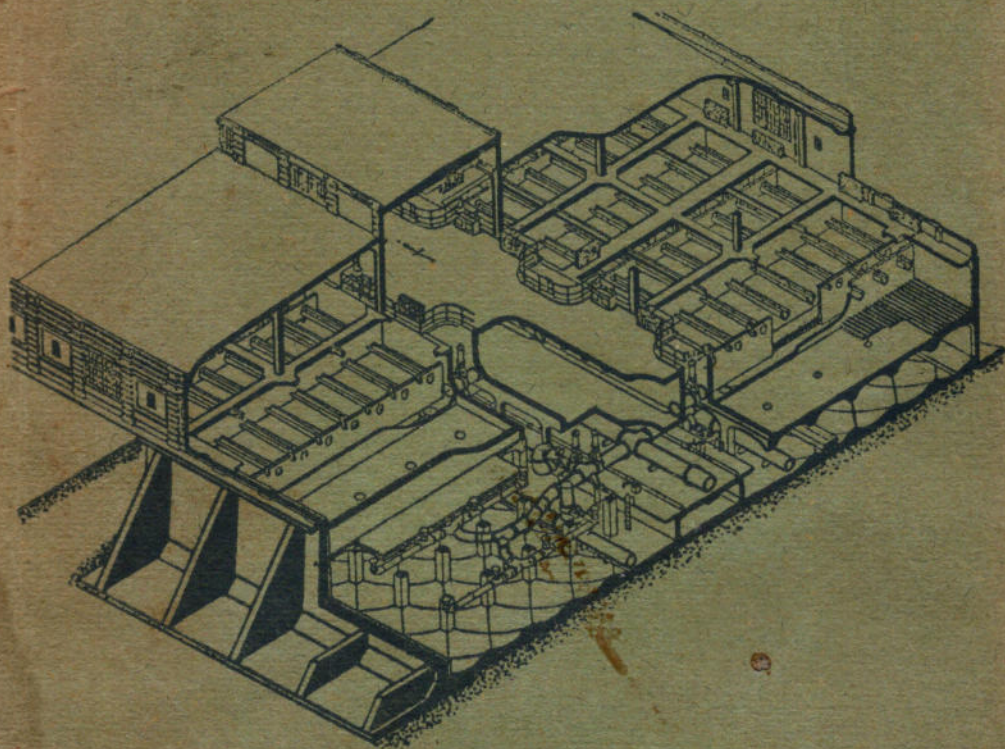


628.1
М-19

Н. Г. МАЛИШЕВСКИЙ

ОЧИСТКА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО 1930

M
39745

11

4390

22098 у

Н. Г. МАЛИШЕВСКИЙ

Профессор Харьковского технологического института

628.1

М-19

ОЧИСТКА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Допущено Наркомпросом РСФСР
в качестве учебного пособия для
высших учебных заведений и
техникумов

проверено
1966 г.



Харьковский
технологический
институт, г. Харьков

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

1 9 3 0

Институт, г. Харьков

Малишевский

Отпечатано в типографии Госиздата
„Красный пролетарий“. Москва,
Краснопролетарская ул., д. 16,
в количестве 3 000 экз.
Главлит № А—65748
Н—60 Гиз № 37736
Заказ № 342
18 п. л.

☆



ПРЕДИСЛОВИЕ.

В деле водоснабжения и в особенности очистки воды САСШ в настоящее время стоят впереди всех.

Введением улучшенных способов очистки они в последние три десятилетия достигли блестящих санитарных результатов. Число городских и сельских водопроводов достигает 9 000; ежегодные затраты на расширение старых и постройку новых водопроводов оцениваются приблизительно в 200—250 млн. руб., т. е. одного порядка с цифрой стоимости всех существующих водопроводов СССР. Этим объясняется громадный опыт САСШ в постройке и эксплуатации водопроводов, вот почему нам приходится учиться главным образом у американцев.

В настоящей книге наибольшее внимание уделено скорой фильтрации, так как она занимает сейчас господствующее положение в очистке воды в САСШ. Такое же место стремится она занять и у нас. Постройки очистных станций последних лет все являются подражанием новейшим конструкциям американских скорых фильтровальных установок. Под руководством или по указаниям автора по этому типу построены очистные станции: в Ромнах—пущена в работу в конце 1926 г. (обезжелезивание); в Кривом Роге—пущена в январе 1927 г.; в Белой Церкви, Коростене, Запорожье; начаты постройкой в Днепропетровске и на С. Донце (Алмазно-марьевский водопровод). Новые фильтры в Ленинграде, Ростове н/Д. также относятся к этому новому типу. Дальнейшее развитие Рублевской фильтровальной станции также очевидно пойдет по этому пути.

Настоящая книга представляет собой совершенно переработанное и сильно расширенное новое издание литографированного руководства для студентов, выпущенного в 1926 г. Харьковским технологическим институтом.

Главные пособия:

- 1) Ellms, Water Purification, изд. 1918 и 1928 гг.
- 2) M. Stein, Water Purification plants, 1926 г.
- 3) Water Works Practice, 1925 г.
- 4) Public Water Supplies by Turneure and Russel, 1924 г.
- 5) Waterworks Handbook by Flinn R. Weston and Bogert, 1927 г.
- 6) Journal of the American Water Works Association (J. A. W. W. A.).

- 7) «Engineering News Record» (E. N. R.).
- 8) Lueger Weyrach, Die Wasserversorgung der Städte, 1. Band, 1914, 2. Band, 1916.
- 9) Ziegler, Schnellfilter, ihr Bau und Betrieb, 1919.
- 10) Стандартные методы исследования питьевых и сточных вод, 1927 г.
- 11) Buswell, The Chemistry of Water, 1928.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

Предисловие	Стр. 3
-----------------------	--------

Глава I. Естественная вода и ее примеси.

§ 1. Способы очистки воды	11
§ 2. Вода в природе	12
§ 3. Самоочищение естественных водоемов	15
§ 4. Живучесть болезнетворных бактерий	17

Глава II. Анализ воды.

§ 5. Химический анализ	19
§ 6. Бактериологический анализ	26
§ 7. Биологический анализ	28

Глава III. Значение очистки воды для здоровья населения.

§ 8. Эпидемии холеры	31
§ 9. Эпидемии брюшного тифа	32
§ 10. Эндемический тиф и связь его с водоснабжением	34
§ 11. Падение смертности от тифа в Северной Америке	35
§ 12. Общее понижение смертности в Европе и Америке	37
§ 13. Изменение возрастного состава населения Соединенных штатов	39
§ 14. Заключение	40

Глава IV. Отстаивание.

§ 15. Процесс осаждения взвесей в воде. Диаграмма Штеуэрнагеля. Выводы Га- зена. Степень использования объема	41
§ 16. Равномерный впуск и выпуск воды из отстойника	45
§ 17. Перегородки в отстойнике	47
§ 18. Опыты Дроздова	48
§ 19. Чистка отстойников. Процент мути, задерживаемый отстойниками	51
§ 20. Практические данные	52
§ 21. Круглые отстойники. Опыты Панова	54
§ 22. Аппарат Догра	55

Глава V. Аэрация.

§ 23. Общие соображения	58
§ 24. Практические данные	60

Глава VI. Коагуляция.

	Стр.
§ 25. Взвешенные и коллоидные частицы	62
§ 26. Реакции осаждения глиноземом	—
§ 27. Единицы жесткости	64
§ 28. Глинозем	65
§ 29. Известь	67
§ 30. Сода	68
§ 31. Железный купорос	69
§ 32. Место введения в воду реактивов	70

Глава VII. Смесители.

§ 33. Скорость в смесителе. Смеситель с перегородками	72
§ 34. Круглые смесители и гидравлический удар	73

Глава VIII. Коагуляционное здание и способы прибавления коагулянта или реактивов.

§ 35. Общие соображения. Простые коагуляционные здания	76
§ 36. Крупные и сложные коагуляционные здания	79
§ 37. Мокрый способ прибавления коагулянта. Практика московского и ленинградского водопроводов	81
§ 38. Неразъедаемые материалы для сосудов с реактивами. Схема небольшой установки	83
§ 39. Аппарат для автоматического приготовления раствора и дозирования коагулянта	86
§ 40. Сухой способ прибавления реактивов. Червячный аппарат, дисковый и барабанный	87
§ 41. Дозирование при меняющихся расходах воды	90

Глава IX. Фильтрация.

§ 42. Свойства фильтрующей среды—песка	93
§ 43. Поверхностная пленка. Диаграмма Пифке	94
§ 44. Закон движения воды в песке. Эффективный размер зерна. Способ его определения	96
§ 45. Математическое выражение движения воды через пленку	100

Глава X. Устройство английских фильтров.

§ 46. Устройство фильтрующей постели и дренажа	102
§ 47. Устройство входа и выхода воды из фильтра	105
§ 48. Чистка фильтров	107
§ 49. Контроль над действием фильтров	109
§ 50. Механическая чистка фильтра. Эжектор для передвижения и мойки песка	110
§ 51. Промывочные машины Николая и Влесделя	115
§ 52. Конструкция фильтров и резервуаров	117
§ 53. Роль фильтров в очистке воды	121

Глава XI. СКОРАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ.

	<i>Стр.</i>
§ 54. Общие соображения и история развития скорой фильтрации	124
§ 55. Опытное изучение скорой фильтрации Фуллером и др.	125
§ 56. Устройство скорых фильтров старого типа	127
§ 57. Напорные фильтры	130
§ 58. Переход от мешалочных фильтров к безмешалочным	132

Глава XII. УСТРОЙСТВО СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ НОВОГО ТИПА.

§ 59. Устройство здания фильтров	134
§ 60. Оборудование фильтров	136
§ 61. Планировка фильтровальных станций	143
§ 62. Устройство фильтрующего слоя	145
§ 63. Большое сопротивление в дренаже	146
§ 64. Конструкции дренажа	148

Глава XIII. РАСЧЕТ ДРЕНАЖА, ПРОМЫВКИ И ЖОЛОБОВ.

§ 65. Опыты с движением воды в дырчатых трубах	154
§ 66. Новый способ расчета дренажа	157
§ 67. Расчет напора для промывки фильтра	162
§ 68. Баки и насосы для промывки	166
§ 69. Жолоба для отвода промывной воды	168
§ 70. Расчет жолоба	169

Глава XIV. РЕГУЛИРУЮЩИЕ И КОНТРОЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ.

§ 71. Регуляторы расхода	173
§ 72. Измерительные приборы. Водомер Вентури. Показатели потери напора. Показатели уровня воды	177
§ 73. Насосы для забора проб. Операционный стол	181

Глава XV. ДЕЙСТВИЕ ФИЛЬТРОВ.

§ 74. Допустимая мутность воды перед фильтрами. Вакуум в фильтре. Промывка	184
§ 75. Уход за отстаиванием и коагуляцией	188
§ 76. Уход за фильтрами	189

Глава XVI. РЕЗУЛЬТАТЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ.

§ 77. Скорые фильтры	193
§ 78. Медленные фильтры	198

Глава XVII. СРАВНЕНИЕ МЕДЛЕННЫХ И СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ И ДВОЙНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ.

§ 79. Сравнительные данные стоимости медленных и скорых фильтров	201
§ 80. Эксплуатационные расходы. Сравнительные достоинства и недостатки	205
§ 81. Двойная фильтрация	208

Глава XVIII. Другие способы фильтрации.

	Стр.
§ 82. Независные фильтры	212
§ 83. Фильтры в г. Торонто с движущимся песком	—
§ 84. Искусственная фильтрация через естественные грунты	213

Глава XIX. Дезинфекция воды.

А. Хлорирование.

§ 85. Хлорирование воды белильной известью	219
§ 86. Хлорирование газообразным хлором	223
§ 87. Однократное и двойное хлорирование	227
§ 88. Влияние хлора на вкус и запах воды	230
§ 89. Угольные фильтры для удаления запаха	234

В. Хлораторы.

§ 90. Простейший хлоратор	236
§ 91. Хлоратор Орнштейна	237
1. Устройство хлоратора	—
2. Регулирование хлоратора	240
3. Засорение трубок	241
4. Автоматическое регулирование расхода хлора; автоматическая остановка и пуск	242
§ 92. Хлоратор Ремесницкого	244
1. Общее описание	—
2. Редукционный и регулирующий клапаны	247
3. Газомер	248
4. Смеситель	249
§ 93. Хлоратор Парадон	250
§ 94. Хлоратор Уоллес и Тирнан	253

С. Другие способы дезинфекции.

§ 95. Озонирование	—
§ 96. Стерилизация воды ультрафиолетовыми лучами	255
§ 97. Очистка воды марганцевокислым кали	257
§ 97а Стерилизация серебром	—

Глава XX. Законы очистки питьевой воды.

§ 98. Первый закон	259
§ 99. Второй закон	263

Глава XXI. Удаление из воды железа, марганца, кальция и
магния.

	<i>Стр.</i>
§ 100. Обезжелезивание воды	266
§ 101. Жесткость, реакции смягчения воды известью и содой	269
§ 102. Смягчение воды на городских водопроводах	273
§ 103. Водоочистители промышленного типа	278
§ 104. Цементирование внутренней поверхности труб посредством обработки воды известью	281
§ 105. Смягчение воды цеолитом. Комбинированный способ	283
§ 106. Электроосмотический способ смягчения воды	285
§ 107. Дистилляция воды	287

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

1911

1912

1913

1914

1915

1916

1917

1918

1919

1920

1921

1922

1923

1924

1925

1926

1927

1928

1929

1930

1931

1932

1933

1934

1935

1936

1937

1938

1939

1940

1941

1942

1943

1944

1945

1946

1947

1948

1949

1950

1951

1952

1953

1954

1955

1956

1957

1958

1959

1960

1961

1962

1963

1964

1965

1966

1967

1968

1969

1970

ГЛАВА I.

ЕСТЕСТВЕННАЯ ВОДА И ЕЕ ПРИМЕСИ.

§ 1. Способы очистки воды. Вода естественных водоемов—рек и озер—обыкновенно не годна для питья благодаря загрязнению ее разными примесями. Часть примесей находится в растворе, другая— в псевдорастворе, во взвешенном коллоидальном состоянии,—и наконец третья, в виде механической примеси,—во взвешенном состоянии: песок, глина, земля, а также остатки растений, животных и самые животные и растения, в том числе и бактерии. Среди последних может находиться самая опасная примесь: болезнетворные бактерии холеры, тифа, дизентерии и пр.

Путем дистилляции воду можно освободить от всех примесей как взвешенных, так и растворенных, но этот способ очень дорог и потому применяется в очень редких случаях, когда нет другого исхода. Техника не изобрела еще дешевого и удобного способа освобождения морской воды от солей, поэтому морская вода и не может служить для водоснабжения.

В настоящее время техника располагает дешевыми средствами освобождения воды только от растворенных солей металлов кальция, магния, железа и марганца.

Водопроводную воду приходится очищать обыкновенно не от солей, а от взвешенной мути и бактерий.

Процесс очистки воды распадается на несколько отдельных операций:

- 1) простое отстаивание;
- 2) отстаивание с коагуляцией;
- 3) фильтрация:
 - а) медленная, или английская,
 - б) скорая, или американская,
 - с) двойная фильтрация,
- 4) дезинфекция воды хлором или другими способами,
- 5) аэрирование—применяется для освобождения воды от газов,
- 6) удаление из воды растворенных солей железа и марганца, если их оказывается много в природной воде,
- 7) смягчение жесткой воды, т. е. освобождение ее от солей кальция и магния.

Прежде чем приступить к описанию способов очистки воды, необходимо познакомиться со свойством самой воды и ее обычных примесей.

§ 2. Вода в природе. Вода представляет собой химическое соединение 2 вес. ч. водорода с 16 вес. ч. кислорода H_2O . В чистом виде она получается путем дистилляции. Наибольшую плотность вода имеет при 4° ; эта плотность и принимается за единицу измерения плотностей.

При 0° плотность воды 0,99987; при 10° —0,99973; 20° —0,99823; 30° —0,99668; 50° —0,98807; 100° —0,95838.

Плотность морской воды процента на 3 выше, чем пресной.

Плотность льда 0,917, т. е. объем льда больше объема воды на $\frac{1}{11}$. Временное сопротивление льда раздроблению—около 25 $кг/см^2$. Скрытая теплота таяния равна 80 калориям, а скрытая теплота испарения при 100° и 760 мм давления равна 536,5 кал.

Вода совершает непрерывный круговорот на земном шаре. С поверхности открытых водоемов: океанов, морей, озер и рек вода непрерывно испаряется. Водяные пары поднимаются в верхние части атмосферы, переносятся ветрами и, конденсируясь, снова попадают на землю в виде осадков: дождя, снега и росы.

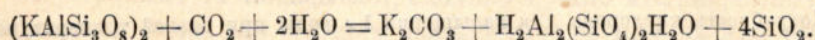
Выпавшая на землю вода в виде дождя сейчас же снова подвергается испарению в такой сильной степени, что большая часть выпавшей воды снова улетучивается с поверхности земли в виде пара. Оставшаяся на земле вода в большей своей части быстро стекает по поверхности в ручьи, реки и наконец моря. Другая, меньшая часть оставшейся на земле воды просачивается в землю, образуя подземные воды, также постепенно стекающие в те же реки и моря.

Дождевая вода как продукт естественной дистилляции вначале совершенно чиста, но, еще проходя через атмосферу, она растворяет углекислоту, кислород, азот, азотную кислоту и механически захватывает пыль, бактерии и пр. Дождевая вода попадает в реки двояким способом: или посредством прямого и быстрого поверхностного стока, или путем медленного подземного потока, просачивающегося через пористые или трещиноватые породы земли. В первом случае вода смывает с поверхности земли громадное количество почвенных бактерий вместе с частицами почвы—мутью. Во втором случае вода может профильтроваться через песок и поступать в реку совершенно прозрачной, но на своем длинном (иногда долгодетнем) пути вода растворяет соли кальция, магния и других металлов и минерализуется. Растворяющую силу воды сильно увеличивает углекислота CO_2 ; ею вода обогащается, просачиваясь через почву с гниющими остатками растений, выделяющими CO_2 .

Зимой, когда реки питаются почти исключительно грунтовой водой, минерализация речной воды значительно повышается, но вода бывает чистая. Летом дождевые стоки уменьшают минерализацию, но зато увеличивают мутность воды. Вода многих больших рек летом почти всегда мутна, так как при обилии притоков какие-нибудь из них всегда находятся в области дождей и несут мутную воду.

Состав растворенных веществ речной воды зависит от геологических формаций, образующих речной бассейн. Воды, протекающие в областях первичных пород—гранитов, гнейсов и пр., отличаются сравнительной мягкостью и большим содержанием углекислых и сернокислых солей натрия и калия.

Такой состав объясняется химическим действием воды вместе с углекислотой на полевой шпат—смешанный силикат калия или натрия и алюминия.

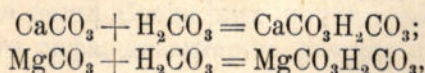


Углекислый калий и SiO_2 растворяется в воде, а каолин выделяется как глинистый осадок. Состав первичных пород таков, что в результате воздействия на них воды с углекислотой получается в растворе большое количество углекислых щелочей (K,Na) и малое—двууглекислых щелочных земель (Ca,Mg). С одной стороны мягкость, а с другой значительная щелочность— вот характерные особенности такой воды.

В этой воде, богатой углекислыми щелочами, удерживается в коллоидальном состоянии значительное количество SiO_2 , Al_2O_3 и Fe_2O_3 .

В таком состоянии эти вещества трудно вступают в реакцию и плохо задерживаются фильтрами. Они придают воде опалесцирующий вид благодаря отражению света от частиц.

