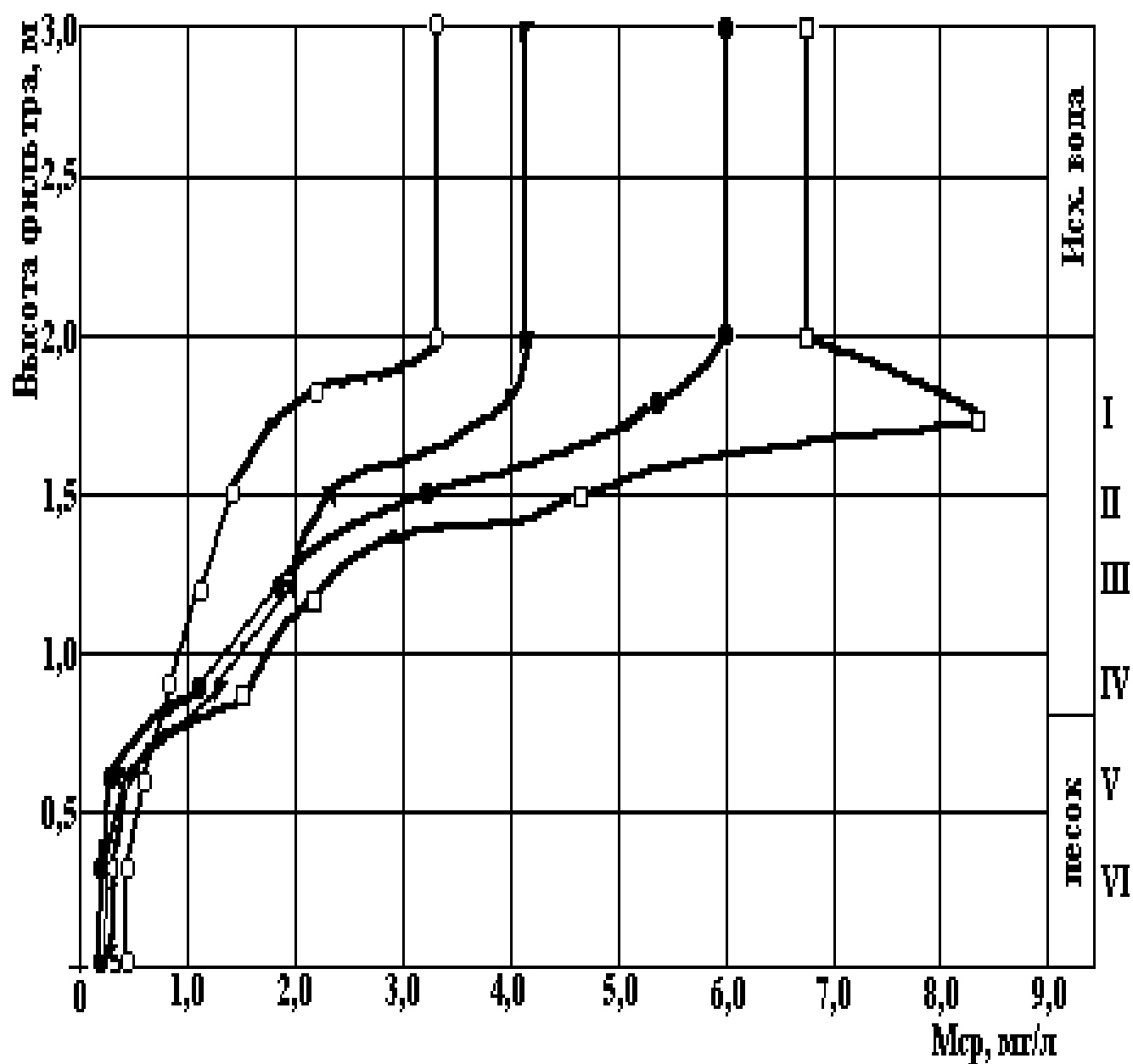


Рис. 22. Динамика изменения мутности по высоте двухслойной фильтрующей загрузки

- коагулянт - сернокислый алюминий, $D=5$ мг/л
- ▲ коагулянт - сернокислый алюминий, $D=5$ мг/л
- коагулянт – оксихлорид алюминия $D=1,5$ мг/л
- коагулянт – оксихлорид алюминия $D=1,5$ мг/л

Таблица 1

Определение оптимальной дозы коагулянта сернокислого алюминия

Дата	Время отбора проб, час	Скорость фильтрации V , м/ч	Расход фильтра-та Q_f , м ³ /ч	Расход коагулянта q_k , мл/мин	Доза коагулянта D_k , мг/л	Крепость дозируе-мого раствора C_n , %	Доза хлора D_{Cl} , мг/л	$M_{исх}$, мг/л	M_1 , мг/л	M_2 , мг/л	M_3 , мг/л	M_4 , мг/л	M_5 , мг/л	M_6 , мг/л	$M_{вык}$, мг/л	Показания пьезометров, см						Потери напора, м	Время включения, час	Время выключения, час
																1	2	3	4	5	6			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
21.02	10.30	15	0,2655	28	7	0,11	-	3,5	4,93	2,03	0,93	1.16	0,64	0,5	0,44	283	240	235	224	220	187	0,96	8.30	
	12.30	15	0,2655	28	7	0,11	-	3,5	4,64	0,81	0,70	0,58	0,29	0,10	0,06	278	243	232	220	215	182	0,96		
	14.30	15	0,2655	28	7	0,11	-	3,5	3,77	1,04	0,93	0.46	0,15	0,12	0.06	277	233	223	208	203	159	1,18		
	15.30	15	0,2655	28	7	0,11	-	4,35	2,15	1,57	0,58	0,46	0,14	0,58	0.05	270	223	209	200	189	151	1,19		
	17.15	15	0,2655	-	-	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	1,74	271	224	210	199	190	141	1,30		
	18.00	15	0,2655	28	7	0,11	-	4,35	3,48	1,57	0,41	0,35	0.35	0,35	0,06	263	213	203	189	179	131	1,32		
	19.00	15	0,2655	28	7	0,11	-	4,93	6,08	2,03	0,7	0,29	0.29	0,12	0,00	261	209	194	183	172	125	1,36		
26.02	9.00	15	0,2655	4,6	5	0,48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	272	265	256	249	247	238	0,34	9.00	
	10.00	15	0,2655	4,6	5	0,48	-	2,26	1,74	1,10	2,26	0,93	0,35	0,44	0,23	267	256	245	237	236	228	0,39		
	11.00	15	0,2655	4,6	5	0,48	-	2,38	1,45	0,87	0,81	0,52	0,26	0,44	0,23	269	256	248	238	236	227	0,42		
	12.00	5	0,2655	4,6	5	0,48	-	2,49	2,32	0,87	0,81	0,64	0,26	0,32	0,25	273	255	248	236	231	220	0,53		
	13.00	15	0,2655	4,6	5	0,48	-	2,15	1,6	0,81	0,64	0,38	0,23	0,43	0,32	269	247	240	229	223	213	0,56		
	14.00	15	0,2655	4,6	5	0,48	-	2,61	2,38	1,37	1,32	0,58	0,81	0,87	0,51	273	251	242	230	223	213	0,60		
	15.00	15	0,2655	4,6	5	0,48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	271	243	235	223	215	205	0,66		
	16.00	15	0,2655	4,6	5	0,48	-	3,77	3,42	1,76	1,03	0,52	1,18	0,7	0,35	269	238	229	215	208	196	0,73		
	17.00	15	0,2655	4,6	5	0,48	-	4,06	3,19	1,91	0,87	1,22	0,58	0,7	0,35	275	236	226	213	200	189	0,86		

Таблица 2

Определение оптимальной дозы коагулянта - оксихлорида алюминия

[illegible]

Таблица 3

Фильтровальные характеристики трехслойной загрузки с использованием коагулянта оксихлорида алюминия