Воды, происходящие из областей со вторичными осадочными породами, отличаются прямо противоположным составом своих растворенных веществ. Известняки, доломиты (смесь углекислых солей кальция и магния), песчаники, сланцы, глины, пески и гравий— вот пласты осадочных пород. Вода, просачивающаяся через известняки, растворяет их благодаря присутствию CO_2 :



превращающей нерастворимые монокарбонаты в растворимые бикарбонаты кальция и магния. Эти двууглекислые соли создают временную жесткость воды. При кипячении углекислота улетучивается, и бикарбонаты снова превращаются в монокарбонаты и выпадают из

воды в виде осадка, освобождая таким образом воду от временной жесткости ¹.

Известняки и доломиты распространены и среди других осадочных напластований, поэтому воды из осадочных пород отличаются жесткостью (временной).

Среди осадочных пород встречаются залежи хлористых солей (NaCl , CaCl_2), а также сернокислых CaSO_4 и MgSO_4 , и вообще эти соли встречаются в виде примесей к другим осадочным породам. Растворы этих солей в воде придают ей постоянную жесткость, неустранимую кипячением.

Следы азотнокислых солей встречаются в разных горных породах, поэтому и они могут растворяться в воде.

Таблица 1.

Потребность кислорода для насыщения 1 л воды при разной температуре.

Температура	Кислород мг	Температура	Кислород мг	Температура	Кислород мг
0	14,70	11	11,05	21	9,01
1	14,28	12	10,80	22	8,84
2	13,88	13	10,57	23	8,67
3	13,50	14	10,35	24	8,51
4	13,14	15	10,14	25	8,35
5	12,80	16	9,94	26	8,19
6	12,47	17	9,75	27	8,03
7	12,16	18	9,56	28	7,88
8	11,86	19	9,37	29	7,74
9	11,58	20	9,19	30	7,60
10	11,31				

Железо очень распространено в природе; чаще всего оно встречается в виде гематита (Fe_2O_3). Вода, просачивающаяся через породы,

¹ Условность этого положения выяснится в главе Смягчение воды.

содержащие железо, часто бывает лишена кислорода, поглощенного окислением органических веществ. В таком состоянии вода отнимает кислород от Fe_2O_3 и раскисляет его в FeO — закись железа. FeO вступает в реакцию с CO_2 и образует растворимый бикарбонат железа $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$. Многие подземные воды содержат в своем растворе железо в этой форме. Если такая подземная вода приходит в соприкосновение с воздухом, то $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ окисляется в гидрат окиси $\text{Fe}(\text{OH})_3$, выпадающий из воды в виде бурых хлопьев.

Углекислота попадает в воду из воздуха, из почвы от разлагающихся растений, а также от разлагающихся растений в болотах, озерах и пр.

Все поверхностные воды обыкновенно содержат значительное количество кислорода, более 50% того количества, какое нужно для полного насыщения воды кислородом при данной температуре. Таблица 1 на странице 14 показывает, сколько нужно миллиграммов кислорода на литр воды для полного насыщения ее при разных температурах.

§ 3. Самоочищение естественных водоемов. Загрязнение воды гниющими органическими веществами сейчас же сказывается на уменьшении кислорода в воде, так как он расходуется на окисление органических веществ. При очень сильном загрязнении вода теряет весь свой кислород и становится гнилой. По степени насыщения воды кислородом можно судить о большем или меньшем ее загрязнении органическими веществами. Гниющие органические вещества сообщают воде желто-коричневую окраску, происходящую от танинов и органических кислот, образующихся из листьев и коры деревьев и кустарников.

Свойства естественных вод могут сильно изменяться спуском в них отработанных промышленных и канализационных вод. Сточные воды угольных шахт сильно загрязняют реки угольных районов. Самая вредная примесь их — серная кислота H_2SO_4 и сернокислое железо, происходящие из минерала пирита FeS_2 . Эти воды производят разъедание чугунных труб и медных частей арматуры.

Городские канализационные воды вносят в реки и озера много гниющих органических веществ и массу бактерий: по несколько миллионов штук в 1 куб. см воды. Среди них попадаются и болезнетворные бактерии брюшного тифа, дизентерии, холеры и пр.

Под влиянием деятельности некоторых форм бактерий органические вещества сточных вод окисляются за счет кислорода, растворенного в речной воде, благодаря чему вода становится бедной кислородом и при большой примеси сточных вод может совсем лишиться кислорода, превращаясь в вонючую гниющую жидкость. При отсутствии

кислорода в воде размножаются анаэробные бактерии, не нуждающиеся в кислороде; деятельностью многочисленных видов этих бактерий разлагаются белки, клетчатка, жиры и пр. Сложные, еще мало изученные жизненные отправления этих бактерий переводят упомянутые сложные вещества в более простые альбумозы, пептоны, аминокислоту, аммоний, метан и сероводород.

Анаэробные бактерии, совершив свою работу, постепенно исчезают, так как новая среда, являющаяся результатом их работы, для них неблагоприятна. На их место снова появляются аэробные формы, а необходимый для их жизни кислород растворяется водой из воздуха.

Аэробные бактерии продолжают работу анаэробных, окисляя при посредстве кислорода то, что осталось им в наследство от анаэробных бактерий: азотистые вещества — в нитриты и нитраты, серу — в сульфаты и углерод — в углекислоту. Таким образом заканчивается цикл минерализации органических веществ.

В этом процессе самоочищения рек и озер принимают участие также водоросли, растения и многие виды простейших животных — *protosoa*, причем некоторые *protosoa* питаются бактериями.

Сточные воды, загрязняя реку, делают ее мутной, солнечные лучи благодаря этому не проникают в воду; водяные зеленые растения, производящие кислород, не могут жить без солнца, умирают и разлагаются. Такое же убийственное действие производит на растения и на животных исчезновение кислорода.

По мере самоочищения реки и осадения мути солнечные лучи снова начинают проникать в воду и вызывают к жизни зеленые растения, обогащающие воду кислородом. По окончании гнилостных анаэробных процессов в воде сохраняется и кислород, растворяющийся из воздуха, и снова появляются не только аэробные бактерии, но и высшие животные организмы, содействуя своей жизнедеятельностью процессам самоочищения водоема. Солнечные лучи непосредственно убивают бактерии в поверхностном слое воды. Осаждение взвешенных частиц играет большую роль в процессах самоочищения, избавляя воду от большого количества мути и бактерий. Осевшая на дно муть вместе с держащимися на ней бактериями подвергается здесь таким же процессам минерализации органических веществ, какие происходят и в воде.

Сравнительно редко загрязнение рек сточными водами достигает такой степени, что в них развиваются гнилостные процессы, в большинстве же случаев дело не доходит до этого, а выражается только в понижении содержания кислорода и в развитии аэробных процессов. Исчезают при этом некоторые высшие формы животных, свойственные чистой воде.

Длительность процесса самоочищения рек зависит от отношения между количеством канализационных стоков и расходом воды в реке. Чем больше стоков, тем дольше длится работа самоочищения. При небольших загрязнениях река справляется с ними на протяжении какого-нибудь километра, при значительных же загрязнениях требуются десятки километров речного пути прежде, чем вода достигнет той чистоты, какая была до впуска сточных вод.

Процесс самоочищения рек избавляет воду от гниющих органических веществ, сильно уменьшает количество бактерий, но часть бактерий продолжает оставаться в воде, а вместе с ними могут оказаться и болезнетворные бактерии холеры, тифа и пр. Примесь этих бактерий к воде и составляет главную опасность для людей. Самоочищением рек эта опасность только уменьшается, но не устраняется.

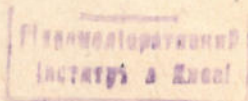
§ 4. Живучесть болезнетворных бактерий. Для санитарии водоснабжения представляет большой интерес вопрос о том, как долго могут сохраняться болезнетворные бактерии в естественных водоемах. Можно считать доказанным, что паразитные бактерии из кишечника человека и высших животных не могут размножаться в чуждой им обстановке естественного водоема, но они продолжают жить в нем, вымирая естественною смертию около 20% в день. По наблюдениям А. Хаутсона в громадных отстойниках лондонского водопровода тифозные бактерии вымирают в 3—4-недельный срок. Однако другие исследователи открывали тифозных бактерий после 6 недель и более; во льду находили тифозных бактерий спустя 100 дней. Наблюдения показывают также, что холерные вибрионы держатся в воде до 3 месяцев¹.

В выгребных ямах тифозные бактерии выживали по 40 и более дней; холерные вибрионы в этих условиях повидимому погибают быстрее. В почве тифозные бактерии живут 70—80 дней.

Большая живучесть болезнетворных бактерий в воде не дает возможности рассчитывать на естественное обеззараживание природных открытых водоемов и заставляет прибегать к искусственной очистке воды. На основании своих опытов над лондонскими отстойными озерами-резервуарами Хаутсон утверждает, что месячное отстаивание уже освобождает загрязненную речную воду р. Темзы и Нью-Ривер от болезнетворных бактерий. Однако приведенные наблюдения других исследователей свидетельствуют, что для такого самообеззараживания воды вообще нужны гораздо более длинные сроки, что

¹ Public Water Supplies by Turneaure, Russel, 1924 г., стр. 108; Handbuch der Hygiene Wasserversorgung, 1924 г., стр. 57.

² Н. Г. Малишевский, Очистка питьевой воды



делает этот способ практически почти неприменимым. Лондонский водопровод довел в последние годы объем своих отстойных резервуаров до почти трехмесячного расхода. Необходимость таких больших запасов воды вызывается тем, что расход Темзы очень непостоянен и по временам его не хватает для водоснабжения Лондона. Средний суточный расход Лондона — 1 000 000 куб. м.

Водопроводы в Лондоне имеют следующие особенности: 1) они построены в виде подземных труб, 2) имеют большие запасы воды в отстойных резервуарах, 3) имеют систему очистки воды, 4) имеют систему распределения воды по городу.

Водопроводы в Лондоне имеют следующие особенности: 1) они построены в виде подземных труб, 2) имеют большие запасы воды в отстойных резервуарах, 3) имеют систему очистки воды, 4) имеют систему распределения воды по городу.

Водопроводы в Лондоне имеют следующие особенности: 1) они построены в виде подземных труб, 2) имеют большие запасы воды в отстойных резервуарах, 3) имеют систему очистки воды, 4) имеют систему распределения воды по городу.

Водопроводы в Лондоне имеют следующие особенности: 1) они построены в виде подземных труб, 2) имеют большие запасы воды в отстойных резервуарах, 3) имеют систему очистки воды, 4) имеют систему распределения воды по городу.

Глава II.

АНАЛИЗ ВОДЫ.

§ 5. Химический анализ. Качество воды определяется ее анализами: физико-химическим и бактериологическим. Производится также еще и биологическое исследование водоемов, но оно имеет более ограниченное значение.

Физико-химический анализ, обыкновенно называемый просто химическим, дает нам химический состав растворенных в воде веществ, а также физические качества воды: цвет, запах, температуру, прозрачность, количество взвешенных веществ и пр.

С санитарной стороны значение разных примесей воды очень различно.

С тех пор как было замечено, что загрязнение воды кишечными извержениями имеет наиболее пагубное влияние на ее качества, стали тщательно исследовать содержание в воде четырех азотистых соединений: белковый, или альбуминоидный, аммиак, свободный аммиак, азотистую и азотную кислоты. Первый указывает на свежее загрязнение воды животными или растительными белковыми веществами. Свободный аммиак есть первый продукт разложения белков. Следующую ступень представляет азотистая кислота N_2O_3 и наконец последнюю — азотная N_2O_5 .

Указанные азотистые соединения вредны не сами по себе, а только как показатели загрязнения воды, разлагающейся органической материей, чаще всего фекалиями, что в свою очередь связано с загрязнением воды кишечными бактериями. Белковый и свободный аммиак указывают на недавнее загрязнение воды, азотистая кислота, представляющая собою нестойкий переходный продукт окисления аммиака, также считается показателем не очень давнего загрязнения. Окончательный же продукт окисления аммиака — азотная кислота N_2O_5 , указывает на отдаленное загрязнение, после которого вода могла успеть уже значительно очиститься.

Только содержание азотной кислоты в небольшом количестве считается допустимым в питьевой воде; N_2O_3 и NH_3 должны отсутствовать, если только их появление не обуславливается геологическим строением земных пластов, что случается при болотных и артезианских водах. В таком случае наличие аммиака не опорочивает качества воды.

Большое количество, более 30 м в литре хлора в воде, также может указывать на загрязнение ее канализационными водами или стоками выгребных ям, более богатыми поваренной солью.

Но если большое содержание соли вызывается солончаковой почвой, тогда санитарные опасения отпадают.

Щелочность воды вызывается углекислыми, двууглекислыми солями и гидратами; она не имеет значения в санитарном отношении, если только не достигает чрезмерной величины в силу каких-либо особых обстоятельств.

В последнее время стали различать активную щелочность и активную кислотность, отличающуюся от общей щелочности и кислотности воды, определяемой титрованием.

Кислоты и щелочи, растворенные в воде, стремятся ионизироваться, т. е. разложиться на водородные и другие ионы.

Слабые и сильные кислоты и щелочи различаются степенью ионизации. Так, например, сильная соляная кислота HCl ионизируется почти на 90%, а слабая уксусная кислота $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ только на 2%, еще более слабая борная кислота H_3BO_3 — на 0,005%.

Активность кислот и щелочей, а также и солей определяется следовательно степенью ионизации или, другими словами, «концентрацией водородных ионов».

Во всяком растворе произведение из количества диссоциированных водородных ионов на количество других ионов есть величина постоянная. Чистая вода нейтральна.

Активная реакция воды, содержащей растворенные вещества, зависит от диссоциаций частиц воды H_2O на водородные и гидроксильные ионы H и OH' . H и OH' связаны между собою уравнением $[\text{H}] \times [\text{OH}'] = K$, поэтому по количеству ионов H можно определить и количество ионов $\text{OH}' = \frac{K}{\text{H}}$. Таким образом активную реакцию можно выражать относительным количеством или концентрацией водородных ионов.

Нейтральная реакция определяется равенством концентрации тех и других ионов.

Постоянная диссоциации воды K равна 10^{-14} . Следовательно при нейтральной реакции концентрация водородных ионов будет $[\text{H}] = [\text{OH}'] = \sqrt{K} = 10^{-7}$.

Кислая реакция характеризуется избытком водородных, а щелочная — гидроксильных ионов. Кислая реакция $[\text{H}] > 10^{-7} > [\text{OH}']$. Щелочная реакция $[\text{H}] < 10^{-7} < [\text{OH}']$.

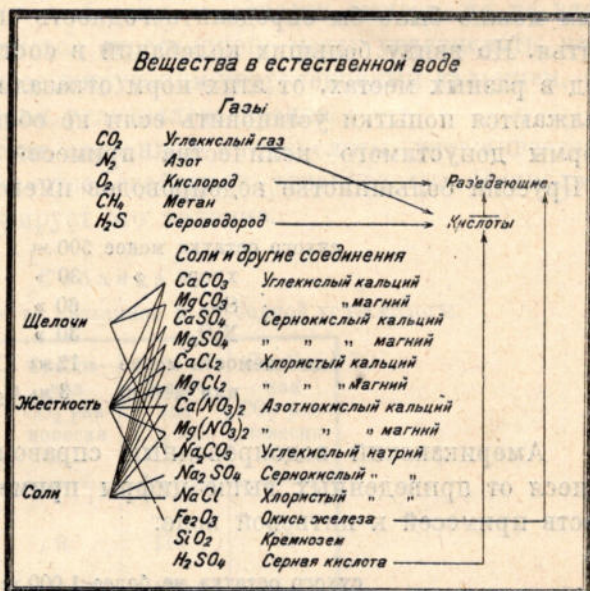
По общепринятому правилу концентрация выражается более

простой условной формулой, где пишется только показатель степени без минуса. Вместо $[H] = 10^{-7}$ пишется $pH = 7$. При кислой реакции pH менее 7, при щелочной $pH > 7$; при нейтральной $pH = 7$.

Установлено, что для каждой воды имеется концентрация водородных ионов, при которой процесс коагуляции, т. е. образования хлопьев, происходит лучше и скорее всего. При большей или меньшей концентрации ионов процесс проходит хуже. Прибавлением щелочи или кислоты всегда можно достигнуть требуемой концентрации ионов, которая для каждой воды должна быть установлена опытом. Наилучшая концентрация ионов для коагуляции колеблется между 5,0 и 7,0. Определение концентрации ионов производится особыми приборами.

Сухой остаток после выпаривания представляет собой все вещества, находившиеся в воде в растворе.

Растворенные минеральные вещества естественных вод состоят из катионов: калия, натрия, кальция, магния, железа, марганца и алюминия и из анионов:



Черт. 1.

хлора, SO_3 , гидрофосфата, N_2O_3 , N_2O_5 , гидрокарбоната и карбоната CO_2 и SiO_2 ¹.

На черт. 1 дана таблица, заимствованная из американской «Water Works Practice» 1925 г., стр. 113, дающая наглядное представление о веществах, обычно растворенных в естественной воде. Здесь нужно только одно замечание: $CaCO_3$ и $MgCO_3$ мало растворимы, а в водном растворе находятся обыкновенно двууглекислые кальций и магний $CaH_2(CO_3)_2$ и $MgH_2(CO_3)_2$. Подробнее об этом в главе о смягчении воды.

Содержание в воде того или иного количества растворенных минеральных солей не имеет значения в санитарном отношении, если только концентрация раствора не переходит пределы, за которыми

¹ О способах выражения анализа см. Н. Н. Славянов; «Эквивалентная форма выражения анализов воды и ее применение», 1929 г.

начинается порча вкуса воды. По Рубнеру вкус воды портится если в одном литре содержится:

поваренной соли NaCl	300— 400 м _г
гипса CaSO_4	500— 600 »
сернистой магнезии MgSO_4	500—1 000 »
хлористого магния MgCl_2	60— 100 »
смеси этих солей	300— 400 »

Прежде пытались установить предельные допустимые количества разных растворенных и взвешенных веществ в воде, по которым можно было бы определять годность или негодность воды для питья. Но ввиду больших колебаний в составе примесей природных вод в разных местах, от этих норм отказались. Однако все же продолжают попытки установить если не обязательные, то примерные нормы допустимого количества примесей в питьевой воде. Так, в Пруссии большинство водопроводов имеют воду, в которой:

сухого остатка менее 500 м _г в литре	
хлора »	30 » » »
SO_3	60 » » »
N_2O_3	30 » » »
окисляемость менее	12 м _г KMnO_4
или менее	3 м _г O_2 в литре.

Американский водопроводный справочник дает сильно различающиеся от приведенных выше цифры примерных предельных количеств примесей к питьевой воде:

сухого остатка не более 1 000 м _г в литре	
хлора » »	250 » » »
SO_4 » »	250 » » »
магния Mg	100 » » »
железа »	0,3 » » »
цинка »	5,0 » » »
свинца »	0,1 » » »
меди »	0,2 » » »

Углекислых солей калия и натрия, взятых вместе и посчитанных, как нормальный углекислый кальций, не более 50 м_г.

Содержание органических веществ в воде определяется количеством марганцевокислого калия KMnO_4 , потраченного на их окисление. Но если в воде содержится закись железа или другие неорганические вещества, способные поглощать кислород, тогда в результате окисления KMnO_4 должны быть внесены поправки. 0,316 KMnO_4 соответствует 0,08 O_2 , поэтому окисляемость, выраженная в кислороде, дает в 4 раза меньшую цифру.