Дата	Время отбора проб, час	Скорость фильтрации, V _ф , м/ч	Расход фильтрата Q _ф , м³/ч	Расход коагулянта q _к , мл/мин	Доза коагулянта D _к , мг/л	Крепость дозируемого раствора C _з , %	Доза хлора D _{сл} , мг/л	M _{исх} , мг/л	M ₁ , мг/л	M ₂ , мг/л	M ₃ , мг/л	M ₄ , мг/л	M ₅ , мг/л	M ₆ , мг/л	M _{вых} , мг/л	Показания пьезометров, см						Потери напора, м	Время включения, час	Время выключения, час	Фильтроцикл, ч	Примечание
																1	2	3	4	5	6					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
28.02	12.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	270	258	255	247	244	236	0,34	12.00			
	13.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	-	2,03	1,31	1,22	1,46	0,81	0,52	0,41	0,29	271	257	254	244	241	233	0,38				
	14.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	-	1,97	2,47	1,04	0,87	0,70	0,49	0,44	0,29	270	256	251	243	236	229	0,41				
	15.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	-	2,32	1,51	0,99	0,7	0,46	0,41	0,35	0,26	269	253	248	239	232	224	0,45				
	16.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	270	252	245	237	229	221	0,49				
	17.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	-	2,61	1,60	1,39	1,22	0,35	0,23	0,46	0,17	269	247	240	231	221	213	0,56				
	18.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	268	244	236	226	215	206	0,62				
	19.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	-	2,49	1,45	0,93	0,73	0,36	0,26	0,58	0,23	268	240	232	222	210	200	0,68				
	20.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	271	241	231	220	207	198	0,73				
	21.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	-	2,61	1,74	1,22	0,81	0,35	0,29	0,28	0,17	268	235	226	214	200	192	0,76				
	22.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	268	232	221	209	195	186	0,82				
	23.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	-	2,77	1,51	1,16	0,70	0,41	0,46	0,29	0,12	260	224	212	199	185	176	0,84				
	24.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	276	236	223	210	194	185	0,91				
1.03	1.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	-	2,84	2,03	1,45	0,70	0,35	0,29	0,35	0,23	258	217	203	190	174	165	0,93			28.00	Коагулянт оксихлорид алюминия
	2.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	268	220	205	191	175	165	1,07				
	3.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	-	2,67	3,77	1,45	0,87	0,35	0,29	0,2	0,12	269	218	200	187	170	160	1,09				
	4.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	265	213	196	181	164	155	1,1				
	6.30	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	-	2,32	3,83	1,57	1,04	0,58	0,29	0,41	0,29	256	200	182	166	148	139	1,17				
	8.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	265	202	183	156	147	137	1,28				
	9.00	11,3	0,2	2,3	1,66	0,24	-	2,49	3,48	2,00	1,25	0,64	0,35	0,49	0,23	267	193	179	161	141	131	1,36				
	10.00	11,3	0,2	2,3	1,66	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	263	193	176	158	137	127	1,36				
	11.00	11,3	0,2	2,3	1,66	0,24	-	2,73	3,25	2,32	1,45	1,22	0,52	0,41	0,32	269	193	175	157	135	124	1,45				
	12.00	10,7	0,189	2,3	1,75	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	272	193	176	158	135	124	1,48				
	13.00	10,7	0,189	2,3	1,75	0,24	-	2,69	4,52	2,38	1,1	0,93	0,84	0,55	0,06	264	190	187	149	126	117	1,47				
	14.00	10,17	0,18	2,3	1,84	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	268	190	167	148	125	115	1,53				
	15.00	9,68	0,171	2,3	1,94	0,24	-	3,3	5,05	2,49	1,45	1,39	1,16	0,73	0,35	264	186	182	143	120	107	1,57				
	16.00	8,84	0,156	2,3	2,12	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	260	180	156	136	110	100	1,60				
	16.30	8,13	0,144	2,3	2,3	0,24	-	3,48	3,65	2,03	1,80	1,16	1,04	0,93	0,52	255	174	150	131	106	90	1,65				

Таблица 4

Фильтровальные характеристики трехслойной загрузки с использованием коагулянта оксихлорида алюминия

Дата	Время отбора проб, час	Скорость фильтрации, V _ф , м/ч	Расход фильтрата Q _ф , м ³ /ч	Расход коагулянта q _к , мл/мин	Доза коагулянта D _к , мг/л	Крепость дозируемого раствора C ₃ , %	Доза хлора D _{Cl} , мг/л	M _{нех} , мг/л	M ₁ , мг/л	M ₂ , мг/л	M ₃ , мг/л	M ₄ , мг/л	M ₅ , мг/л	M ₆ , мг/л	M _{вых} , мг/л	Показания пьезометров, см						Потери напора, м	Время включения, час	Время выключения, час	Фильтроцикл, ч	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
11.03	15.30	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3	4,29	-	-	-	-	-	-	0,63	260	251	246	239	232	225	0,35	14.30		24.30	Коагулянт оксихлорид алюминия
	16.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3	3,94	3,48	1,74	1,16	1,16	0,93	0,87	0,29	270	259	253	245	239	231	0,39				
	17.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3	3,89	1,57	0,93	0,87	0,46	0,38	0,87	0,29	246	231	225	216	208	201	0,35				
	19.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3	3,77	1,91	0,87	0,75	0,44	0,29	0,69	0,15	256	235	228	219	211	200	0,56				
	20.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3	3,71	3,19	0,81	0,41	0,35	0,29	0,21	0,15	266	239	231	220	210	200	0,66				
	22.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3	3,76	2,28	1,03	0,46	0,40	0,23	0,31	0,14	271	231	220	206	194	184	0,87				
	23.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3	-	-	-	-	-	-	-	-	262	223	211	197	186	176	0,86				
	24.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3	3,62	2,22	1,25	1,00	0,60	0,23	0,20	0,11	270	220	206	192	177	166	1,04				
12.03	1.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3	-	-	-	-	-	-	-	-	262	212	199	182	167	156	1,06				
	2.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3	3,36	2,22	1,37	0,80	0,40	0,10	0,09	0,06	267	209	193	176	161	149	1,18				
	3.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3	-	-	-	-	-	-	-	-	269	207	190	173	157	145	1,24				
	4.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3	2,62	2,22	1,65	1,14	0,68	0,11	0,09	0,06	262	193	174	156	137	124	1,38				
	5.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3	-	-	-	-	-	-	-	-	267	193	176	157	138	123	1,44				
	6.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3	2,57	2,42	1,60	0,91	0,68	0,23	0,20	0,11	272	194	173	153	131	119	1,53				
	7.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3	-	-	-	-	-	-	-	-	261	185	164	143	125	109	1,52				
	8.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3	3,36	2,22	1,37	0,80	0,40	0,10	0,09	0,06	272	188	165	144	119	106	1,66				
	9.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3	-	-	-	-	-	-	-	-	270	182	158	135	109	97	1,73				
	10.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3	2,62	2,51	1,77	1,25	1,14	0,63	0,43	0,23	271	176	150	126	98	85	1,86				
	11.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3	-	-	-	-	-	-	-	-	270	174	149	123	96	83	1,87				
	12.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3	2,55	2,52	1,28	1,16	0,87	0,64	0,44	-0,23	262	167	141	115	88	75	1,87				
	13.00	15	0,225	2,3	1,48	0,24	3,54	-	-	-	-	-	-	-	-	260	160	134	108	80	68	1,92				
	14.00	15	0,225	2,3	1,48	0,24	3,54	2,9	2,32	1,51	0,98	0,87	0,58	1,16	0,29	263	155	130	105	73	57	2,06				
	15.00	15	0,225	2,3	1,48	0,24	3,54	-	-	-	-	-	-	-	-	260	151	122	95	64	51	2,09				

Таблица 5

Фильтровальные характеристики трехслойной загрузки с использованием коагулянта оксихлорида алюминия

Дата	Время отбора проб, час	Скорость фильтрации, V _ф , м/ч	Расход фильтрата Q _ф , м³/ч	Расход коагулянта q _к , мл/мин	Доза коагулянта D _к , мг/л	Крепость дозируемого раствора C _з , %	Доза хлора D _{Cl} , мг/л	M _{исх} , мг/л	M ₁ , мг/л	M ₂ , мг/л	M ₃ , мг/л	M ₄ , мг/л	M ₅ , мг/л	M ₆ , мг/л	M _{вых} , мг/л	Показания пьезометров, см						Потери напора, м	Время включения, час	Время выключения, час	Фильтроцикл, ч	Примечание
																1	2	3	4	5	6					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
14.03	16.30	15	0,2655	2,3	1.25	0,24	3,6	3,52	-	-	-	-	-	-	0,35	260	249	244	237	232	225	0,35	15.30			
	18.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3,6	3,52	2,26	1,68	1.23	0,81	0,54	0,58	0,35	260	247	242	236	228	222	0,38				
	19.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	268	257	250	244	234	227	0,41				
	20.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3,6	3,54	2.26	1.16	0,93	0,58	0,52	0,46	0,4	260	248	242	234	224	217	0,43				
	21.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	275	259	251	243	232	224	0,51				
	22.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3,6	4,00	2.20	1.16	0,7	0,58	3,48	0,45	0,9	269	248	241	233	222	213	0,56				
	23.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	266	241	239	226	214	205	0,61				
15.03	1.00	15	0,2655	2,3	1.25	0,24	3,6	7,00	2,61	1,45	0,64	0,52	0,35	0,31	0,26	266	237	226	217	203	194	0,72			26.00	Коагулянт оксихлорид алюминия
	2.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	266	235	224	214	200	191	0,75				
	4.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3,6	2,90	3.48	1,74	0,93	0,41	0,17	0,23	0,12	264	229	218	208	195	184	0,80				
	5.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	253	215	200	190	175	167	0,86				
	6.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3,6	2,73	3.48	2,03	1,04	0,35	0,25	0,58	0,12	251	211	196	185	170	162	0,89				
	7.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	252	210	194	182	161	59	0,93				
	8.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3,6	3,19	3.14	3,36	2,17	0,97	0,81	0,68	0,46	261	213	191	171	154	143	1,18				
	9.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	263	209	188	172	150	139	1,24				
	10.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3,6	2,88	4.28	3,31	1,77	0,97	0,51	0,46	0,34	257	202	180	163	140	130	1,27				
	11.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	258	201	178	161	137	126	1,32				
	12.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3,6	2,96	3.59	2,45	1,71	1,08	0,14	0,34	0,29	270	204	179	159	132	120	1,50				
	13.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	261	198	173	153	125	112	1,49				
	14.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3,6	2,79	2.57	1,65	1,08	0,97	0,63	0,46	0,34	261	195	169	149	120	107	1,54				
	15.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	254	185	154	129	93	80	1,74				
	16.00	1515	0,2655	2,3	1,25	0,24	3,6	4,22	3.25	1,82	1,43	1,08	1,03	0,51	0,40	262	189	158	134	97	83	1,79				
	17.00	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	262	185	154	130	92	78	1,84				
	17.30	15	0,2655	2,3	1,25	0,24	3,6	3,65	2,91	2,62	2,39	2,22	0,74	0,63	0,46	261	183	152	127	90	76	1,83				

Таблица 6

Фильтровальные характеристики трехслойной загрузки с использованием коагулянта сернокислого алюминия