Кислород, находящийся в воде, расходуется на окисление органических примесей; чем более загрязнена вода, тем больше поглощается кислорода. Проба на потребление кислорода производится таким способом. Испытуемая вода наливается в два одинаковые сосуда и одну минуту взбалтывается для насыщения кислородом, затем в одной пробе кислород определяется сейчас же, а в другой через 5 дней стояния в термостате при 18,3°. Большое содержание кислорода, особенно при мягкости воды, вызывает быстрое ржавление труб.

Присутствие в воде свободной углекислоты также делает воду агрессивной по отношению к бетону и отчасти железу, но не вся свободная углекислота является агрессивной; часть углекислоты находится в равновесии с диссоциирующим двууглекислым кальцием, и только совершенно свободная углекислота вредна.

При разных количествах связанной углекислоты удерживается в равновесии разное количество свободной углекислоты. Приводимая ниже таблица иллюстрирует это явление.

Таблица 2.

Зависимость количества связанной и свободной углекислоты.

Связанная CO ₂ м/л	Свободная CO ₂ равновесия м/л	Связанная CO ₂ м/л	Свободная CO ₂ равновесия м/л
5,06	0	110	35
15	0,25	120	47
20	0,5	130	61
30	1,0	140	76,4
40	1,75	150	93,5
50	3,0	160	112,5
60	4,8	170	132,9
70	7,5	180	154,5
80	11,5	190	176,6
90	17,5	200	199,5
100	25		

На черт. 1 показаны соли, вызывающие жесткость воды. Жесткость измеряется количеством поглощаемого водою мыла до

образования пены. Большая или меньшая жесткость воды с санитарной точки зрения безразлична, но для мытья жесткая вода невыгодна. (Подробнее об этом в главе о смягчении воды. О градусах жесткости — в главе о коагуляции.)

Обширные исследования последнего времени установили связь между распространением заболевания зобом и содержанием иода в воде и пище. С увеличением содержания иода уменьшается заболевание зобом. Делаются попытки борьбы с зобом путем прибавления к водопроводной воде солей иода в ничтожных долях, например 10 м иодистого натра на 1 куб. м воды. Результаты этих опытов будут иметь большое значение для местностей, пораженных зобом.

Грунтовые воды часто содержат закись железа, которая на воздухе переходит в окись и выпадает в бурый осадок. Хотя железо и безвредно для здоровья, но оно портит вид воды, засоряет трубы и благоприятствует развитию в трубах железных бактерий; поэтому при наличии в литре более 0,3 м железа воду приходится обезжелезивать.

Температура воды не имеет значения. В открытых водоемах она колеблется от 0 до 20° и более. Проходя через трубы и резервуары, вода летом охлаждается, зимой нагревается. При продолжительном пребывании в подземных сооружениях температура водопроводной воды может сильно разниться от температуры источника водоснабжения.

Кроме примесей в растворе вода открытых водоемов обычно несет еще муть, т. е. взвешенные более или менее грубые механические примеси как неорганические: песок, глина, земля и пр., так и органические: остатки растений и животных и живые растения и животные. Очистка водопроводной воды и имеет целью освобождение ее от мути и, что особенно важно, от бактерий.

Определение количества взвешенных примесей-мути может производиться химическим путем: путем сравнения весов сухих остатков после выпаривания сырой воды и фильтрованной через бумагу. В водопроводной практике мутность воды оценивается по ее прозрачности. У нас для этой цели пользуются стеклянным цилиндром Генера с делениями на сантиметры. Под дно цилиндра кладется штифт Снеллена № 1, цилиндр наполняется испытуемой водой до тех пор, пока штифт не перестанет быть видимым. Высота столба воды, при которой еще можно различать штифт, и выражает степень прозрачности воды.

В САСШ прозрачность воды определяется посредством стержня длиной 1,2 м. На одном конце стержня перпендикулярно к нему вставлена платиновая проволока, толщиной 1 мм и длиной 25 мм, на другом конце стержня на расстоянии 1,20 м от платиновой проволоки

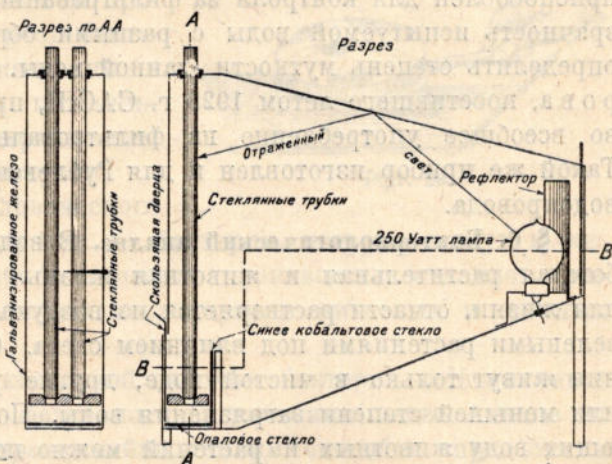
прикреплено проволочное кольцо. При определении прозрачности конец стержня с платиновой проволокой погружается вертикально в испытуемую воду, а глаз наблюдателя помещается в кольцо, отстоящем на 1,20 м от проволоки. Стержень погружается до тех пор, пока проволока еще будет различима. Глубина необходимого для этого погружения и определяет степень прозрачности.

Измерение должно производиться в полдень на открытом воздухе, но не на солнечном свете, и в сосуде настолько большом, чтобы боковые стенки его не заслоняли света.

В лабораториях САСШ обычно применяется другой, более точный, способ определения прозрачности или мутности. Образцы исследуемой воды сравниваются с заранее приготовленными образцами искусственно замутненной воды в одинаковых бутылках или пробирках. Стандартные образцы мутности приготавливаются прибавлением к совершенно чистой воде определенных весовых количеств фуллеровой земли (тонкой глины). Степень мутности определяется отношением примеси к воде, выраженным в миллионных долях. Этот способ определения мутности особенно пригоден для воды малой мутности, напр. коагулированной и фильтрованной; для этого случая предыдущие приемы слишком грубы.

Для определения очень слабой мутности и этот прием оказывается недостаточным. Самым тонким способом определения мутности является пропускание сильного луча света через испытуемую воду. Взвешенные в воде частички отражают сильный луч света и делают воду опалесцирующей, совершенно так же, как солнечный луч, проникая в комнату, освещает мельчайшие пылинки, носящиеся, казалось бы, в совершенно прозрачном воздухе. Вода, совершенно прозрачная на вид, при пропускании через нее луча света оказывается еще мутной, даже стерилизованная вода на свету обнаруживает мутность.

Американский исследователь Бейлис, обративший на это явление свое внимание, изобрел прибор, позволяющий обнаруживать



Черт. 2

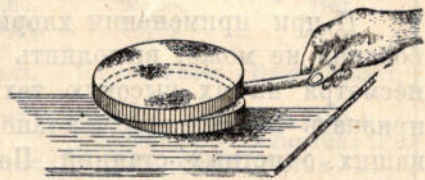
самые слабые следы мути. В узком ящике около метра длиной (черт. 2) помещаются две стеклянные трубки — одна с испытуемой водой, а другая с заранее приготовленной водой определенной мутности. Обе трубочки устанавливаются на пластинку с отверстиями. Сбоку этой пластинки ставится синее кобальтовое стекло. Когда сильная лампочка включается в электросеть, трубочки освещаются белым светом, а через дно их проникает только синий свет, пропускаемый кобальтовым стеклом. Если вода абсолютно прозрачна, то, смотря сверху в трубочку, наблюдатель увидит ясно синее дно, если же в воде есть муть, то появляется опалесценция, и синее дно становится менее видимым. При наличии в воде мути в количестве 0,000002 дно уже становится невидимым. Этим прибором можно определять только мутность, меньшую 0,000002, т. е. он специально приспособлен для контроля за фильтрованной водой. Сравнивая прозрачность испытуемой воды с разными образцами мутности, легко определить степень мутности данной воды. По словам С. А. Озерова, посетившего летом 1928 г. САСШ, прибор Бейлиса входит во всеобщее употребление на фильтровальных станциях Америки. Такой же прибор изготовлен и для Рублевской станции московского водопровода.

§ 6. Бактериологический анализ. В воде рек и озер развивается богатая растительная и животная жизнь. Кислород, необходимый для жизни, отчасти растворяется из воздуха, отчасти вырабатывается зелеными растениями под влиянием света. Одни животные и растения живут только в чистой воде, другие разводятся при большей или меньшей степени загрязнения воды. По родам и видам населяющих воду животных и растений можно поэтому до некоторой степени судить о степени ее загрязнения.

Для водопроводного дела наибольший интерес представляют низшие микроскопические организмы — бактерии. Большая часть их — сапрофиты — питаются мертвой органической материей; они совершенно безвредны для человека. Но среди бактерий попадаются и паразитные формы, живущие обычно в кишечнике человека и высших животных; многие и из этих бактерий безвредны, но среди них могут оказаться возбудители тяжких болезней: холеры, брюшного тифа, дизентерии и пр. Главная цель очистки воды и заключается в удалении из нее этих опасных видов бактерий. Приемы бактериологического анализа в настоящее время еще настолько несовершенны, что прямое обнаружение в воде болезнетворных бактерий чрезвычайно трудно. Бактериологический анализ пытается поэтому косвенным путем разрешить эту задачу, исходя из предположения, что при большом количестве всяких бактерий в воде — большая вероятность присутствия в ней и болезнетворных бактерий, при малом же количестве бактерий — мала и вероятность нахождения вредных бактерий.

На этом основании было установлено предельное допустимое количество бактерий в 1 куб. см воды — 100 экземпляров. Самый анализ производится таким образом. В стерильную стеклянную чашечку Петри (фиг. 2а) вливается испытуемая вода и стерильный подогретый раствор питательной желатины. Поворачиванием чашечки вода перемешивается с желатиной, и чашечка, накрытая стерильной крышкой, ставится в термостат на 48 часов при 20—22°. По истечении 48 часов каждая бактерия, размножаясь, образует около себя скопление бактерий — целую колонию, заметную простым глазом; счет колоний и дает количество бактерий, находившихся в воде. Если для пробы брался 1 см³ воды, то сразу и получаем число бактерий в 1 куб. см. При большом содержании бактерий в воде микропипеткой берутся доли 1 куб. см воды.

Таким же самым способом производится и анализ на рост бактерий при 37°. Вместо желатины в этом случае применяется питательный агар, и чашечка выдерживается в термостате при 37° одни сутки.



Черт. 2а.

При температуре человеческого тела 37° размножаются лучше те бактерии, которые живут в животном организме. Подробное описание производства анализов приведено в «Стандартных методах исследования питьевых и сточных вод».

Присутствие в воде кишечной палочки бактерии *coli* является несомненным показателем фекального загрязнения воды. Анализ на бактерии *coli* является чрезвычайно тонким способом определения малейшего загрязнения воды, не обнаруживаемого никаким другим способом. К тому же он показывает то загрязнение, которое и составляет главную опасность для человека. Если в воде имеется кишечная палочка, значит содержимое кишок где-то попало в воду, а в нем могли быть и тифозные и дизентерийные и прочие бактерии.

Кишечная палочка служит показателем возможности заражения воды тифозными и прочими бактериями. Мы вынуждены пользоваться этой косвенной уликой вследствие чрезвычайной трудности прямого открытия бактерий тифа.

Для анализа на бактерии *coli* образцы воды берутся в количествах, идущих в геометрической прогрессии: 100 см³, 10; 1; 0,1; 0,01 и т. д. Если в пробах 0,01 и 0,1 см³ *coli* не обнаружено, а найдено в пробах 1 куб. см и выше, то результат анализа выражается словами: титр *coli* равен 1 куб. см; это значит, что в количествах, меньших 1 куб. см бактерий *coli* не находится. При более подробном

анализе исследуется на присутствие бактерии coli большое количество образцов в 100, 10, 1,0, 0,1 и т. д. куб. см и определяется процент проб, давших положительные результаты. До недавнего времени было общепринято, что титр бактерий coli хорошей питьевой воды не должен быть меньше 50 куб. см. В 1925 г. в САСШ введены более строгие нормы, и титр coli повышен до 100 куб. см.

В руководстве по надзору и уходу за фильтровальными станциями, изданном Постоянным бюро водопроводных съездов 1927 г., стр. 19, выставлено чрезмерно строгое требование к титру coli: «Бактерии группы coli должны отсутствовать при исследовании на них фильтрованной воды в 200—400 куб. см. Этому требованию фильтры выполнить не могут, а потому при наличии в воде группы coli вода должна подвергаться стерилизации».

И при применении хлорирования после фильтрации этого требования не может выполнить большинство американских установок, несмотря на их высокую технику и умелый уход; поэтому нельзя признать правильной постановку такого высокого требования для наших очистных станций. Подробнее об этом в главе XX. Законы очистки питьевой воды.

§ 7. Биологический анализ. «Одни организмы для успешного развития своего требуют обильного органического питания, почему могут развиваться лишь в водах, сильно загрязненных и содержащих достаточное количество органических веществ. Другие требуют для своего развития меньших количеств органических веществ и потому успешно развиваются в менее загрязненных водах. Многие организмы наконец могут обходиться вовсе без органических веществ и способны развиваться даже в самых чистых водах, не содержащих этих последних. («Стандартные методы исследования питьевых и сточных вод», стр. 149, Москва, 1927).

Разные организмы различно относятся к загрязнению воды: одни—более выносливы, другие—менее. Большее или меньшее содержание в воде кислорода, углекислоты, метана, сероводорода, щелочности или кислотности различно отражается на разных организмах. Способность организма развиваться в воде с той или иной степенью загрязнения называется его *сапробностью*. По организмам, населяющим воду, по этому можно судить о степени ее загрязнения. Таких показательных организмов известно около 1 000. Все они разделяются на *полисапробные*, размножающиеся в наиболее загрязненных водах, *мезосапробные*, живущие в средне-загрязненных водах, и *олигосапробные*, населяющие чистые воды.

Для развития полисапробных организмов необходимо сильное загрязнение водоема легко разлагающимися органическими веществами; кислород при этом почти исчезает, а появляется сероводород,

Таблица 3.
Схематическая характеристика сапробных зон.

Признаки	Зона полисапробная	Зона α -мезосапробная	Зона β -мезосапробная	Зона олигосапробная
1. Химический состав.	Белковые вещества.	Аммиак, аминокислоты, амиды, амидокислоты.	$\text{NH}_3, \text{N}_2\text{O}_3, \text{N}_2\text{O}_5$	N_2O_5 .
2. Кислородные условия.	Анаэробные.	Полуанаэробные.	Аэробные.	Аэробные.
3. Характер биохимических процессов.	Восстановительные.	Восстановительно-окислительные.	Окислительные.	Окислительные.
4. Угловая кислота.	Много.	Порядочно.	Немного.	Мало.
5. Сероводород.	Много.	Порядочно.	Мало.	Нет.
6. Форма соединений железа.	FeS .	$\text{FeS} + \text{Fe}_2\text{O}_3$.	Fe_2O_3 .	Fe_2O_3 .
7. Проба на загниваемость.	Загнивает.	Загнивает.	Не загнивает.	Не загнивает.
8. Источники кислорода.	Диффузия.	Диффузия.	Диффузия и ассимиляция CO_2 .	Диффузия и ассимиляция CO_2 .
9. Содержание бактерий.	Сотни тысяч—миллионы.	Сотни тысяч.	Десятки тысяч.	Сотни—десятки.
10. Интенсивность развития отдельных форм.	Обычно высокая.	Очень высокая.	Значительная.	Нередко высокая.
11. Разнообразие видов.	Очень малое.	Небольшое.	Значительное.	Очень большое.
12. Преобладание отдельных видов.	Очень сильное.	Сильное.	Слабое.	Обычно слабое.
13. Смена сообществ.	Часто катастрофическая.	Часто катастрофическая.	Довольно медленная.	Довольно медленная.
14. Продуценты.	Нет.	Мало.	Немного.	Много.
15. Консументы.	Очень много.	Много.	Много.	Немного.
16. Пожиратели бактерий.	Масса.	Много.	Немного.	Очень мало.
17. Пожиратели растений.	Нет.	Редки.	Не редки.	Часты.
18. Пожиратели животных.	Почти нет.	Есть.	Много.	Очень много.
19. Водные цветковые растения.	Нет.	Нет.—Мало.	Немного.	Много.
20. Главные группы организмов.	Бактерии. Бесцветные жгутиковые. Серые бактерии. Инфузории.	Грибы. Бактерии. Инфузории. Синезеленые водоросли. Зеленые жгутиковые.	Синезеленые водоросли. Диатомовые водоросли. Зеленые водоросли. Зеленые жгутиковые. Инфузории. Коловратки. Ракообразные. Рыбы.	Зеленые водоросли. Диатомовые водоросли. Перидиней. Хризомонады. Коловратки. Мшанки. Губки. Ракообразные. Рыбы.
21. Потребность организмов в кислороде.	Ничтожная.	Слабая.	Большая.	Очень большая.

углекислота, метан—продукты распада органических веществ. Развитие жизни происходит в *анаэробных* условиях (т. е. без кислорода); химические процессы, развивающиеся при этом, называются *восстановительными*.

Благодаря обилию органического питания число бактерий насчитывается миллионами в 1 куб. см.

Мезосапробная зона создается или при меньшем начальном загрязнении воды, или является в результате подвинувшегося процесса самоочищения воды, когда сложные белковые вещества уже распались до аммиака и начинают развиваться окислительные процессы, так как кислород уже не весь поглощается разлагающейся органической материей. В конце этого процесса восстановительные процессы совершенно прекращаются и заменяются целиком окислительными.

Меньшее содержание разлагающихся органических веществ понижает число бактерий до сотен тысяч.

Дальнейший процесс самоочищения ведет к олигосапробной зоне, когда уже закончилась минерализация органических веществ. Азот белков превратился в аммонийные соли или окислился до N_2O_5 . Сероводород перешел в серную кислоту и т. д.

Число бактерий в олигосапробной зоне падает до сотен экземпляров в 1 см³.

Таблица 3 на стр. 29 дает схематическую характеристику сапробных зон из книги «Стандартные методы».

Глава III.

ЗНАЧЕНИЕ ОЧИСТКИ ВОДЫ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ.

§ 8. Эпидемии холеры. Что для питья нужна чистая вода — это понимали еще древние народы. Не умея очищать воду, древние римляне не жалели средств на подвод акведуками чистой воды из отдаленных областей.

В чем заключается вредность загрязненной воды, стало известно только со времени открытий Пастера и Коха. Только после открытия микроскопических бактерий и выяснения их роли в возникновении болезней стало известно, что вредность грязной воды кроется в присутствии в ней болезнетворных бактерий: холеры, тифа, дизентерии и пр.

Во время холерных эпидемий в воде открывали *холерные вибрионы* — таково название холерных бактерий. Холера — болезнь постоянно гнездящаяся в Индии; отсюда она часто заносилась в Европу, производя здесь большие эпидемии.

В 1817 г. разразилась сильная эпидемия холеры в Бенгалии; быстро распространившись по всей Индии, она свирепствовала 3 года. Постепенно она проникла в Китай и Персию, а в 1823 г. достигла и России, где держалась несколько лет. Сильный взрыв эпидемии в России в 1830 г. привел к распространению ее по всей Европе и Северной Африке.

Другая волна холерной эпидемии началась в Индии и Китае в 1841 г. и достигла Европы в 1847 г. Следующая волна началась в 1850 г. и пришла в Европу в 1853 г., а отсюда была занесена в Северную и Южную Америку, где особенно сильно свирепствовала. С 1832 г. Соединенные штаты пережили 8 холерных эпидемий; последняя была в 1873 г.