Дата	Время отбора проб, час	Скорость фильтрации, $V_{\text{ф}}$, м/ч	Расход фильтрага $Q_{\text{ф}}$, м ³ /ч	Расход коагулянта $q_{\text{к}}$, мл/мин	Доза коагулянта $D_{\text{к}}$, мг/л	Крепость дозируемого раствора C_3 , %	Доза хлора D_{Cl} , мг/л	$M_{\text{исх}}$, мг/л	M_1 , мг/л	M_2 , мг/л	M_3 , мг/л	M_4 , мг/л	M_5 , мг/л	M_6 , мг/л	$M_{\text{вых}}$, мг/л	Показания пьезометров, см						Потери напора, м	Время включения, час	Время выключения, час	Фильтроцикл, ч	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
19.03	16.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	4,23	2,96	2,45	2,04	1,73	1,45	1,13	0,73	271	270	265	259	251	244	0,27	15.00		25.00	Коагулянт $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
	17.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	265	260	256	251	244	235	0,30				
	18.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	3,77	2,61	1,45	1,1	0,64	0,58	0,43	0,38	270	265	259	253	245	236	0,34				
	19.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	275	265	258	252	243	232	0,43				
	20.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	4,00	2,55	1,33	0,87	0,59	0,46	0,41	0,35	268	251	245	238	230	220	0,48				
	21.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	271	251	244	237	228	217	0,54				
	22.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	3,93	2,79	1,31	0,80	0,63	0,48	0,63	0,40	268	244	236	228	219	208	0,60				
	23.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	271	244	236	229	218	208	0,63				
24.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	3,76	3,19	1,40	0,68	0,57	0,46	0,68	0,40	261	233	224	216	204	195	0,66					
20.03	1.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	270	236	226	217	205	194	0,76				
	2.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	5,02	4,2	2,45	0,91	0,57	0,46	1,14	0,34	260	217	203	191	175	164	0,96				
	3.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	267	223	209	196	180	168	0,99				
	4.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	3,65	3,19	1,74	1,14	0,51	0,37	0,46	0,23	270	221	206	193	176	164	1,06				
	5.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	268	216	201	187	169	156	1,12				
	6.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	3,08	3,48	1,82	1,14	0,46	0,37	0,34	0,27	269	213	199	182	164	152	1,17				
	7.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	271	212	194	180	160	148	1,23				
	8.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	3,08	3,65	1,80	1,20	0,57	0,29	0,40	0,26	271	210	191	176	155	143	1,28				
	9.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	274	208	187	170	147	134	1,40				
	10.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	2,65	4,25	1,60	1,20	0,77	0,46	0,63	0,29	274	205	183	165	142	130	1,44				
	11.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	270	199	173	158	132	115	1,55				
	12.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	2,61	2,2	1,74	1,25	0,93	0,52	0,43	0,35	270	197	175	154	128	111	1,59				
	13.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	275	197	172	150	125	107	1,68				
	14.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	2,84	2,03	1,80	0,99	0,93	0,46	0,37	0,23	275	191	164	142	110	96	1,79				
	15.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	275	189	161	139	106	82	1,93				
	16.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	2,71	2,32	1,74	1,33	0,93	0,58	0,41	0,29	275	187	157	136	102	73	2,02				

Таблица 7

Фильтровальные характеристики двухслойной загрузки с использованием коагулянта сернокислого алюминия

Дата	Время отбора проб, час	Скорость фильтрации, V_f , м/ч	Расход фильтра Q_f , м ³ /ч	Расход коагулянта q_k , мл/мин	Доза коагулянта D_k , мг/л	Крепость дозируемого раствора C_3 , %	Доза хлора D_{Cl} , мг/л	$M_{исх}$, мг/л	M_1 , мг/л	M_2 , мг/л	M_3 , мг/л	M_4 , мг/л	M_5 , мг/л	M_6 , мг/л	$M_{вых}$, мг/л	Показания пьезометров, см						Потери напора, м	Время включения, час	Время выключения, час	Фильтроцикл, ч	Примечание
																1	2	3	4	5	6					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1.04	15.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	4,23	-	-	-	-	-	-	0,71	275	270	265	261	252	245	0,30	14.00			
	16.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	4,29	2,71	2,08	1,74	1,39	0,81	0,69	0,58	275	270	265	261	251	244	0,31				
	17.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	275	268	261	257	247	240	0,35				
	18.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	4,64	2,78	1,68	1,39	1,1	0,58	0,46	0,35	275	268	261	256	244	237	0,38				
	19.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	273	259	252	248	235	228	0,45				
	20.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	4,87	2,63	1,74	1,22	0,98	0,4	0,32	0,29	276	261	255	248	234	226	0,50				
	21.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	271	252	246	239	223	214	0,57				
	22.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	4,87	2,61	1,62	1,38	0,84	0,38	0,35	0,26	263	243	237	229	212	204	0,59				
	23.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	271	245	238	220	219	203	0,68				
	24.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	4,70	2,67	1,76	1,32	0,75	0,41	0,26	0,17	270	242	234	225	205	199	0,71				
2.04	1.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	271	242	234	224	202	194	0,77			26.00	Коагулянт $Al_2(SO_4)_3$
	2.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	4,47	3,02	1,94	1,19	0,81	0,20	0,18	0,12	268	236	228	217	196	185	0,83				
	3.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	273	237	228	216	188	179	0,94				
	4.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	4,15	4,03	3,02	1,83	1,10	0,32	0,26	0,12	263	227	218	205	176	167	0,96				
	5.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	264	224	214	198	168	157	1,07				
	6.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	4,64	3,42	2,38	1,57	1,02	0,23	0,16	0,10	271	228	216	202	168	157	1,14				
	7.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	260	215	204	189	153	142	1,18				
	8.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	3,92	3,71	2,26	1,51	1,16	0,23	0,22	0,15	269	220	208	192	153	142	1,27				
	9.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	260	213	200	185	145	135	1,25				
	10.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	3,51	4,69	2,03	1,51	1,04	0,29	0,14	0,12	251	202	190	174	133	124	1,27				
	11.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	257	207	193	176	134	123	1,34				
	12.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	3,19	5,8	2,32	2,03	1,10	0,29	0,12	0,10	271	213	200	183	137	123	1,48				
	13.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	270	211	196	178	131	117	1,53				
	14.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	3,25	6,2	4,64	3,46	2,03	0,44	0,15	0,06	270	210	193	175	125	111	1,59				
	15.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	270	203	186	168	119	106	1,64				
	16.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,6	3,20	8,12	3,92	2,03	2,03	0,32	0,12	0,06	271	196	182	163	114	98	1,73				

Таблица 8

Фильтровальные характеристики двухслойной загрузки с использованием коагулянта сернокислого алюминия

Дата	Время отбора проб, час	Скорость фильтрации, V_f , м/ч	Расход фильтра Q_f , м ³ /ч	Расход коагулянта q_k , мл/мин	Доза коагулянта D_k , мг/л	Крепость дозируемого раствора C_3 , %	Доза хлора D_{Cl_2} , мг/л	$M_{исх}$, мг/л	M_1 , мг/л	M_2 , мг/л	M_3 , мг/л	M_4 , мг/л	M_5 , мг/л	M_6 , мг/л	$M_{вых}$, мг/л	Показания пьезометров, см						Потери напора, м	Время включения, час	Время выключения, час	Фильтроцикл, ч	Примечание
																1	2	3	4	5	6					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
8.04	16.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	275	272	269	265	256	248	0,27	15.30			
	17.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,2	2,52	1,81	1,67	1,47	1,04	0,77	0,47	0,41	275	271	269	265	255	247	0,28				
	18.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,2	2,55	1,93	1,16	1,57	0,93	0,46	0,38	0,29	275	270	265	261	252	245	0,30				
	19.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	275	270	265	260	251	241	0,32				
	20.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,2	2,84	1,51	0,98	0,75	0,58	0,29	0,20	0,17	275	269	264	259	248	240	0,35				
	21.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	275	265	260	254	242	235	0,40				
	22.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,2	3,63	1,74	1,07	1,01	0,70	0,35	0,26	0,21	277	265	260	253	241	233	0,44				
	23.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	275	261	256	249	233	225	0,50				
	24.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,2	3,77	2,15	1,28	1,04	0,70	0,35	0,27	0,22	265	248	244	237	221	213	0,52				
9.04	2.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,2	3,83	1,89	0,95	0,84	0,75	0,35	0,17	0,16	262	244	239	231	214	205	0,57			24.30	Коагулянт $Al_2(SO_4)_3$
	.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,2	3,42	1,80	1,16	0,95	0,93	0,35	0,2	0,20	270	246	241	232	213	204	0,66				
	6.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,2	3,61	1,91	1,16	1,04	0,87	0,37	0,29	0,21	276	249	243	233	212	203	0,73				
	7.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	258	231	225	214	192	182	0,76				
	8.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,2	3,51	2,09	1,04	0,93	0,64	0,46	0,30	0,23	268	237	231	219	196	186	0,82				
	9.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	268	235	229	217	193	183	0,85				
	10.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,2	3,59	2,49	1,45	1,10	0,93	0,58	0,35	0,29	266	231	225	202	188	177	0,89				
	11.00	15	0,2655	2,3	5	0,96	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	271	234	228	204	189	178	0,93				
	12.00	13,6	0,24	2,3	5,5	0,96	3,52	3,54	2,55	1,33	1,16	0,87	0,41	0,31	0,29	272	233	227	213	186	175	0,97				
	13.00	12,7	0,225	2,3	5,9	0,96	3,8	-	-	-	-	-	-	-	-	270	229	222	207	179	169	1,01				
	14.00	12,7	0,225	2,3	5,9	0,96	3,8	3,48	2,9	1,51	1,16	0,93	0,71	0,48	0,41	273	231	226	212	181	170	1,03				
	15.00	12	0,2118	2,3	6,3	0,96	4,0	-	-	-	-	-	-	-	-	275	231	226	211	181	169	1,06				
	16.00	12	0,2118	2,3	6,3	0,96	4,0	3,5	3,77	2,9	1,33	1,16	0,87	0,36	0,29	277	234	227	212	182	170	1,07				