С 1831 по 1873 гг. в Пруссии умерло от холеры 373 000 человек. Очень крупную роль в истории санитарии вообще и водоснабжения в частности сыграла холерная эпидемия 1892/93 г.

В 1884 г. Кохом был открыт возбудитель холеры — холерный вибрион как в испражнениях больного, так и в питьевой воде; таким образом причина холерных заболеваний была уже известна во время эпидемии 1892/93 г.

Наблюдения за ходом эпидемии в Гамбурге дали чрезвычайно поучительную картину. Гамбург состоит из двух городов: Гамбурга — с населением в то время 640 000 человек и Альтоны — 150 000, и расположен у устья реки Эльбы. Оба города непосредственно сливаются в один, но имеют разное городское управление и разные водопроводы.

Водопровод Гамбурга забирал воду из Эльбы немного выше города и не подвергал ее никакой очистке. Город Альтона, расположенный ниже по реке Эльбе, забирал воду из Эльбы же, но на 12 км ниже города; вода очищалась на медленных песочных фильтрах, построенных в силу именно того, что вода забиралась из Эльбы после спуска в нее канализационных вод 800-тысячного города. В Гамбурге эпидемия охватила 17 000 человек, из них 8 600 со смертельным исходом. В то же самое время в Альтоне было только 500 заболеваний и около 300 смертных случаев. В Гамбурге на каждые 100 000 жителей приходилось 2 630 заболеваний, а в Альтоне только 381. Так как население Альтоны имело очень тесную связь с Гамбургом, то оказалось, что большая часть заражений произошла в Гамбурге. Некоторые госпитали, казармы и дома Гамбурга питались из других источников, а не из Эльбы; они оказались или совершенно обойденными холерой или поплатились только немногими случаями.

Гамбургская эпидемия с чрезвычайной яркостью показала, что водопроводная вода может быть разносчиком эпидемии, а также на примере Альтоны указала и средства борьбы с этим бедствием. Важность очистки воды была подчеркнута гамбургской эпидемией с необыкновенной выразительностью.

Широкое применение очистки питьевой воды и строгие санитарные меры по уходу и надзору за приезжими из стран, где возможно заражение холерой, освободили Западную Европу и Соединенные штаты от эпидемий холеры. Только в России, благодаря нашей отсталости в деле водоснабжения и санитарии вообще, вспышки холеры продолжались до 1922 г.

§ 9. Эпидемии брюшного тифа. Другая болезнь, тесно связанная с водоснабжением, — брюшной тиф — имеет гораздо большее значение для нас, чем холера, так как распространена неизмеримо больше.

Брюшной тиф по характеру распространения заболеваний делится на *эндемический*, существующий постоянно во всем мире в большем или меньшем размере, и *эпидемический*, изредка появляющийся в виде массовых эпидемий. Во многих случаях установлено, что эпидемические вспышки тифа обязаны заражению тифозными палочками питьевой воды. Прямое обнаружение в воде тифозной палочки при современном состоянии бактериологии — дело очень трудное и удавалось в немногих случаях, зато косвенным путем удалось во многих случаях доказать заражение питьевой воды.

В 1909 г. в мае в г. Харькове разразилась жестокая тифозная эпидемия, давшая 8 000 заболеваний и 2 000 смертных случаев. Эпидемия охватила наиболее благоустроенную часть города, снабженную водопроводом. Найти тифозную палочку в водопроводной воде не удалось, но все косвенные доказательства с несомненностью свидетельствуют, что причиной эпидемии было заражение водопровода.

Тифозные заболевания постоянно имеются в Харькове, но обычный эндемический тиф носит сезонный характер, усиливаясь осенью и ослабевая к весне. Причина такой сезонности брюшного тифа до сих пор неизвестна. Эпидемия же 1909 г. разразилась в мае, когда эндемические заболевания стоят низко и, вопреки обыкновению, захватила главным образом не окраины, лишенные водопроводной воды и населенные беднотой, а самую лучшую благоустроенную и богатую часть города.

Вероятная причина заражения водопровода была найдена в загрузке фильтров свежим песком, долго лежавшим во дворе станции и ничем не защищенным от загрязнения. Песок перед загрузкой не промывался и не дезинфицировался. Здесь была заражена, благодаря халатности, стерильная глубокая (640 м) артезианская вода, пропускавшаяся через фильтры только для освобождения от железа.

Во многих случаях тифозной эпидемии удалось доказать заражение питьевой воды канализационными стоками.

Приведем несколько примеров.

В июле 1890 г. заболевания брюшным тифом приняли эпидемический характер в г. Шенектеди (Северная Америка).

Сточные воды города спускались без всякой очистки в реку Могаук, приток реки Гудзона. Все города, расположенные по реке Гудзону ниже впадения Могаука, Кохоу, Западная Троя и Олбани, питавшиеся неочищенной речной водой, также через некоторое время были охвачены эпидемией брюшного тифа.

Другие же города, также расположенные на р. Гудзоне, но питающиеся водой из других источников, не были затронуты эпидемией.

Город Мильвоки (450 000 жителей) питается водой озера Мичиган.

Водоприемник башенного типа находится в 8 километрах от гавани, куда спускались неочищенные канализационные воды. Водопроводная вода подвергалась только хлорированию. Примесь к воде Мичигана некоторых отработанных фабричных вод вызывала часто неприятный запах и вкус после хлорирования, на что появились жалобы среди населения. Один из служащих водоснабжения во время своего ночного дежурства приостановил хлорирование на 8 часов. В ближайшие несколько дней в городе обнаружилось около 60 000 желудочных заболеваний, а в ближайшие недели — около 500 случаев брюшного тифа («Public W-Supplies», Russel, стр. 170).

Весной 1926 г. в Ростове н/Д. вспыхнула эпидемия брюшного тифа, давшая около 2 000 заболеваний. Причиной эпидемии было заражение Богатинского источника канализационной водой из лопнувшей канализационной трубы.

В конце 1926 г. Ганновер в Германии был охвачен колоссальной эпидемией гастрических заболеваний, выразившейся в 30 000 случаев; затем последовала тифозная эпидемия, охватившая 2 500 человек и давшая 260 смертей в течение двух месяцев; водоснабжение Ганновера питается фильтрационными галереями и колодцами, заложенными в гравелистом грунте, не защищенном от загрязнения поверхностными водами. Никаких очистных сооружений не существует. Заражение воды произошло во время разлива реки от паводка.

С 1 марта до середины июля 1927 г. г. Монреаль, в Канаде, испытал сильную тифозную эпидемию, давшую 5 000 заболеваний и 488 смертей. Причиной эпидемии в этом случае оказалось заражение молока в одной из молочных города.

§ 10. Эндемический тиф и связь его с водоснабжением. Эпидемические заболевания тифом сравнительно редки, и они уносят гораздо меньше жертв, чем эндемический тиф, постоянно из года в год поражающий миллионы людей на земном шаре. Тесная связь эндемического тифа с водоснабжением становится ясной при изучении статистики заболеваний и смертности от тифа в разные годы и в разных странах.

Во всех европейских странах смертность от брюшного тифа до устройства хорошего водоснабжения была очень высока, достигая 100 и более случаев на 100 000 жителей. Принимая смертность от тифа равной в среднем 10%, число заболеваний следует считать в 10 раз более числа смертных случаев. С устройством водопроводов, дающих хорошую воду, смертность от тифа начинает быстро падать. Приведем несколько случаев.

В городе Вене с 1851 по 1873 гг. смертность от тифа, за исключением трех лет, не падала ниже 100 на 100 000 жителей. Десять раз за это время она поднималась выше 150 и 8 раз — выше 200, а в течение 1855—1856 гг. была 340 и 330. В 1873/74 г. смертность сразу упала со 113 до 57 случаев; с тех пор, под влиянием развития здорового водоснабжения, она продолжает падать и с 1890 г. держится на 5—10 случаях. В уменьшении смертности от тифа принимали участие и другие санитарные мероприятия и распространение санитарного просвещения среди населения, но львиная доля в этом деле падает на улучшение водоснабжения. Это особенно ярко, как увидим ниже, подчеркивает американская статистика.

В Берлине смертность от тифа до 1876 г. никогда не спускалась ниже 63, в 1877 г., с распространением водоснабжения на весь

город, она упала до 21. С 1881 по 1883 гг. смертность была 30—36. С улучшением фильтрации воды она упала в 1894 г. до 5.

В Москве в 1882 г. смертность от брюшного тифа была 65. С развитием водоснабжения она постепенно понижалась и в 1911 г. дошла до 11.

11. Падение смертности от тифа в Северной Америке. Северная Америка представляет очень интересный пример поразительного влияния улучшения качества питьевой воды на здоровье населения.

Несмотря на то, что водопроводное дело развивалось в Америке быстрее, чем в Европе, санитарное состояние американских городов в начале настоящего столетия было далеко позади европейских городов.



Черт. 3

В 1800 г. в Соединенных штатах было водопроводов	17
» 1825 г.	35
» 1830 г.	100
» 1875 г.	243
» 1885 г.	1 000
» 1895 г.	3 000
» 1924 г.	» свыше 9 000

Диаграмма черт. 3 показывает, насколько еще в 1910 г. Америка отставала от Европы по своему санитарному состоянию, несмотря на обилие водопроводов. Объясняется это тем, что большие американские города брали воду из рек и озер и употребляли ее в большинстве случаев без очистки. В те же самые реки и озера города спускали также без очистки свои канализационные воды. Смертность от тифа в начале настоящего столетия была 31,3 на 100 000 населения.

Спуск канализационных вод в реки и озера продолжается и в настоящее время, так что качество речной воды не только не улучшилось, но, как увидим ниже, непрерывно и сильно ухудшается. Несмотря на это, благодаря энергичной постройке фильтровальных установок и введению хлорирования смертность от тифа в 1824 г. в больших городах падает до 3, а во всей стране до 5 на 100 000 населения. Благодаря улучшению качества питьевой воды Америка за 15 лет достигла блестящих результатов, понизив смертность от тифа с 23,5 до 5, догнав таким образом самые благоустроенные европейские государства.

Особенно яркий пример влияния хорошей очистки воды на смертность от тифа представляет город Ниагара Фолл. До 1911 г. он питался неочищенной водой из реки Ниагары вскоре после спуска в нее канализационных вод большого города Буффало; поэтому смертность от тифа достигала в нем громадной цифры — 130 на 100 000 жителей. После же постройки фильтров и введения хлорирования в 1912 г. смертность от тифа упала в шестилетие 1918—1925 гг. до 5 на 100 000.

Таблица 4 иллюстрирует как шло падение смертности от тифа в городах Америки с населением свыше 100 000 («J. A.W.W.A.», 1928 г., август).

Таблица 4.

Падение смертности в разных городах Америки.

Города	1928 г.	1927 г.	1926 г.	1921 г. 1925 г.	1916 г. 1920 г.	1911 г. 1915 г.	1906 г. 1910 г.
Патерсон	1,4	0,0	1,4	3,3	4,1	9,1	19,3
Нью-Йорк	1,4	1,3	1,9	2,6	3,2	8,0	13,5
Филадельфия	0,8	1,4	1,9	2,2	4,9	11,2	41,7
Питсбург	3,4	1,9	2,7	3,9	7,7	15,9	65,0
Буффало	2,3	2,4	5,0	3,9	8,1	15,4	22,8
Олбани	0,8	3,3	0,0	5,6	8,0	18,6	17,4
Спрингфилд	0,0	0,0	0,7	2,0	4,4	17,6	19,9
Провиданс	1,7	0,4	0,7	1,8	3,8	8,7	21,5
Бостон	0,6	1,1	1,8	2,2	2,5	9,0	16,0
Балтимора	3,8	1,8	4,7	4,0	11,8	23,7	35,1
Вашингтон	2,7	1,8	2,5	5,4	9,5	17,2	36,7
Чикаго	0,5	0,7	0,8	1,4	2,4	8,2	15,8
Мильвоки	0,7	0,9	1,7	1,6	6,5	13,6	27,0
Клевеленд	0,6	1,0	1,4	2,0	4,0	10,0	15,7
Детройт	1,0	1,2	2,2	4,1	8,1	15,4	22,8
Индианополис	3,6	1,3	5,4	4,6	10,3	20,5	30,4
Гранд Рапидс	0,6	1,9	1,3	1,9	9,1	25,5	29,7
Колумбус	1,7	2,0	1,7	3,5	7,1	15,8	40,0
Цинциннати	1,7	3,9	2,7	3,2	3,4	7,8	30,1
Луисвиль	2,7	3,1	6,7	4,9	9,7	19,7	52,7
Сан-Луи	2,2	1,9	2,3	3,9	6,5	12,1	14,7
Лос-Анжелос	1,5	1,0	1,1	3,0	3,6	10,7	19,0
Сан-Франциско	3,4	1,7	2,5	2,8	4,6	13,6	27,3
Новый Орлеан	7,2	8,0	18,6	11,6	17,5	20,9	35,6

Таблица 4а показывает как изменялась с годами смертность от тифа по группам городов с населением свыше 100 000.

Таблица 4а

Число городов с разной смертностью от тифа ¹

	10 смер- тей и выше	от 5 до 9,9	от 2 до 4,9	от 1 до 1,9	от 1,0 до 0,9	0,0
1906—1910 .	72	2	0	0	0	0
1911—1915 .	55	18	2	0	0	0
1916—1920 .	19	29	29	0	0	0
1921—1925 .	8	15	46	10	0	0
1926	6	10	27	19	14	4
1927	4	8	26	23	13	7
1928	4	7	25	20	16	9

§ 12. Общее понижение смертности в Европе и Америке. Изучение статистики смертности до введения очистки воды и после нее привели Миллса в Америке и Рейнке в Гамбурге к заключению, что уменьшение смертности от тифа влечет за собою и уменьшение общей смертности. Газен выразил эту мысль следующей теоремой: «Там, где посредством улучшения водоснабжения уменьшилась смертность от тифа на одного человека, вместе с этим уменьшилось число умерших от других болезней, по крайней мере на два или на 3 случая».

Таким образом улучшение качества воды сказывается не только явным образом на уменьшении заболеваемости от тифа, дизентерии и других желудочно-кишечных болезней, но неизвестными еще нам путями отражается и на уменьшении других заболеваний и на уменьшении следовательно общей смертности.

Таблица 5 на стр. 38 показывает уменьшение смертности в больших европейских городах с 1880 по 1909 гг.

За 29 лет смертность в среднем уменьшилась раза в полтора.

Этот громадный прогресс в деле сохранения человеческой жизни достигнут общим улучшением санитарных условий жизни, но очень крупную роль сыграло здесь улучшение водоснабжения.

¹ «J. A. W. W. A.» 1929 July.

Таблица 5.

Падение смертностей в городах Европы.

Города	1880 г.	1885 г.	1890 г.	1895 г.	1900 г.	1905 г.	1909 г.
Лондон	21,7	20,0	21,1	19,5	18,6	15,1	14,0
Париж	25,4	23,3	22,8	20,7	19,6	17,6	17,4
Берлин	29,7	24,4	21,5	20,2	19,0	17,1	15,1
Вена	28,4	28,6	24,4	23,3	20,7	19,1	16,8
Ленинград	35,8	27,9	25,1	25,8	24,8	24,7	24,6
Москва	34,1	33,8	34,6	27,9	29,2	26,4	29,6
Гамбург	25,2	25,9	22,0	19,0	17,5	15,8	14,6
Глазго	26,1	26,0	23,8	23,5	21,8	17,9	17,5
Будапешт	33,5	29,4	29,2	24,2	20,6	20,6	19,4
Ливерпуль	27,2	25,6	27,5	24,8	23,1	19,2	18,3
Варшава	33,6	29,0	24,9	22,9	21,8	19,8	20,3
Манчестер	25,0	23,6	26,2	24,5	23,8	17,8	17,7
Неаполь	33,4	27,8	29,1	29,3	25,6	24,7	22,3
Милан	32,6	29,4	27,0	24,5	22,1	21,4	20,6
Мюнхен	34,7	29,1	27,0	25,8	25,1	20,1	17,6
Амстердам	27,0	23,9	22,2	17,4	16,7	13,8	13,1
Бирмингам	20,5	19,8	22,0	19,9	21,0	16,1	15,5
Барселона	29,6	36,7	28,6	26,0	25,4	25,9	26,7
Дрезден	25,1	23,9	21,6	19,8	18,8	17,7	14,0
Лейпциг	24,6	21,5	23,1	21,6	19,4	17,3	14,4
Рим	29,8	22,3	21,6	19,1	18,4	19,0	16,5
Бреславль	34,6	29,8	27,9	27,5	26,2	23,4	20,3

Таблица смертности населения Соединенных штатов с 1910 по 1923 г. показывает непрерывное увеличение продолжительности жизни. Смертность с 14,96 в 1910 г. понижается до 12,3 на 1000 населения в 1923 г. В процентах к 1910 г. это понижение составляет 18%.

На каждые 1 000 населения умирало:

Года	Года
1910 14,96	1917 14,25
1911 14,18	1918 18,09
1912 13,88	1919 12,87
1913 14,09	1920 13,06
1914 13,64	1921 11,63
1915 13,55	1922 11,81
1916 14,03	1923 12,30

(«The World Almanac», 1926 г., стр. 298 и 317).

§ 13. Изменение возрастного состава населения Соединенных штатов. Увеличение продолжительности жизни находит отражение в возрастном составе населения. Вот как менялся состав населения Соединенных штатов за 40 лет с 1880 до 1920 гг. (см. таблицу 6).

Таблица 6.
Изменение состава населения Соединенных штатов

Возрастные группы	Население				
	1920 г.	1910 г.	1900 г.	1890 г.	1880 г.
Всего населения	105 710 620	91 972 266	75 994 575	62 622 250	50 155 783
До 5 лет	11 573 230	10 631 364	9 170 628	7 634 693	6 914 516
От 5 до 14 лет	22 039 212	18 867 772	16 954 357	14 607 507	12 194 846
» 15 » 24 »	18 707 577	18 120 587	14 881 105	12 754 239	10 099 187
» 25 » 44 »	31 278 522	26 809 875	21 297 427	16 858 086	12 918 794
» 45 » 64 »	17 030 165	13 424 089	10 399 976	8 188 272	6 304 981
» 65 и выше	4 933 215	3 949 524	3 080 498	2 417 288	1 722 459
Неизв. возраста	148 699	169 055	200 584	162 165	—
в процентах					
До 5 лет	10,9	11,6	12,1	12,2	13,8
От 5 до 14 лет	20,3	20,5	22,3	23,3	24,3
» 15 » 24 »	19,6	19,7	19,6	20,4	20,0
» 25 » 44 »	29,6	29,1	28,0	26,9	25,8
» 45 » 64 »	16,1	14,6	13,7	13,1	12,6
» 65 и выше	4,7	4,3	4,1	3,9	3,4
Неизвестного возраста	0,1	0,2	0,3	0,3	—
Всего	100	100	100	100	100

Группа от 45 до 64 лет возросла за 40 лет с 12,6 до 16,1% всего населения. Количество лиц в группе этого возраста возросло на 28%, а число лиц в возрасте свыше 64 лет увеличилось почти на 40%.

В этой статистике не могло еще вполне отразиться влияние уменьшения смертности на пожилой возраст, так как она охватывает только 40-летний период. Люди, родившиеся в новых, более здоровых условиях, отразят свою большую продолжительность жизни в будущей статистике.

§ 14. Заключение. Забота о здоровье, о жизни населения должна быть главной заботой всякого разумного общества. Жизнь и здоровье представляют наивысшую ценность для человека. Уходит здоровье — жизнь теряет свою цену. Уходит жизнь — исчезает все. Охрана здоровья и жизни только в последнее время начала понемногу подниматься у культурных народов до того первостепенного значения, которое принадлежит ей по праву в общественной жизни. Благодаря нашей некультурности, мы очень отстали в этом важнейшем деле. При населении в 150 000 000 человек, значительно превышающем население Соединенных штатов (115.000 000), наша официальная статистика насчитывает 278 городских и поселковых водопроводов, в большинстве случаев очень мелких. К этой цифре следует добавить сотню мелких поселковых водопроводов в Донбассе, и др. мест., неизвестных официальной статистике; таким образом получится около 380 водопроводов.

Из 278 водопроводов 62% пользуются подземной водой, а 87 питаются речной водой; из них 30% подают неочищенную речную воду. Даже Ленинград до 1911 г. пользовался невской водой почти без всякой очистки. Следствием этого была высокая (100 и более) смертность от брюшного тифа и частые эпидемии холеры, а это отражалось и на высокой общей смертности. В таблице 5 (стр. 38) Ленинград занимает одно из первых мест по высоте смертности. С 1911 г. для Петроградской стороны построена фильтроозонная станция, а с 1913 г. введено хлорирование и на главной станции.

Благодаря хлорированию смертность от брюшного тифа в 1925 г. снижена до 10 на 100 000.

(«Труды Совещания по рационализации водопроводного хозяйства», Москва, 1925 г., К. П. К о в р о в, Хлорирование воды на ленинградских водопроводах).

По сравнению с числом водопроводов в Соединенных штатах — 9 000 — вышеприведенная цифра ничтожно мала. Нам предстоит еще впереди громадная работа по водопроводному строительству, чтобы приблизиться в этом деле к культурным народам Европы и Америки.

Глава IV.

ОТСТАИВАНИЕ.

§ 15. Процесс осаждения взвесей в воде. Диаграмма Штеуэрнагеля. Выводы Газена. Степень использования объема. Чем сильнее течение воды в реке или канале, тем более взвешенных веществ несет с собой вода и тем более крупные обломки пород уносятся ею. Скорости, при которых начинают уноситься со дна русла частицы разной величины, указаны в таблице 7.

Таблица 7.

Скорости, при которых уносятся со дна русла частицы равных грунтов.

Величина частиц	Скорость при которой частицы двигаются по дну м/сек
Ил и тонкая глина	0,075
Мелкий песок	0,15
Голыш 13 мм в диаметре . .	0,30

По закону Эри веса увлекаемых по дну частиц пропорциональны шестой степени скорости.

С уменьшением скорости движения воды живая сила ее уменьшается и оказывается уже недостаточной для транспортирования наиболее крупных взвешенных частиц, и они начинают осаждаться на дно. Если скорость движения воды свести до нуля и в таком состоянии покоя продержат ее достаточное время, то большая часть взвешенных веществ выпадает в осадок.

Осаждение взвешенных частиц вызывается силой тяжести, поэтому оно тем больше, чем больше удельный вес частиц. Противодействует осаждению трение между поверхностью частицы и водой. Чем меньше частица, тем больше отношение ее поверхности к объему, т. е. тем относительно больше ее поверхность, а следовательно и тем больше ее трение о воду, поэтому тем меньше скорость ее осаждения.

Для скорости осаждения в чистой и спокойной воде шарообразных частиц разной величины и удельного веса, равного удельному весу кварца — 2,65, — составлена следующая таблица.

Таблица 8.

Скорости осаждения в воде шарообразных частиц разной величины.

Диаметр зерен в мм		Скорость осаждения мм/сек	Время, необходимое для осаждения на 0,3 м	
10	Гравий	1 000	0,3 секунды	По опытам Газена
1	Крупный песок . . .	100	3,0 »	
0,1	Мелкий песок . . .	8	38,0 »	
0,01	Ил, глина	0,154	33,0 минуты	По формуле Уайля (Wiley)
0,001	Размер бактерий, глина	0,00154	55 часов	
0,0001	Самые мелкие частицы глины . . .	0,0000154	230 дней	
0,00001	Размер коллоидных частиц	0,000000154	63 года	

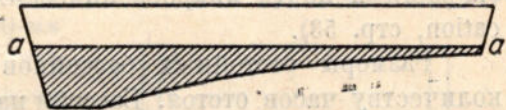
При меньшем удельном весе скорость осаждения будет еще меньше. Коллоидные вещества простому осаждению практически не поддаются.

Плотность воды оказывает влияние на осаждение; в морской воде осаждение идет медленнее, чем в пресной; в холодной — медленнее, чем в теплой. Вязкость холодной воды больше, чем теплой; это также замедляет осаждение в холодной воде. При 0° вязкость воды почти вдвое больше, чем при 20°.

Для непрерывности процесса очистки состояние покоя не годится, поэтому оно теперь почти не применяется в процессе отстаивания. Ограничиваются тем, что доводят скорость движения воды в отстойных бассейнах до нескольких миллиметров в секунду. При такой скорости можно достигнуть почти полного осаждения взвешенных веществ, если этот процесс продолжать достаточно долго. Но обыкновенно не стремятся к такому полному освобождению воды от взвешенных веществ, потому что очень длительное отстаивание требует очень больших резервуаров и потому обходится слишком дорого. Выгоднее дальнейшую очистку воды производить на фильтрах. Очень длительное отстаивание получается там, где вода накапливается запру-

дами — искусственными озерами, а также в естественных озерах. Запруды, расположенные в малонаселенных местах, могут дать воду, пригодную для питья без фильтрации: таковы запруды водопроводов Нью-Йорка, Лос-Анжелос и другие. Очень длительное отстаивание, достигающее до 3 месяцев, применяется Лондоном в громадных искусственных резервуарах-озерах, куда накачивается вода из р. Темзы. Однако и после такого отстаивания вода еще подвергается фильтрации.

Вопрос о том, какая продолжительность отстаивания экономически наиболее выгодна для данной воды, может быть решен только опытным путем в связи с работой фильтров. Такие опыты должны вестись не менее года, так как мутность воды сильно меняется в течение года. Процесс отстаивания изучен Штеуэрнагелем для канализационных вод. Основные выводы его до некоторой степени применимы к отстаиванию и питьевых вод. При замедлении движения воды во время перехода из трубы или канала в отстойник начинается быстрое осаждение наиболее крупных взвешенных веществ; за ними следуют менее крупные и т. д.: чем мельче взвешенные вещества, тем более они требуют времени для своего осаждения, поэтому процесс осаждения, начавшийся быстро с крупных примесей, идет далее все медленней и медленней.



Черт. 4

Если например для выделения в осадок половины или трех четвертей всех примесей нужно 8—12 часов, то для полного осаждения оставшейся части потребуется несколько дней, а может быть и недель. Черт. 4 изображает процесс осаждения. Заштрихованная полоса имеет ординаты, отложенные вниз от линии $a-a$, пропорциональные количеству выпадающего осадка в разных местах бассейна. Отстойники для канализационной воды устраиваются соответственно этой кривой с более глубокой передней частью для помещения в ней обильного осадка и более мелкой — задней.

Процесс осаждения мелких взвешенных веществ речной воды идет равномернее и представляет собой более сложное явление, чем это изображено штеуэрнагелевской диаграммой для более грубых взвесей сточной воды. Здесь оказывают большее влияние вихревые движения и вертикальное перемещение воды, вызываемое температурными изменениями. В открытых резервуарах волнения от ветра мешают процессу осаждения. Американские исследователи изучали процесс осаждения с теоретической и практической стороны.

Вот выводы, к которым пришел Аллен Газен. «Основные положения кратко могут быть выражены таким образом: 1) результат осаждения зависит от величины поверхности дна, принимающего

осадки, и совершенно не зависит от глубины бассейна, 2) лучшие результаты получаются тогда, когда бассейн устроен так, что поступающая вода, содержащая наибольшее количество мути, не допускается до смешения с частично уже осветленной водой. Другими словами, наилучшие результаты достигаются, когда всякая порция поступающей воды проходит через резервуар, подвергаясь как можно меньшему смешению с водой, поступающей после нее. Практически это достигается делением бассейна на последовательные отделения перегородками или каким-либо другим способом.

До сих пор наше рассуждение не трудно и повидимому правильно. Следующий вопрос труднее. Он касается скорости у дна бассейна: какая скорость оставляет осадок нетронутым, и какая взмучивает и уносит его? По этому вопросу необходимы дополнительные наблюдения и опыты. Производство таких наблюдений очень трудно, так как оно должно производиться на дне слоя жидкости значительной толщины, где условия для наблюдения очень неблагоприятны. Кроме того наблюдение должно производиться над очень малыми скоростями почти микроскопических частиц» (Ellms, Water Purification, стр. 53).

Размеры отстойных бассейнов обыкновенно определяются по количеству часов отстоя. Бассейн на 3-часовое отстаивание равняется по объему $\frac{1}{8}$ суточного расхода, а на 6-часовое — $\frac{1}{4}$ суточного расхода. Но в действительности вода проходит эти бассейны в гораздо более короткие сроки, чем 3 и 6 часов. Прежде всего объем, предназначенный для осадка, должен быть исключен из циркуляции воды: для этого на дне иногда ставятся вертикальные перегородки на высоту допускаемого слоя осадка. Движение воды через бассейн должно происходить только выше этого слоя. Но и там движение воды неравномерно по всему объему, и поэтому действительное время прохождения воды через отстойник равняется 20—50% его номинальной мощности. Степень совершенства конструкции отстойника очевидно определяется этим процентом; чем он выше — тем совершеннее конструкция отстойника (C. H. Capen, Study of Sewage Settling Tank Design, «Engineering News Record», November, 24, 1927).

Автор указанной статьи определял во многих канализационных отстойниках процент их полезного действия, пропуская раствор соли и иногда краски, и пришел к заключению, что наибольшее влияние на процент использования резервуаров оказывает способ впуска и выпуска воды. Для получения наилучших результатов впуск и выпуск должны быть распределены равномерно по всей ширине резервуара и погружены ниже поверхности воды. Глубина резервуара, по его наблюдениям, оказывает мало влияния на коэффициент полезного действия, если резервуар правильно спроектирован.

Наиболее выгодные отношения длины к ширине 4:1 и 5:1, большая длина не дает преимуществ.

§ 16. Равномерный впуск и выпуск воды из отстойника. Для равномерного распределения движущейся воды по всей ширине прямоугольного резервуара требуется устройство равномерного по всей ширине впуска и выпуска воды. Это легко достигается T-образным разветвлением впускной и выпускной труб, как показано на черт. 5.

В ответвленных в обе стороны частях впускной трубы проделываются одинаковые отверстия, равномерно распределенные по длине трубы.

При движении воды в равномерно продырявленных трубах, как увидим ниже, потерей напора можно пренебречь, скоростной же

напор $\frac{V^2}{2g}$ восстанавливается к закрытому концу трубы почти целиком;

поэтому при одинаковых отверстиях концевые отверстия будут выпускать немного больше воды, чем начальные. Эта разница будет тем меньше, чем меньше скорость в трубе. Если предположим, что

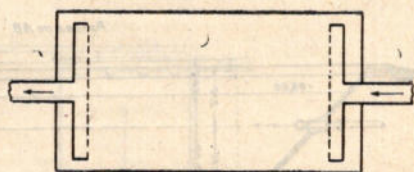
вода подается в резервуар по 200-мм трубе со скоростью 1,13 м/сек и что 200-мм труба при входе в резервуар разветвляется на две 150-мм ветви, то скорость в начале 150-мм трубы будет 1 м. Восстановленный скоростной напор к концу трубы будет

$\frac{1^2}{2g} = 0,05$ м. Таким образом из последнего отверстия вода будет выходить под напором на 0,05 м большим, чем из первого. Если ответвления сделать не из 150-мм, а из 200-мм труб, тогда начальная скорость будет 0,56 м, а скоростной напор всего только 0,015 м.

У стенок благодаря трению о нее скорость должна быть меньше, чем посередине резервуара, поэтому большая скорость выхода воды из конечных отверстий пожалуй и не представляет неудобств.

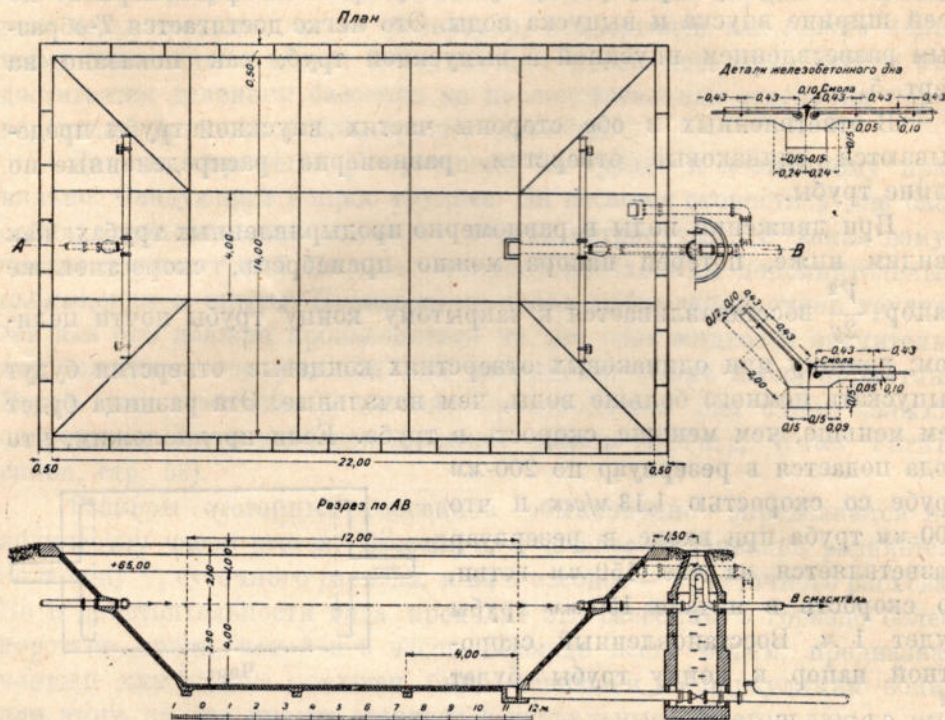
В американских установках впускные T-образные ответвления часто несут на себе редко расставленные стояки, поднимающиеся выше поверхности воды, через которые вода переливается каскадами для аэрации. Такое устройство если и полезно для аэрации, то вредно для отстаивания, так как образующиеся при падении воды вихревые движения препятствуют осаждению. Но это взмучивающее действие поступающей таким образом воды ограничивается небольшим пространством и при длинных бассейнах не оказывает заметного влияния на результаты отстаивания.

Подводящие и отводящие воду T-образные дырчатые трубы



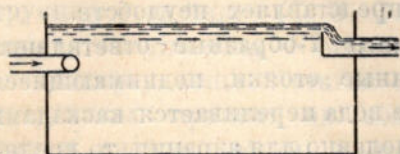
Черт. 5

устанавливаются ниже поверхности воды. Достаточное углубление в воду этих труб особенно необходимо при открытых резервуарах, покрывающихся зимой льдом. Для автоматического поддержания уровня воды на одной высоте необходимо на выпускной трубе устройство

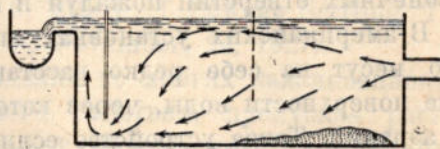


Черт. 6

коленчатого перелива, как показано на черт. 6 (криворожский отстойный резервуар). Равномерный выпуск воды из бассейна легко достигается переливным жолобом (черт. 7), перелив при этом должен быть



Черт. 7



Черт. 8

строго горизонтален. Такой же жолоб при входе будет забиваться осадками и кроме того не даст равномерного распределения по ширине бассейна. При вводе дырчатой трубой для предупреждения накопления осадков дыры следует делать снизу.

§ 17. **Перегородки в отстойнике.** Указанными выше приемами можно достигнуть равномерного распределения воды по ширине отстойного резервуара, но для правильного использования сечения резервуара необходимо добиться равномерности движения воды и по вертикальному направлению. Это значительно труднее, так как тут вмешивается меняющийся фактор — температура воды.

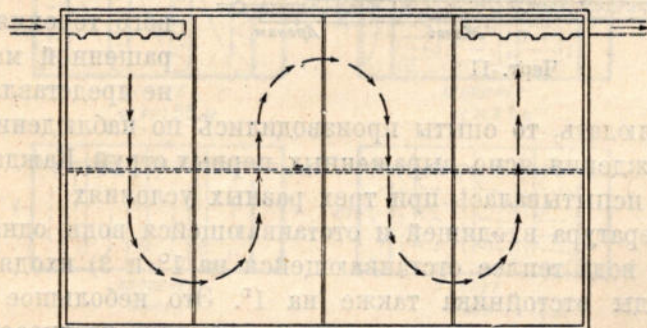
Летом в резервуар поступает теплая вода, которая и будет стремиться двигаться по поверхности; чтобы заставить ее спуститься вниз и использовать нижнюю часть бассейна, приходится ставить перегородки, как показано на черт. 8.



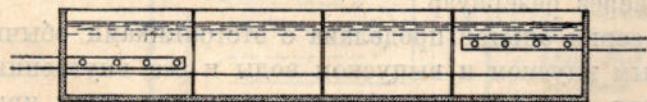
Черт. 9

Когда в резервуар поступает более холодная и более плотная вода, она опускается на дно. В таком случае перегородка по черт. 8 вредна, так как она также прижимает струи воды ко дну. Американцы ставят перегородки посередине резервуара, как показано пунктиром.

План



Продольный разрез



Черт. 10

М. Стейн рекомендует кроме верхней перегородки ставить перегородки и внизу разной высоты. Цель их создать неподвижный слой воды на дне и предохранить таким образом осадок от выноса и поднимать вверх ток холодной воды. На черт. 9 показано обычное в Америке устройство впускной трубы с аэратором и выпускной. Для больших резервуаров Стейн рекомендует другую конструкцию (черт. 10), которая применяется во многих крупных очистных

установках. При открытых резервуарах поперечные перегородки необходимы еще и для того, чтобы противодействовать влиянию ветра. Попутный ветер быстро перегонит по поверхности вновь поступившую воду к выходу. Большие резервуары строятся обыкновенно с перегородками. Американцы располагают перегородки, как указано на фиг. 10. В московских же отстойниках перегородки расположены вдоль течения, а вода подводится коридором. «Water Works Handbook» рекомендует тип отстойника черт. 11.

§ 18. Опыты Дроздова. Для выяснения влияния перегородок на движение воды в отстойниках были проделаны очень интересные опыты проф. В. А. Дроздовым. Для опытов была приготовлена модель отстойника следующих размеров: длина между приточной и отводящей камерой 1520 мм, ширина 640 и высота стояния воды 185 мм, емкость отстойника — 180 литров. Вода поступала в отстойник в количестве 0,5 литра в минуту. Объем отстойника равен 6-часовому расходу воды.