Таблица 9

Фильтровальные характеристики двухслойной загрузки с использованием коагулянта оксихлорида алюминия

Дата	Время отбора проб, час	Скорость фильтрации, V_f , м/ч	Расход фильтра Q_f , м ³ /ч	Расход коагулянта q_k , мл/мин	Доза коагулянта D_k , мг/л	Крепость дозируемого раствора C_3 , %	Доза хлора D_{Cl_2} , мг/л	$M_{исх}$, мг/л	M_1 , мг/л	M_2 , мг/л	M_3 , мг/л	M_4 , мг/л	M_5 , мг/л	M_6 , мг/л	$M_{вых}$, мг/л	Показания пьезометров, см						Потери напора, м	Время включения, час	Время выключения, час	Фильтроцикл, ч	Примечание
																1	2	3	4	5	6					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
15.04	15.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	6,1	-	-	-	-	-	-	0,52	275	271	268	262	252	249	0,26	14.30			
	16.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	6,1	3,77	2,84	2,49	1,86	1,16	0,75	0,7	273	269	265	260	251	245	0,28				
	17.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	6,1	-	-	-	-	-	-	0,15	275	267	262	255	246	239	0,36				
	18.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	6,03	2,84	1,62	1,1	0,7	0,23	0,17	0,15	274	261	256	249	239	232	0,42				
	19.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	275	257	252	245	233	227	0,48				
	20.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	6,15	3,07	1,39	0,87	0,58	0,23	0,15	0,12	275	253	248	240	228	221	0,54				
	21.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	277	249	244	234	220	213	0,64				
	22.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	6,44	3,38	1,45	0,84	0,47	0,23	0,13	0,10	271	238	232	222	208	201	0,70				
	23.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	272	238	233	223	207	199	0,73				
	24.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	7,08	4,47	2,09	1,28	0,73	0,23	0,20	0,12	258	223	216	206	189	183	0,75				
16.04	2.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	6,67	4,52	2,38	1,10	0,70	0,29	0,23	0,17	275	231	223	211	192	186	0,89			24.30	Коагулянт оксихлорид алюминия
	4.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	6,26	4,99	2,84	1,22	0,44	0,23	0,14	0,10	268	216	208	195	175	168	1,00				
	6.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	5,8	9,98	6,00	2,81	1,51	0,37	0,25	0,21	271	199	185	165	135	126	1,45				
	7.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	270	204	190	171	138	129	1,41				
	8.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	5,45	5,8	2,71	2,63	1,39	0,23	0,17	0,15	277	207	193	173	139	129	1,48				
	9.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	271	200	184	163	128	118	1,53				
	10.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	5,34	6,96	4,60	2,96	1,60	0,29	0,15	0,12	270	194	180	159	122	113	1,57				
	11.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	273	193	178	156	118	108	1,65				
	12.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	5,57	9,92	7,37	2,67	2,32	0,50	0,20	0,12	274	190	174	152	110	103	1,71				
	13.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	274	190	173	150	107	96	1,78				
	14.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	5,51	4,58	2,73	1,54	0,96	0,29	0,20	0,17	275	187	170	146	102	92	1,83				
	15.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	5,59	-	-	-	-	-	-	0,15	275	185	167	143	95	87	1,88				

Таблица 10

Фильтровальные характеристики двухслойной загрузки с использованием коагулянта оксихлорида алюминия