Черт. 11

Течение воды наблюдалось после прибавления раствора краски. Так как отчетливого течения всей окрашенной массы воды не представлялось воз-

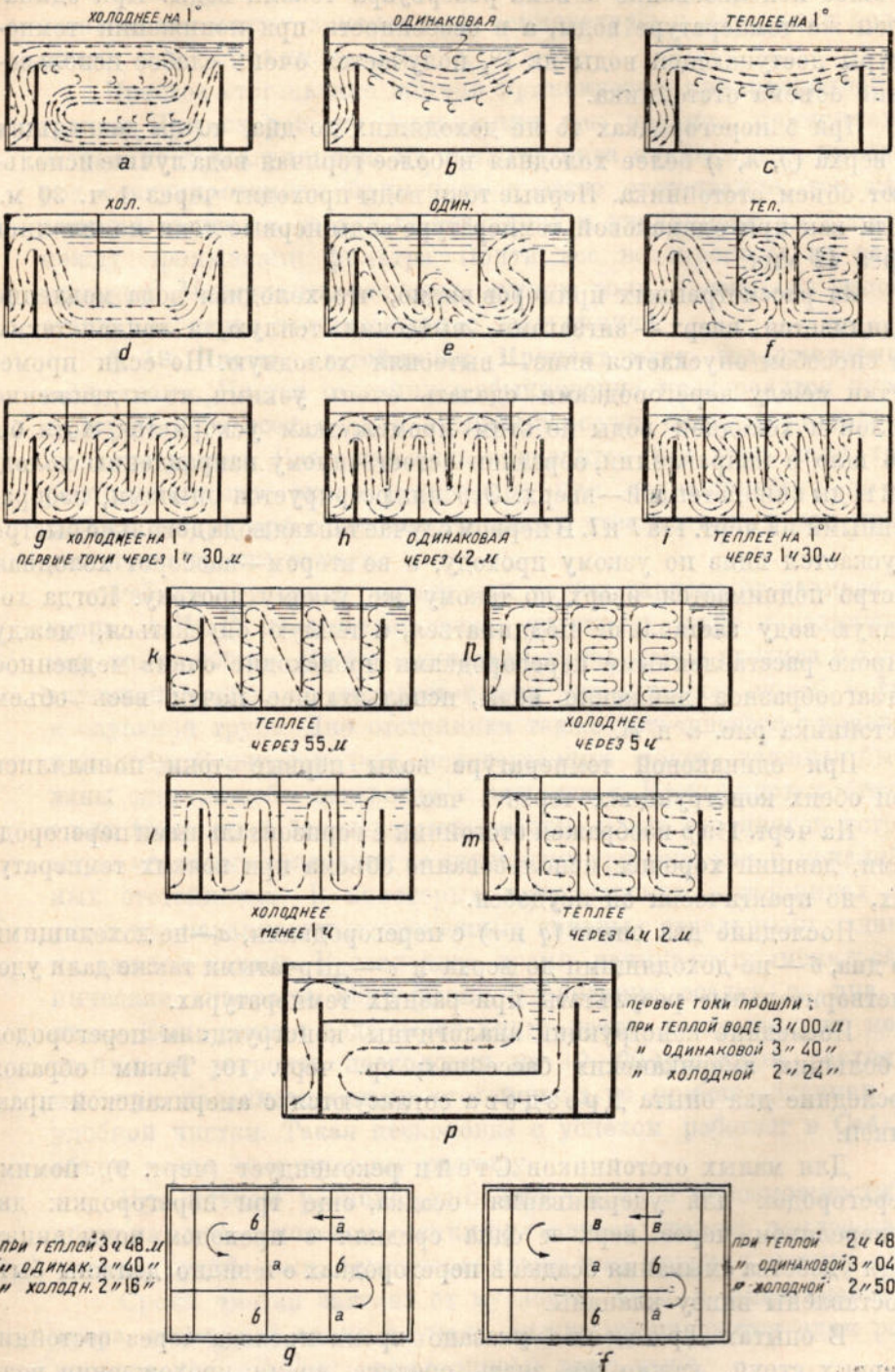
можным наблюдать, то опыты производились по наблюдению за временем прохождения ясно выраженных первых струй. Каждая система перегородок испытывалась при трех разных условиях:

- 1) температура входящей и отстаивающейся воды одна и та же;
- 2) входящая вода теплее отстаивающейся на 1° и 3) входящая вода холоднее воды отстойника также на 1° . Это небольшое различие в температуре воды оказывает громадное влияние на способ прохождения воды через резервуар.

Первая серия опытов проделана с отстойниками обычного типа, с равномерным впуском и выпуском воды и без внутренних перегородок. На черт. 11а *a b c* показывают движение воды при температурах входящей воды на 1° ниже, одинаковой и на 1 градус выше температуры воды в отстойнике.

Такая конструкция бассейна выгодна при поступлении более холодной воды, при более же теплой воде получается пленочное движение, и самые быстрые токи проходят резервуар в 5 минут. И при одинаковой температуре воды короткие токи проходят в 35 минут. При холодной же воде первые токи появляются через 3 часа.

При установке двух перегородок, как показано на черт. 11а *d, e, f*, только при более теплой поступающей воде получается наи-



Черт. 11а.

большее использование объема резервуара токами воды. При одинаковой же температуре воды, а в особенности при понижении температуры поступающей воды на 1° , получается очень слабое использование объема отстойника.

При 5 перегородках то не доходящих до дна, то не доходящих до верха (g, h, i) более холодная и более горячая вода лучше используют объем отстойника. Первые токи воды проходят через 1 ч. 30 м., тогда как при одинаковой температуре воды первые токи появлялись через 42 мин.

Из рассмотренных примеров видно, что холодная вода медленно поднимается вверх — зигзагами, вытесняя теплую, а теплая таким же способом опускается вниз — вытесняя холодную. Но если промежутки между перегородками сделать очень узкими, то и движение теплой и холодной воды по этим промежуткам ускоряется, хотя бы оно шло в направлении, обратном естественному направлению холодной воды вниз, а теплой — вверх. Это иллюстрируется опытами, изображенными на черт. 11а k и l . В первом случае теплая вода довольно быстро опускается вниз по узкому проходу, а во втором — наоборот холодная быстро поднимается вверх по такому же узкому проходу. Когда холодную воду заставляют подниматься, а теплую опускаться, между широко расставленными перегородками происходит очень медленное зигзагообразное движение воды, использующее почти весь объем отстойника рис. n и m .

При одинаковой температуре воды первые токи появлялись при обеих конструкциях через 1 час.

На черт. 11а p изображен отстойник с горизонтальными перегородками, давший хорошее использование объема при всяких температурах, но практически он неудобен.

Последние два опыта (q и r) с перегородками, a — не доходящими до дна, b — не доходящими до верха и c — дырчатыми также дали удовлетворительные результаты при разных температурах.

Последние конструкции аналогичны конструкциям перегородок в больших американских бассейнах; ср. черт. 10. Таким образом последние два опыта Дроздова согласуются с американской практикой.

Для малых отстойников Стейн рекомендует (черт. 9), помимо перегородок для удерживания осадка, еще три перегородки: две с переливом через верх и одна средняя с проходом воды внизу. Для удобства смывания осадка в перегородках очевидно должны быть поставлены внизу клапаны.

В опытах Дроздова указано время прохода через отстойник первых струй, важно же знать среднее время прохождения воды через отстойники разного типа и связь между первым и вторым

временем. Кроме того для полноты картины необходимо выяснить зависимость между изменениями температуры в источнике водоснабжения и в отстойнике.

Простое отстаивание обычно применяется при медленной фильтрации. При скорой же фильтрации, как правило, применяется отстаивание с коагуляцией, но там, где вода очень мутна, выгодно перед коагулированием применять простое отстаивание, так как при этом уменьшается расход на коагулянт и увеличиваются промежутки между промывками фильтра. Почти все водопроводы на западных притоках Миссисипи, несущих мутную воду, применяют простое отстаивание перед отстаиванием с коагуляцией.

§ 19. Чистка отстойников. Процент муты, задерживаемый отстойниками. Чистка отстойника обыкновенно производится путем выпуска из него всей воды и смывания осадка сильной струей из пожарного рукава. Напорная вода подводится для этой цели трубами, расположенными около резервуара или подвешенными по стенам внутри резервуара с соответственными ответвлениями для присоединения пожарного рукава.

Размер спускного канала или трубы зависит от размера резервуара, А. В. Р. не советует делать спускную трубу и задвижку при ней менее 300 м.м. Чтобы смываемая грязь легко сходила к отверстию спускной трубы, по дну отстойника устраивается жолоб с уклоном к спускной трубе. Дно отстойника также устраивается с уклоном 0,05 к жолобу. В перегородках, пересекающих жолоб, должны быть сделаны для жолоба отверстия с клапанами. Чтобы чистка отстойника стала возможной без перерыва работы, в дне его иногда устраивают пирамидальные грязевики со спускными трубами, как в канализационных отстойниках. В некоторых американских отстойниках по дну уложены параллельные дренажные каналы с отдельными задвижками на каждом канале. В последнее время начинают применяться механические аппараты, непрерывно удаляющие осадки со дна отстойника. Если речная вода несет много песка, тогда выгодно перед отстойником устроить песколовку на 10—20-минутный расход воды, как при канализационных отстойниках, с приспособлением для ее удобной чистки. Такая песколовка с успехом работает в Сан-Луи; ее объем равен 10-минутному расходу.

При низком расположении отстойника и невозможности спуска воды из него самотеком осадки приходится удалять землесосами, лопатами, грейферами, землечерпалками или другими машинами.

Сроки чистки зависят от мутности воды и вместимости резервуара, поэтому в одних случаях чистка производится один раз в несколько лет, в других—ежегодно и даже чаще.

Мутность воды в реках подвержена сильным колебаниям; чем

мутнее вода, тем важнее роль процесса отстаивания. По данным 1912 г. (см. таблицу в главе «Результаты очистки воды») процент задержки бактерий отстойниками московского водопровода в среднем 60, но он колеблется от 6,6 до 94%. Содержание бактерий в Москва-реке колебалось от 190 до 75 000 экземпляров в 1 куб. см. Когда вода в Москва-реке чистая, а это обыкновенно сопровождается и небольшим содержанием бактерий, роль отстойников становится ничтожной: они задерживают всего лишь 6,6% бактерий и соответственно этому ничтожное количество осадка. В такое время медленные фильтры могут свободно работать и без отстойников. Во время же паводков, когда вода имеет много мути, роль отстойников становится очень важной: они задерживают до 94% бактерий и соответствующее количество мути. Если бы эта муть не была задержана отстойниками, а попала бы прямо на фильтры, она быстро залила бы их и вывела из строя. В этом случае без отстойников работа фильтров невозможна.

Бывали случаи крупных ошибок при постройке фильтров. Так, например, в г. Житомире английские фильтры устроены без отстойников. Во время половодья и сильных дождей вода реки Тетерева бывает настолько мутна, что фильтры в течение 2—3 дней заливаются до отказа. А так как город оставить без воды нельзя, то вода подается в обход фильтров; в результате бактериологические анализы показали, что количество бактерий в водопроводной воде доходило до 150 000 в 1 куб. см. Нет отстойников перед фильтрами г. Херсона.

§ 20. Практические данные. О степени загрязнения речных вод взвешенными веществами дает представление следующая таблица («Water Works Handbook», стр. 63).

Таблица 9.

Количество взвесей в некоторых американских реках в миллиграммах на литр.

Реки	Место	Максимум	Минимум	Среднее	Примечание
Меримак	Ларенс	1 100	5	7,5	Данные относятся к 4—8
Потомак	Грет-Фолс	3 000	6	119	
Аллегени	Питсбург	3 900	1	57	годам, предшествовавшим
Сьюто	Колумбус	2 000	3	69	
Огайо	Цинциннати	5 000	5	192	1914 году.
Огайо	Луисвилль	6 000	15	235	
Миссисипи	Сан-Луи	6 500	3	1 400	
»	Новый Орлеан	2 400	55	600	

В Цинциннати в 1914 г. при двухдневном отстаивании речной воды средней мутности 0,000120 отстаивающаяся вода имела среднюю мутность 31; степень очистки 74%.

В Новом Орлеане река несет очень тонкий ил; опытами Вестона установлены следующие средние результаты очистки при разных периодах отстоя (таблица 10).

Таблица 10.

Результаты очистки воды при разных периодах отстоя.

Период отстаивания (часы)	Взвешенных веществ	
	Миллиграм- мов в литре	Процент очистки
Сырая вода	650	0
12	435	33
24	360	45
48	300	54
72	265	59

Вода рек Миссисипи, Миссури и их притоков в некоторые периоды года не поддается полному осветлению длительным отстаиванием благодаря чрезвычайной тонкости глинистой мути. После 30-дневного отстаивания в резервуаре г. Ковингтона вода реки Огайо содержала еще 50 ч. глины на 1 000 000 ч. воды.

Увеличение прозрачности воды не пропорционально количеству выпавшего осадка, так как наибольшее влияние на прозрачность воды оказывает самая тонкая муть.

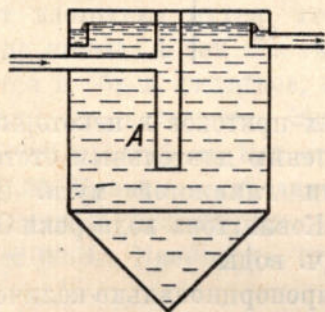
По «Water Works Handbook» резервуар с правильно поставленными перегородками при 6-часовом объеме удерживает все частицы, большие 0,02 мм; при 24-часовом объеме удерживаются частицы крупнее 0,007 мм. В Вашингтоне три последовательных резервуара, с общей вместимостью, равной недельному расходу, задерживают частицы крупнее 0,003 мм при горизонтальной скорости 3 мм/сек.

Скорость движения воды в отстойных резервуарах колеблется в довольно высоких пределах от нескольких миллиметров до нескольких десятков миллиметров. Расчет резервуаров надо вести не по скорости, а по времени отстаивания, причем, как уже было указано, объем резервуара, деленный на часовый расход, не дает действительного времени отстоя, хотя по этой фиктивной величине и определяются размеры резервуаров.

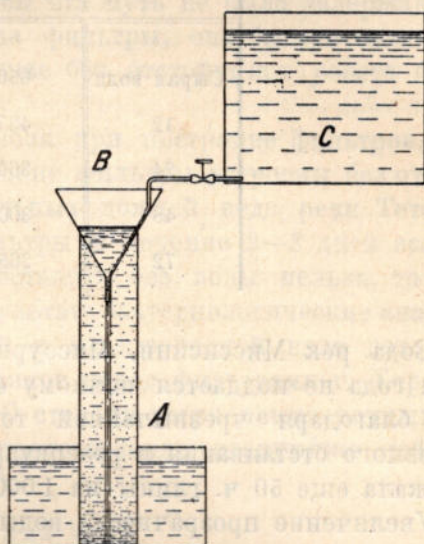
О наступлении срока чистки судят по увеличению мутности, вытекающей из отстойника воды и по выносу осадившегося ила.

Для непрерывности водоснабжения надо иметь не менее двух отстойников, чтобы во время чистки одного из них другой продолжал работу. Размер отстойников зависит от времени отстаивания. Время же отстаивания колеблется от нескольких часов до нескольких дней в зависимости от количества и характера взвешенных веществ, а также и от последующих процессов очистки.

Если простое отстаивание происходит перед медленной фильтрацией, тогда оно должно быть продолжительным; если же за простым отстаиванием следует отстаивание с коагулированием и скорая фильтрация, тогда отстаивание может быть кратковременным для удаления только грубых примесей. Наивыгоднейшую продолжительность отстаивания для данной воды можно установить только опытным



Черт. 12.



Черт. 13.

путем. Отстаивание происходит тем лучше, чем больше площадь отстойника, но слишком мелкие отстойники, в особенности крытые, обошлись бы дорого. Кроме того нужно место для осадка, поэтому глубина отстойников бывает 3—5 м и даже больше. Глубина более 6 м считается неэкономной «А. В. Р».

Отстойные резервуары при объеме их, колеблющемся около суточного расхода, задерживают в среднем 60—70% взвешенных веществ. Удаление бактерий обыкновенно пропорционально удалению взвесей, так как бактерии гнездятся преимущественно на взвешенных частицах.

§ 21. Круглые отстойники. Опыты Панова. В прежних конструкциях фильтровальных установок отстойники, как и фильтры, строились круглой формы с подводом коагулированной воды в центральную

трубу *A* (черт. 12). Отстоявшаяся вода переливалась по всей окружности отстойника в жолоба и отводилась на фильтры. Движение воды в такого рода отстойниках оставалось неизученным до самого последнего времени. Опыты с этим способом отстоя произвел инженер Н. Н. Панов. В его докладе II (XV) водопроводному съезду изложены результаты этих опытов. Опыты производились в приборе, указанном на черт. 13. В сосуде *C* приготавлилась жидкость с окрашенной взвесью, для чего служила анилиновая краска в количестве 1 г на 36 л. Затем взвесь коагулировалась 1 г FeSO_4 и 10 г CaO . Коагулированная вода пропускалась через воронку *B* в вертикальный отстойник *A* с различными скоростями. Отстоявшаяся вода переливалась через щели между воронкой и верхней кромкой цилиндра и стекала по наружной поверхности цилиндра.

При вертикальной скорости в трубочке воронки 5—10 м/час окрашенная коагулированная жидкость выходила из нее в виде спирально-зигзагообразной ленты. С увеличением скорости спирали опускались все ниже и ниже от выходного отверстия воронки, и при скорости 100 м/час струя, выходящая из воронки, вытягивалась в вертикальный столбик с сечением, равным площади выходного отверстия воронки и спокойно распределялась в нижней части отстойника, совершенно не взмучивая осадка.

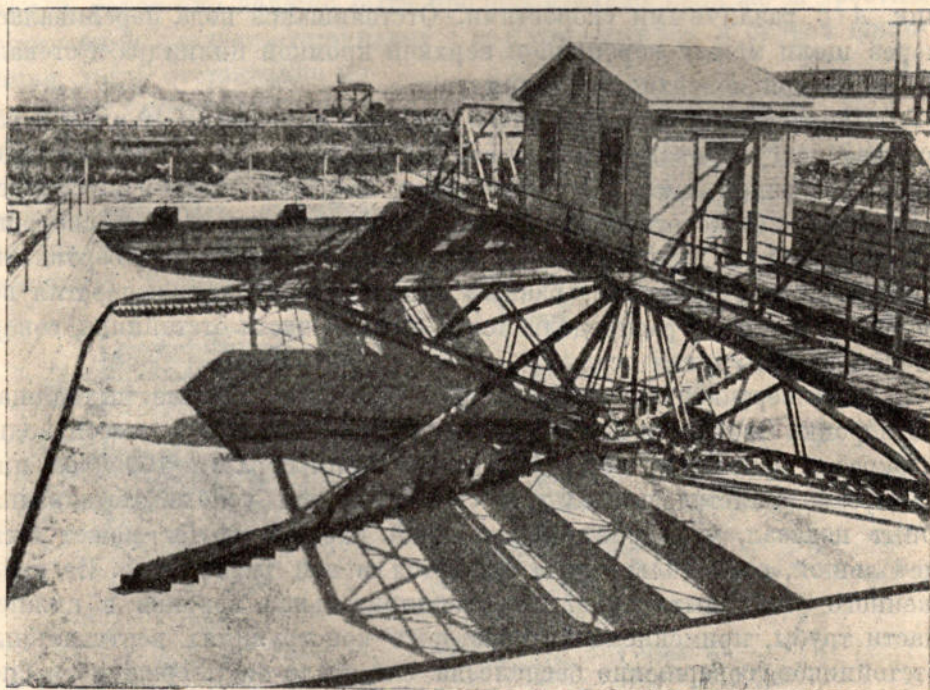
При вертикальной скорости 110—120 м/час и более выходящая из воронки жидкость беспорядочно перемешивалась с массой воды, и окраска заполняла весь отстойник. Таким образом 100 м/час или 28 мм/сек. является предельной скоростью для успеха отстаивания. Опыт показал, что длина центральной входной трубы может быть небольшой, если только вода движется в ней равномерно. Из изложенного уже опыта ясно, что расширительная воронка в нижней части трубы, применяемая в некоторых конструкциях вертикальных отстойников, совершенно бесполезна. Это было подтверждено и специальными опытами.

Описанные опыты не дают указаний относительно горизонтальных размеров отстойника и, сделанные в узком высоком цилиндре с искусственной примесью, нуждаются в проверке на отстойниках нормальных размеров и при обыкновенной речной воде. Кроме того остается невыясненным влияние различия температур поступающей воды и отстаиваемой.

§ 22. Аппарат Дорра. В последнее время начали применять кое-где (Сан-Луи, Ростов н/Д. и пр.) механический аппарат для непрерывного сгребания осаждающегося ила в центральную яму, откуда ил удаляется периодически или непрерывно. Самой удобной формой отстойников в таком случае является круглая, но вращающиеся аппараты Дорра применяются и в квадратных резервуарах. На черт. 14

показан аппарат Дорра с четырьмя горизонтальными крыльями. К каждому крылу косо прикреплены скребки, сметающие ил к центральной яме. На двух крыльях имеются эластические придатки, вычищающие углы. Дно резервуара имеет однообразный уклон к середине. При сгребании осадившийся ил сгущается. Скорость вращения аппарата от 2 до 12 оборотов в час.

Вместо показанного на черт. 14 грабельного аппарата для сгребания ила применяют скребки в форме спирали, начинающейся в центре и оканчивающейся у стены резервуара. Сгребание ила дви-



Черт. 14.

жущимся аппаратом применяется и в канализационных отстойниках, где оно может быть более полезным, чем в отстойниках питьевой воды.

Фирма, поставляющая аппараты, выдвигает следующие доводы в пользу их применения:

- 1) непрерывность операции, устраняющая необходимость в удваивании числа резервуаров из-за чистки;
- 2) механическое удаление ила;
- 3) ил не накапливается и не уменьшает полезного объема отстойника;

4) мелкий отстойник, чем удешевляется его конструкция.

Во всех этих доводах кроме третьего есть немало сомнительного. С 1923 г. началось применение механических скребков в отстойниках очистных установок со смягчением воды. При смягчении выделяется много осадка. Непрерывное удаление его механическими скребками видимо оправдывается в эксплуатации, потому что этот аппарат применяется уже в полутора десятке городов: Ньюарк, Спрингфилд, Южный Питсбург, Майами и др.

Канзас Сити и Сан-Луи вводят применение этого аппарата для первых отстойников очень мутной воды Миссури. В Канзасе 4 круглых отстойника по 60 м диаметром, а в Сан-Луи 5 квадратных, по 45 м в стороне.

Вот описание аппарата Дорра, примененного в Канзасе. Аппарат состоит из отстойника, скребка и насоса. Скребки вращаются в отстойнике и выводят осадок в насос. Аппарат работает непрерывно.

Вот описание аппарата Дорра, примененного в Сан-Луи. Аппарат состоит из отстойника, скребка и насоса. Скребки вращаются в отстойнике и выводят осадок в насос. Аппарат работает непрерывно.

Вот описание аппарата Дорра, примененного в Ньюарке. Аппарат состоит из отстойника, скребка и насоса. Скребки вращаются в отстойнике и выводят осадок в насос. Аппарат работает непрерывно.

Вот описание аппарата Дорра, примененного в Спрингфилде. Аппарат состоит из отстойника, скребка и насоса. Скребки вращаются в отстойнике и выводят осадок в насос. Аппарат работает непрерывно.

Вот описание аппарата Дорра, примененного в Южном Питсбурге. Аппарат состоит из отстойника, скребка и насоса. Скребки вращаются в отстойнике и выводят осадок в насос. Аппарат работает непрерывно.

Вот описание аппарата Дорра, примененного в Майами. Аппарат состоит из отстойника, скребка и насоса. Скребки вращаются в отстойнике и выводят осадок в насос. Аппарат работает непрерывно.

Вот описание аппарата Дорра, примененного в Канзасе. Аппарат состоит из отстойника, скребка и насоса. Скребки вращаются в отстойнике и выводят осадок в насос. Аппарат работает непрерывно.

ГЛАВА V.

АЭРАЦИЯ.

§ 23. Общие соображения. Во многих очистных установках Северной Америки помимо других способов очистки воды применяется еще и аэрация. Значение аэрации для очистки воды в настоящее время вполне выяснено. Она полезна там, где из воды нужно удалить неприятный запах и вкус, происходящие от растворенных в ней газов или других летучих веществ. Одновременно с этим происходит обогащение воды кислородом и некоторое уменьшение органических веществ, но последний процесс не имеет обыкновенно никакого практического значения.

Вода открытых водоемов застаивается. Это происходит в медленно текущих реках, в озерах и запрудах. При наличии значительного органического загрязнения более глубокие слои могут израсходовать почти весь свой кислород на окисление органической материи, и в такой воде начинаются анаэробные процессы—разложение без доступа воздуха. Вода приобретает затхлый запах. Аэрация в таких случаях помимо удаления неприятного запаха полезна еще тем, что насыщает воду кислородом.

Чаще всего аэрация применяется однако для устранения вкуса и запаха, вызываемых между прочим разложением микроскопических водорослей, часто сильно развивающихся в открытых водоемах.

Аэрация применяется также для удаления из воды избытка углекислоты, разъедающей металлические трубы.

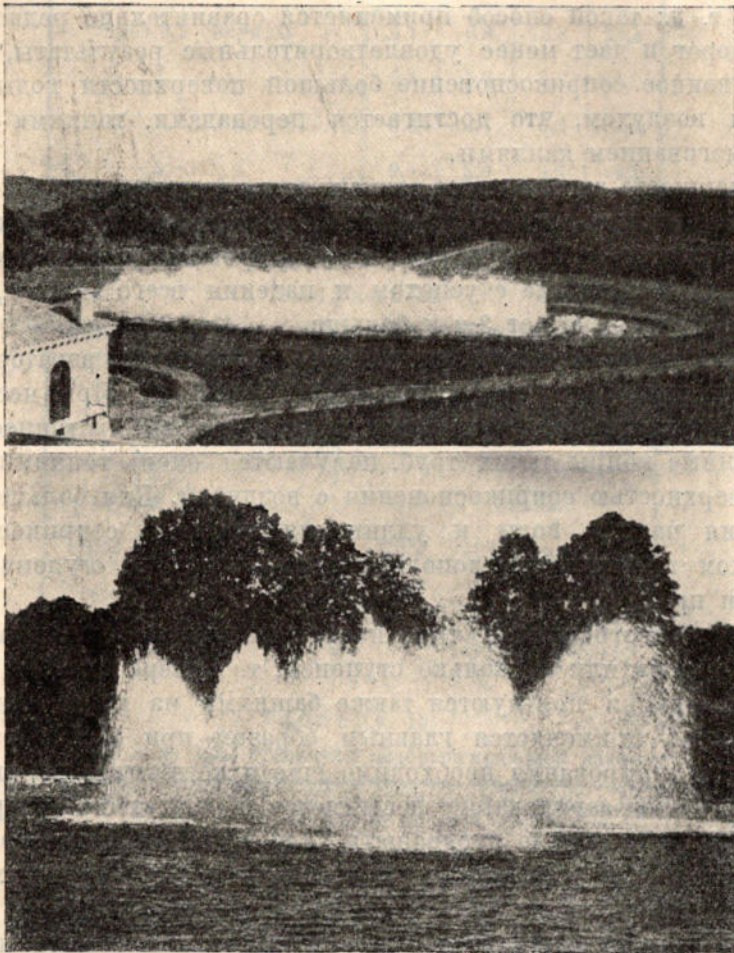
Неприятный вкус и запах вода приобретает иногда под влиянием примеси отработанных вод фабрик и заводов, но тут аэрация обыкновенно бесполезна.

Фильтрованная вода Эльбы (Германия) при ничтожном содержании бактерий часто имела неприятный вкус и запах от растворенных органических веществ из кожевенных, бумажных, сахарных и других заводов. Применение хлора 0,3—0,4 мг на литр дало большое улучшение качества воды¹.

Аэрирование чаще всего применяется к сырой воде, но иногда

¹ Pfeiffer, Beseitigung gelöster organischer Stoffe, «Das Gas- und Wasserfach», № 32 1924, Magdeburg.

его применяют после прибавления коагулянта; этим иногда ускоряется образование хлопьев и уменьшается расход реактива. Аэрирование фильтрованной воды производится не часто, главным образом из-за отсутствия необходимой для этого высоты напора, не предусмотренной при проектировании.



Черт. 14а.

Некоторые крупные новейшие очистные установки вводят двойное аэрирование — перед фильтрами и после них — для лучшей защиты от летучих продуктов разложения водорослей и для лучшего удаления разъедающих железю веществ.

В новых установках следует предусматривать необходимую высоту для аэрирования после прибавления хлора.

Аэрированием можно удалить очень значительную часть избыточного хлора после хлорирования.

Аэрирование является необходимой операцией при обезжелезивании воды.

§ 24. Практические данные. Аэрировать воду можно путем вдувания в нее воздуха через продырявленные трубы, пористые пластины и т. д.; такой способ применяется сравнительно редко, потому что он дорог и дает менее удовлетворительные результаты, чем непосредственное соприкосновение большой поверхности воды с атмосферным воздухом, что достигается перепадами, тонкими струями и разбрызгиванием каплями.

Успешность аэрирования зависит от тонкости раздробления струй и в известных пределах от времени соприкосновения с воздухом.

Высота напора, необходимая для аэрирования, чаще всего 1,5 м, но применяется иногда с успехом и падения всего лишь 0,3—0,6 м; иногда же напор бывает 3 м и больше.

Самый простой и наиболее употребительный тип аэраторов представляет вертикальная труба при впуске в бассейн. При нескольких вертикальных трубах сферические струи воды, выливающиеся через расширенные концы таких труб, получают очень тонкими с большой поверхностью соприкосновения с воздухом. Для большего размельчения частиц воды и удлинения времени соприкосновения с воздухом применяются дополнительно сквороды, ступенчатые перепады и пр.

Вместо вертикальных труб пользуются горизонтальными водосливами в одну или несколько ступеней, т. е. перепадов.

Для аэрации пользуются также башнями из кокса или камня; такой способ применяется главным образом при обезжелезивании, где помимо аэрирования необходимо еще и контактное действие.

Наилучшее аэрирование достигается посредством разбрызгивателей, которыми можно превращать воду в пылеобразное состояние. Обыкновенно разбрызгиватели употребляются более крупных размеров, с отверстием около 25 мм. Недостаток разбрызгивателей состоит в том, что для них требуется более значительная высота напора — 3 м и более. На черт. 14а показаны ньюйоркские аэраторы.

При подъеме воды из скважин сжатым воздухом обыкновенно получается и значительная аэрация ее. В Мемфисе эрлифты уменьшали CO_2 с 120 до 32 м на литр.

По опытам Уайпля (Whipple, «Microscopy of drinking Water») при разбрызгивании воды каплями в течение 1 секунды вода, лишенная кислорода, насыщалась им до 75% полного насыщения, а через 2 минуты — до 90%.

Выделение CO_2 при разбрызгивании каплями происходит следующим образом (см. таблицы 11, 12 и 13):

Таблица 11.
Выделение углекислоты при разбрызгивании.

	CO ₂ мл на литр			
Вначале	5,0	10,0	25,0	50,0
Через 0,5 секунды . . .	4,1	6,9	13,8	23,4
» 1 »	3,5	5,3	9,3	14,0
» 2 »	3,0	4,1	6,2	8,5
» 5 »	2,5	3,0	3,8	4,5
» 15 »	2,1	2,1	2,1	2,1

Таблица 12.
Выделение сероводорода при аэрации разбрызгиванием каплями

	H ₂ S мл в литре	Запах
В начале	15,0	Слабый
Через 1 секунду	10,2	Очень слабый
» 1,2 »	5,0	» »
» 2,0 »	2,6	Нет

Таблица 13.
Влияние величины отверстия разбрызгивающей насадки

	CO ₂ мл на литр		Концентрация водородных ионов (pH)	
	D = 6 мм	D = 1 мм	D = 6 мм	D = 1 мм
Вначале	71	71	5,6	5,6
Через 0,25 секунды	68	38	5,7	5,85
» 0,5 »	44	16	5,8	6,2
» 0,75 »	28	5	5,9	6,7
» 1,0 »	24	2	6,0	6,9
» 2,0 »	7	2	6,4	7,0

ГЛАВА VI.

КОАГУЛЯЦИЯ.

§ 25. Взвешенные и коллоидные частицы. Мелкие вещества, взвешенные в воде, бывают очень разнообразных размеров. Их делят на две группы: на частицы более крупные, начиная от различных только микроскопом до видимых простым глазом, и на частицы настолько мелкие, что их нельзя рассмотреть и в микроскоп (менее 0,0001 мм).

Первые могут быть осаждены простым, хотя и длительным, отстаиванием, вторые отстаиванию не поддаются: они несут на себе заряды одноименного электричества — положительного или отрицательного — и поэтому, взаимно отталкиваясь, держатся во взвешенном состоянии. Тонко измельченные коллоидные взвеси представляют собой переход от твердого вещества к раствору. Осаждение их возможно только после нейтрализации их заряда.

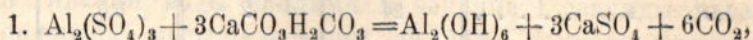
В практике чаще всего встречаются отрицательные заряженные коллоидные растворы. Для них хорошим коагулянтом являются соли многовалентных металлов, алюминия, железа (одинаково как соли окиси, так и закиси) цинка, меди и др.

Применяются для коагулирования только сернокислые соли алюминия и железа, потому что соли других металлов не годятся для этой цели вследствие их ядовитости и дороговизны.

«Когда имеем дело с положительными растворами, эти самые коагулянты не оказывают почти никакого действия. В таком случае применимы соли одновалентных металлов»¹.

Коагулянт, противоположно заряженный, разряжает частицы, находящиеся в коллоидном растворе, и этим создает возможность их осаждения.

§ 26. Реакции осаждения глиноземом. Самое осаждение как разряженных коллоидных частиц, так и более крупных взвесей производится гидратом окиси алюминия или железа, образующимся при прибавлении сернокислых солей к воде:

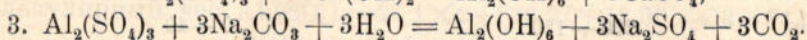
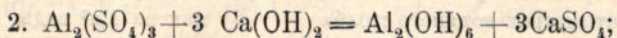


¹ «Труды XII водопроводного съезда, 1922 г. А. А. Вознесенский, Действие коагулянтов при очистке питьевых и сточных вод.

По современным химическим воззрениям реакция между сернокислым глиноземом и двууглекислым кальцием, почти всегда имеющимся в воде, дает в результате водную окись алюминия в желатинообразной форме, распространенной в воде в виде как бы сети. При благоприятных условиях эта сеть, сжимаясь, разрывается на кусочки-хлопья величиной в булавочную головку. В этом и состоит процесс коагуляции. Этому процессу содействует электролит — сернокислый кальций, образующийся как побочный продукт процесса, а также частицы глины, песка, взвешенные в воде, или механическое перемешивание воды. Органические вещества, растительные эмульсии, а также щелочи в определенной концентрации препятствуют или сильно замедляют процесс коагуляции.

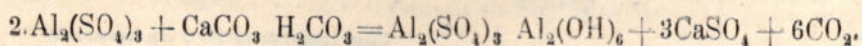
При превращении желатиновой сети в хлопья ею захватываются взвешенные вещества и бактерии. Образовавшиеся хлопья, имея губчатое строение, абсорбируют красящие вещества и газы. Хлопья под влиянием силы тяжести медленно опускаются на дно и по пути захватывают встреченные ими взвешенные вещества, в том числе и бактерии, и увлекают их с собой. Сталкиваясь друг с другом, хлопья увеличиваются в размерах и ускоряют свое движение ко дну.

Для реакции коагулирования необходимо достаточное количество двууглекислого кальция в водном растворе, т. е. достаточная временная жесткость. Если вода очень мягкая, то для совершения реакции необходимо прибавлять извести или соды, тогда реакции примут вид:



Вторая реакция дает в качестве побочного продукта CaSO_4 , увеличивающий постоянную жесткость, третья дает вредную для чугунных труб свободную углекислоту, что особенно нежелательно при мягкой воде. Первая же реакция дает оба вредных побочных продукта, а между тем она главным образом и применяется благодаря своей простоте и дешевизне. Чтобы связать углекислоту, нужно прибавить к воде извести, что иногда и делается. Значительную часть углекислоты можно удалить аэрацией после фильтра. Углекислота помимо разъедающего действия на трубы вредна еще и тем, что в открытых резервуарах чистой воды благоприятствует размножению водорослей.

Если в воде недостаточно щелочности, естественной или искусственной, то хлопья коагулянта не образуются, в особенности в холодное время года, потому что в этих условиях получается основная сернокислая соль алюминия, растворимая в воде. Реакция имеет приблизительно такой вид:



В холодную погоду основная сернокислая соль алюминия $Al_2(SO_4)_3$, $Al_2(OH)_6$ может проходить в растворе через фильтр и образовывать мелкие хлопья в резервуаре чистой воды. Устранить это явление можно, прибавив извести или соды.

Коагулирование затрудняется также присутствием в воде определенных доз щелочей калия и натрия. Гидрат алюминия в этом случае остается в коллоидальном растворе, не образует хлопьев и проходит через фильтр, придавая воде опалесцирующий вид. Увеличением дозы сернокислого алюминия можно устранить этот недостаток.

Сернокислый глинозем хорошо удаляет цветность воды, вызываемую дубильными веществами в болотной воде.

Наименьшая доза $Al_2(SO_4)_3$ при чистой воде 5 м на литр воды; чем вода мутнее, тем доза больше.

По американским данным доза коагулянта колеблется от 5 до 40 м на литр. Большие дозы применяются редко. В Москве применяют значительно большие дозы коагулянта: в среднем 80 м и максимум 160 м на литр.

Воды разных рек требуют разных доз коагулянта; поэтому в каждом случае необходимо опытным путем установить необходимые дозы коагулянта при разной мутности воды. Ниже приведена таблица, установленная на Рублевской станции московского водопровода.

Прозрачность речной воды в сантиметрах водяного столба	Доза коагулянта в грамах на 1 м ³ воды
230 — 120	0 — 40
120 — 70	20 — 60
70 — 40	40 — 80
40 — 25	60 — 100
25 — 15	80 — 120
15 — 8	100 — 140
8 — 4	120 — 160

Величина хлопьев коагулянта должна быть в половину булавочной головки. Если хлопьев не образуется и в воде достаточно щелочности, нужно прибавить больше $Al_2(SO_4)_3$. Если нехватает щелочности, надо прибавить извести или соды. Если хлопья большие и лохматые, надо уменьшить дозу реактива. Зимой коагулирование совершается медленнее.

§. 27. Единицы жесткости. До сих пор нет еще однообразной единицы жесткости или бикарбонатной щелочности. (Щелочность создается еще монокарбонатами калия и натрия и гидратами окислов.) У нас принято измерять жесткость немецкими градусами.

1 немецкий градус жесткости равен 1 ч. СаО на 100 000 ч. воды,

1 английский градус жесткости равен 1 ч. CaCO_3 на 70 000 ч. воды,

1 французский градус жесткости равен 1 ч. CaCO_3 на 100 000 ч. воды,

0,000001 жесткости по-американски равна 1 ч. CaCO_3 на 1 000 000 ч. воды.

Взаимное отношение между разными единицами измерения выражается следующей таблицей:

Таблица 14.