Дата	Время отбора проб, час	Скорость фильтрации, V_{ϕ} , м/ч	Расход фильтрации Q_{ϕ} , м ³ /ч	Расход коагулянта q_k , мл/мин	Доза коагулянта D_k , мг/л	Крепость дозируемого раствора C_3 , %	Доза хлора D_{Cl_2} , мг/л	$M_{дех}$, мг/л	M_1 , мг/л	M_2 , мг/л	M_3 , мг/л	M_4 , мг/л	M_5 , мг/л	M_6 , мг/л	$M_{вых}$, мг/л	Показания пьезометров, см						Потери напора, м	Время включения, час	Время выключения, час	Фильтроцикл, ч	Примечание
																1	2	3	4	5	6					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
18.04	14.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	5,8	3,15	2,11	1,97	1,37	0,98	0,51	0,46	275	272	269	265	258	252	0,23	13.00		25.00	Коагулянт оксихлорид алюминия
	15.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	275	271	266	262	255	249	0,26				
	16.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	6,4	2,61	1,68	1,16	0,96	0,58	0,35	0,20	275	269	262	258	250	244	0,31				
	17.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	275	265	260	255	245	238	0,37				
	18.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	6,96	2,96	1,45	0,93	0,64	0,23	0,21	0,15	275	261	256	250	240	233	0,42				
	19.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	275	256	251	245	233	227	0,49				
	20.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	8,58	3,65	1,45	0,93	0,64	0,21	0,18	0,15	275	250	246	239	227	221	0,55				
	21.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	275	248	243	236	223	217	0,58				
	22.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	8,47	8,12	3,94	1,74	0,87	0,29	0,21	0,17	275	236	232	219	206	201	0,74				
	23.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	275	235	231	218	202	194	0,81				
	24.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	7,77	13,92	4,64	1,80	1,60	0,29	0,29	0,21	275	233	227	214	195	187	0,88				
19.04	3.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	6,79	21,87	10,03	1,45	0,96	0,29	0,17	0,12	275	221	211	200	173	165	1,10			25.00	Коагулянт оксихлорид алюминия
	6.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	5,97	19,92	11,43	5,51	3,54	0,29	0,18	0,14	275	213	201	185	158	150	1,25				
	7.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	273	208	196	179	152	145	1,28				
	8.00	15	0,2655	2,3	1,5	0,29	3,2	5,16	7,54	5,86	3,42	2,03	0,29	0,12	0,06	272	205	193	175	147	139	1,33				
	9.00	13,6	0,24	2,3	1,65	0,29	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	273	193	184	164	130	123	1,50				
	10.00	13,6	0,24	2,3	1,65	0,29	3,5	5,16	4,23	3,13	2,02	1,33	0,29	0,25	0,13	260	185	171	151	118	108	1,52				
	11.00	12,7	0,225	2,3	1,77	0,29	3,8	-	-	-	-	-	-	-	-	262	185	170	150	113	105	1,57				
	12.00	12,0	0,2118	2,3	1,88	0,29	4,0	6,32	5,68	4,79	2,44	1,54	0,73	0,52	0,35	267	185	169	150	111	103	1,64				
	13.00	12,0	0,2118	2,3	1,88	0,29	4,0	-	-	-	-	-	-	-	-	275	190	175	153	113	104	1,71				
	14.00	12,0	0,2118	2,3	1,88	0,29	4,0	5,68	-	-	-	-	-	-	0,28	275	189	173	151	109	100	1,75				

Таблица 11

Показатели качества очищаемой воды на опытно-производственной установке

№ п/п	Наименование показателей	Единицы измерения	Трехслойный фильтр		Двухслойный фильтр				
			Исх. вода	Фильтрат	Исх. вода	Фильтрат			
				Установка $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$		$\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$		$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	
						начало ф/ц	конец ф/ц	начало ф/ц	конец ф/ц
1	2	3	4	5	7	8	9	10	11
1.	Температура	град	8	10	8	8	9	8	9
2.	РН	ед. рН	8,25	8,15	8,13	7,93	7,94	7,77	8,29
3.	Мутность	мг/дм ³	3,19	0,23	2,9	0,29	0,29	0,23	0,29
4.	Цветность	град	16	6,25	14	-	-	6	7
5.	Жесткость общ.	ммоль/дм ³	8,05	8,15	7,16	6,19	5,89	7,6	6,9
6.	Кальций	мг/дм ³	100,6	94,28	83,4	68,22	60,84	68,54	53,0
7.	Магний	мг/дм ³	36,84	-	36,48	33,93	34,66	50,83	51,68
8.	Натрий	мг/дм ³	138,64	-	130,64	107,18	104,65	135,7	129,03
9.	Хлориды	мг/дм ³	145,35	157,7	138,7	113,05	105,45	151,05	127,3
10.	Сульфаты	мг/дм ³	272,62	271,59	246,08	190,73	178,6	263,98	245,67
11.	Сухой остаток	мг/дм ³	866,5	-	868,5	660	628,5	823,7	758,1
12.	Окисляемость перман.	мг O_2 /дм ³	3,2	4,59	3,8	3,36	3,04	1,24	3,49
13.	БПК ₅	мг O_2 /дм ³	1,41	-	0,74	0,78	0,66	0,55	0,89
14.	Щелочность	ммоль/дм ³	4,3	4,2	3,8	3,7	3,75	3,75	3,8
15.	Аммоний	мг/дм ³	0,051	0,057	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08
16.	Нитриты	мг/дм ³	0,012	0,013	0,023	0,015	0,014	0,006	0,02
17.	Нитраты	мг/дм ³	3,91	4,43	2,18	1,72	0,61	2,84	1,66
18.	Железо общее	мг/дм ³	0,1	0,049	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
19.	Алюминий ост.	мг/дм ³	0,02	0,08	0,02	0,03	0,04	0,097	0,13
20.	Нефтепродукты	мг/дм ³	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05