Взаимное отношение между единицами измерения жесткости.

	Ca CO ₃ мг в литре	Английский градус	Французский градус	Немецкий градус
Американская единица . . .	1	0,07	0,1	0,056
Французский градус жесткости	10	0,70	1	0,56
Английский градус жесткости	14,3	1	1,43	0,80
Немецкий градус жесткости .	17,8	1,24	1,78	1

По реакции на 1 молекулу $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ надо 3 молекулы CaCO_3 .

Молекулярный вес $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 = 27,1 \times 2 + (32,07 + 16,00 \times 4) \times 3 = 342,41$;

» » $\text{CaCO}_3 = 40,07 + 12,00 + 16,00 \times 3 = 100,07$;

$3\text{CaCO}_3 \times 300,21$.

На 1 вес. ч. 3CaCO_3 надо $342,4 : 300,2 = 1,14$ вес. ч. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Следовательно каждый французский градус жесткости может разложить 11,4 мг $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ на литр воды. А каждому немецкому градусу жесткости соответствует 20,3 мг безводного $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ на литр воды, а при обычном составе $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, когда вода составляет около 49% веса, глинозема нужно 40 мг.

Для успеха реакции необходим избыток жесткости приблизительно на 2 немецких градуса.

§ 28. Глинозем. Сернокислый алюминий имеет приблизительный состав: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$. Этому составу соответствует следующее процентное содержание составных частей:

Al_2O_3	15,3 %
SO_3	36,04%
H_2O	48,64%

Продажный глинозем однако часто уклоняется от этого состава, причем отношение между Al_2O_3 и SO_3 меняется то в сторону увеличения содержания Al_2O_3 — основной глинозем, то SO_3 , имеется больше эквивалентного количества — кислотный глинозем. Основной глинозем предпочтительнее для коагуляции, так как он дает более быстрое образование хлопьев и хлопья получаются более крупные, что улучшает очистку воды.

Кроме этого кислый глинозем для своей нейтрализации требует добавочного количества двууглекислых солей в воде. Во время половодья вода бывает очень мягкой, и тогда кислый глинозем особенно вреден. Весь небольшой запас двууглекислых солей прежде всего идет на нейтрализацию избытка серной кислоты, а для реакции с $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ бикарбонатов уже нехватит, и коагулирование окажется не доведенным до конца или оборванным в самом начале.

При пользовании глиноземом необходимо прежде всего убедиться, соответствует ли отношение между Al_2O_3 и SO_3 эквивалентному:

$$15,32 : 36,04 = 0,425,$$

больше оно или меньше.

Для успешного коагулирования лучше употреблять, как сказано, основной глинозем. В Америке для водопроводных установок обыкновенно требуется основной глинозем с содержанием $[\text{Al}_2\text{O}_3]$ не менее 17% и не более 0,5% нерастворимых в холодной дистиллированной воде веществ. В наиболее чистом виде американский глинозем представляет собой куски 10—60 мм зеленовато-белого цвета¹. Нечистый реактив имеет буроватый оттенок.

Некоторые водопроводы готовят сами сернокислый глинозем из боксита или, за неимением его, из глины и серной кислоты: таковы в Америке Колумбус, Монреаль, Трентон, Канзас-Сити, Омага Балтимора и др. У нас Ростовский комхоз готовит сернокислый глинозем для своего водопровода.

Нерафинированный ростовский глинозем имеет 26% нерастворимых примесей и 13% Al_2O_3 ; рафинированный имеет только 0,7% нерастворимых примесей, 14% Al_2O_3 , связанной серной кислоты более 30% и свободной серной кислоты 1,3%. Таким образом ростовский глинозем кислый, что является его недостатком.

Расплавленный во время процесса изготовления ростовский глинозем выливается в бочку и заполняет ее сплошной массой, в таком виде и поступает на водопровод. Ленинградский завод «Красный химик» (б. Тентелевский завод) готовит глинозем в виде больших

¹ С распространением сухих способов прибавления коагулянта в Америке стали готовить глинозем в виде зерен 1—2 мм. В таком же виде предполагается приготовление глинозема у нас на Полевском заводе.

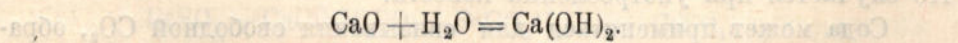
беловатых плит. В малых установках полученный в таком виде глинозем надо разбивать на куски. На ленинградском водопроводе большие плиты глинозема не дробятся, а непосредственно подвергаются растворению в холодной воде в больших резервуарах. Часто рекомендуют подогревать воду для скорейшего растворения глинозема, но без этого можно обойтись.

В сернокислом глиноземе содержится около 50% кристаллизационной воды, поэтому при составлении раствора определенной крепости надо брать двойной вес глинозема. Концентрация раствора проверяется ареометром Бомэ, градуированным для поваренной соли поэтому для глинозема показания ареометра должны быть исправлены по следующей таблице (температура раствора 16°).

Раствор сухого глинозема в процентах	Показания ареометра Бомэ в градусах
1	1,9°
2	3,5°
3	4,8°
4	5,4°
5	6,1°

§ 29. Известь. Известь (CaO) получается обжигом известняков CaCO₃. В зависимости от качества известняков получается больше или меньше примесей к CaO. Для коагулирования обыкновенно применяется наиболее чистая известь, содержащая CaO от 75% и выше. Известь должна быть свежееобожженная, так как при лежании она поглощает из воздуха CO₂ и снова превращается в CaCO₃. На больших очистных установках ее держат в непроницаемых для воздуха силосах.

Перед употреблением известь должна быть погашена водой в гидрат окиси кальция или гашеную известь:



Гашение извести в больших установках производится в железных чанах с механическим перемешиванием извести с водой. При гашении не нужно большого количества воды. Кашицеобразная смесь должна быть тщательно перемешана и накрыта, для того чтобы она хорошенько прогрелась теплотой, выделяемой при реакции. Для этой же цели пользуются при гашении нагретой водой. Жирная известь гасится в 15—30 минут, тощая требует большего времени.

Гашеная известь разбалтывается в воде в особых коагуляционных баках, откуда через градуированное отверстие поступает в сырую воду. В этом случае воды надо не менее четверного количества

по весу по сравнению с весом гашеной извести. Холодная вода предпочтительнее, так как CaO лучше растворяется в холодной воде.

В баке для известкового молока должно быть приспособление для непрерывного перемешивания, чтобы держать известь во взвешенном состоянии, так как только часть ее растворяется в воде. Все трубы, отводящие смесь, все отверстия и краны должны часто прочищаться, так как известь легко засоряет их. Чтобы получить не смесь извести с водой, а раствор извести, надо очень большое количество воды, но прибавление к воде раствора гораздо удобнее, чем известкового молока. В 1 куб. м воды растворяется 1,25 кг негашеной извести.

В сырую воду известковое молоко нужно вводить посредством нескольких отверстий в продырявленной трубе, иначе известь будет садиться на дно и пропадает для реакции коагулирования. Чтобы отверстия не забивались, их не следует делать менее 10 мм. Без этих предосторожностей 50% и более извести может пропадать даром. Надлежащим устройством приборов можно уменьшить потерю до 10—15%.

Не следует употреблять избытка извести, так как она делает воду едкощелочной. Количество прибавляемой извести должно соответствовать дозе коагулянта и свободной и полусвободной углекислоте.

Вместо негашеной извести можно и даже удобнее употреблять гашеную известь. Из нее также готовится известковое молоко и тем же самым способом направляется к очищаемой воде.

§ 30. Сода. Сода Na_2CO_3 представляет белый порошок, хорошо растворимый в воде. Она применяется вместе с $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ вместо извести и благодаря своей растворимости гораздо удобнее извести, так как не требует постоянного перемешивания и не засоряет отверстий. Она выгодна еще и потому, что при ее употреблении не может быть последующего осаждения на фильтровом песке углекислого кальция, что случается при употреблении извести.

Сода может применяться для связывания свободной CO_2 , образуя двууглекислую соду, и для устранения кислотности. С $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ сода применяется в пропорции 1 ч. на 2 ч. сернокислого алюминия состава $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$. При этой реакции получается свободная CO_2 , но в количестве вдвое меньшем, чем при реакции $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ с $\text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{CO}_3$, что ясно из предыдущих формул. Для полного устранения углекислоты необходимо удвоить дозу соды.

По реакции на 1 молекулу безводного $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ веса 342,4 требуется $3\text{Na}_2\text{CO}_3$ ($23,0 \times 2 + 12,0 + 16 \times 3$) $\times 3 = 318,0$. Отношение весов 1:1,076.

Сода применяется преимущественно на мелких установках Америки, потому что с ней легче обращаться, а также она удобнее при

малых размерах отстойников после коагуляции (менее 4—6 часов), известь дает в таких случаях осадки на фильтровом песке. Главный недостаток соды — дороговизна: ее требуется для реакции больше, чем извести, и к тому же она втрое дороже.

§ 31. Железный купорос. Железный купорос $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Сернокислое железо вместе с известью часто применяется в Америке для коагуляции. Оно представляет прозрачные зеленые кристаллы, на воздухе слегка окисляющиеся. Железный купорос дает хлопья большого удельного веса, поэтому они осаждаются быстрее, чем гидрат алюминия. Купорос действует на бактерии, подобно извести, как умеренно дезинфицирующее вещество. По стоимости он дешевле $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Но применение его сложнее, чем $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, потому что требуется еще и известь.

Случайный избыток извести ведет к осаждению на фильтровом песке CaCO_3 , который медленно образуется и медленно осаждается, потому и попадает на фильтры.

Купорос нельзя употреблять для окрашенной болотной воды, так как он образует растворимые соединения с органическими веществами, придающие воде черноватую окраску. Наибольшее применение железный купорос нашел при мутных и довольно жестких водах Миссисипи и Миссури.

Реакция протекает различно в зависимости от того, прибавляется ли CaO до купороса или после него. В первом случае получается сразу требуемый продукт — гидрат окиси железа:



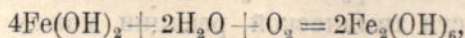
Во втором случае купорос реагирует сначала с бикарбонатами воды, образуя бикарбонат железа:



который окисляется и осаждается, но реакция идет медленно, и осадок часто получается в очень размельченном виде. Для ускорения и улучшения реакции прибавляется известь:



Гидрат закиси железа $\text{Fe}(\text{OH})_2$ быстро окисляется в гидрат окиси:



который является настоящим коагулянтом.

Для последней реакции необходимо 0,5 м на литр растворенного кислорода на каждые 18 м сернокислого железа. В воде обыкновенно содержится не менее 5 м кислорода на литр.

Количество требуемой теоретически извести с содержанием 85% CaO — 4 м на каждые 18 м FeSO₄, но ввиду неизбежных потерь извести приходится брать больше — до 7 м; в результате этой реакции получается 8,44 м сернокислого кальция.

Если в воде достаточно временной жесткости, то извести можно брать и несколько больше, так как осаждающийся CaCO₃ кристаллизуется на хлопьях гидрата окиси железа и увеличивает их вес а следовательно и скорость осаждения.

Количество прибавляемой извести увеличивается для мутной воды, начиная с 7 м для чистой воды и доходя при мутности, равной 1,200 до 18 м на 18 м FeSO₄.

§ 32. Место введения в воду реактивов. Обычно реактивы вводятся до отстойника; если же отстаивание двойное, то реактивы вводятся после первого отстойника. В первом отстойнике при мутной воде легко выделяются грубые примеси, которые абсорбировали бы (глина), отчасти осадил бы на дно коагулянты, и таким образом реактивы были бы потрачены бесполезно, поэтому в первом отстойнике и применяется простое отстаивание.

При наличии только одного отстойника не рекомендуется по тем же соображениям вводить всегда коагулянты перед или в начале отстойника. Введение коагулянта в начале отстойника выгодно при не очень мутной воде, при большой же мутности воды надо в первой половине вести простое отстаивание и прибавлять коагулянт только со середины отстойника, распределяя его равномерно по всей ширине резервуара продырявленными трубами.

В те периоды, когда вода бывает очень прозрачна, можно совсем не вводить коагулянт в отстойник, а прибавлять его к воде выходящей из отстойника, для образования пленки на фильтре.

Таким образом ради экономии расхода коагулянта желательно постоянно менять место выпуска коагулянта в отстойный резервуар в зависимости от степени мутности воды и зараженности ее бактериями. Для возможности таких манипуляций необходимо соответственное оборудование отстойников трубами и кранами, подводящими коагулянт.

Перемена места прибавления коагулянта конечно сильно усложняет устройство и уход за отстаиванием и поэтому может с успехом применяться только на крупных установках.

Для успешности химической реакции между реактивами и водой необходимо их тщательное смешение. Такое смешение получается само собой, если коагулянт вводится в трубу на значительном

расстоянии перед резервуаром, иначе требуются особые смесители. После смешения движение воды должно совершаться возможно спокойнее, чтобы не разбивать хлопьев коагулянта. Трубы, подводящие коагулянт, должны быть возможно короче и идти с непрерывным уклоном к месту выпуска коагулянта. Диаметр их не должен быть мал и не менее 50 мм. При проектировании необходимо предусмотреть возможность частой промывки их водой. Материалом для труб, подводящих известковое молоко или соду, может быть простое (не гальванизированное) железо, чугун, а для сернокислого алюминия, железа и белильной извести хороши свинцовые трубы; употребляются также хорошо асфальтированные чугунные и железные трубы. Каучук, эбонит, стекло применяются с большим успехом, так как не разъедаются реактивами.

Время отстаивания после прибавления коагулянта обыкновенно 2—6 часов, но бывает и больше. Скорость движения воды в отстойнике по Элмсу 5—8 мм/сек. АWP дает предельную величину для скорости 12,5 мм/сек. В отстойнике после коагуляции можно допустить большую скорость, чем при простом отстаивании, так как хлопья коагулянта благодаря своей величине быстрее садятся на дно.

Опытным путем для каждой воды может быть установлена наиболее выгодная продолжительность отстаивания. Если за отстаиванием следует скорая фильтрация, то отстаивание не нужно доводить до полного осветления воды. Некоторое количество хлопьев коагулянта должно оставаться в воде, поступающей на скорые фильтры, для образования на поверхности песка неорганической пленки, играющей главную роль в очистке воды этими фильтрами.

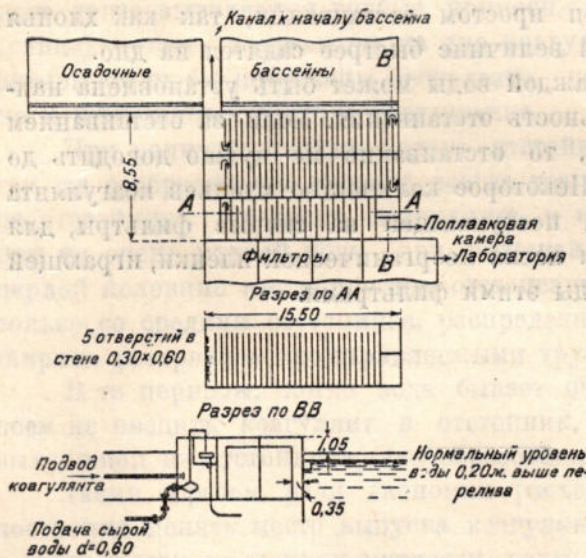
ГЛАВА VII.

СМЕСИТЕЛИ.

§ 33. **Скорость в смесителе.** Смеситель с перегородками. Подробное опытное изучение процесса коагулирования выяснило, что при перемешивании воды хлопья $Al(OH)_3$ образуются быстрее и вдвое больших размеров, чем без перемешивания. Но быстрота перемешивания не должна быть слишком большая, чтобы хлопья не разбивались. На основании многих опытов можно заключить, что скорость движения воды в смесителе не должна быть меньше $0,20 \text{ м/сек}$.

Американский водопроводный справочник указывает $0,3—0,7 \text{ м/сек}$. Департамент здравоохранения штата Иллинойс рекомендует¹ скорость смешения от $0,2—0,3 \text{ м/сек}$ при частом повороте движущей струи. От всех представляемых ему на утверждение проектов скорых фильтров департамент требует обязательно устройства смесителя.

Обычный тип смесителя, применяемый в Америке, состоит из прямоугольного резервуара с частыми перегородками,



Черт. 15.

много раз меняющими направления движения воды в горизонтальной или в вертикальной плоскости. На черт. 15 изображен схематически в плане и в двух разрезах смесительный бассейн в Гринсборо. Коагулированная вода подводится 600-мм трубой в поплавковую камеру, регулируемую уровень воды при входе в смесительный бассейн.

¹ Water purification plant design and operation «Journal of American Water Works Association», Февраль, 1925.

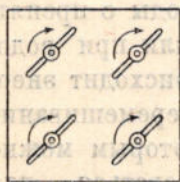
Две продольные перегородки делят бассейн на 3 части, длиной 18,5 м и шириной в 8,5 м; $3 = 2,83$ м. Все три отделения застроены железобетонными перегородками толщиной в 50 мм с промежутками между ними в 350 мм. Промежутки между перегородками и стенками также 350 мм. Вся длина пути в смесителе — 323 м. Время смешения при 22 740 куб. м в сутки — 20 минут. Потеря напора на всей длине смесителя 870 мм; скорость — 0,263 м/сек. На черт. 16 изображены кривые потери напора¹ и коэффициента C в формуле Шези

$$V = C\sqrt{RJ},$$

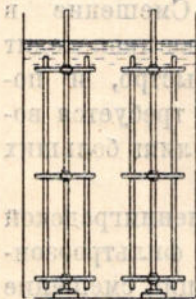
полученные из опытов над смесительным резервуаром в Гринсборо. Кривая

коэффициента C , начиная с расхода 11 370 куб. м в сутки, идет почти параллельно оси абсцисс, т. е. C становится почти постоянным.

Для перемены движения в вертикальной плоскости перегородки ставятся так, что одна из них перегородаживает все сечение, оставляя только сверху перелив, а соседняя поднимается выше уровня воды, но оставляет щель над полом.

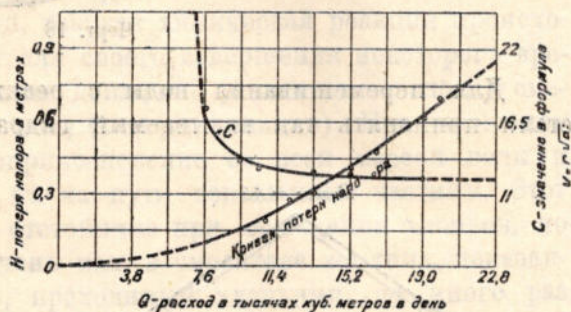


Потеря напора при пропуске 22 740 куб. м воды в сутки со скоростью 0,263 м/сек, как сказано, равна 870 мм. Если же количество воды уменьшить раз в восемь и дать ей прежнюю скорость, тогда придется сблизить перегородки до 44 мм; в таком случае потеря напора на той же длине пути будет метров 10.



Черт. 17.

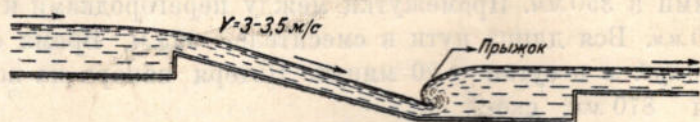
Удобнее, чем механическими мешалками, перемешивать воду вращательным движением воды в круглом резервуаре. Сырая вода должна быть подведена снизу через сопло, направленное нормально к радиусу. При скорости



Черт. 16.

¹ Loss of Head in Closely Baffled Mixing Bossin, «Engineering News Record», Vol. 94, № 12, 1925.

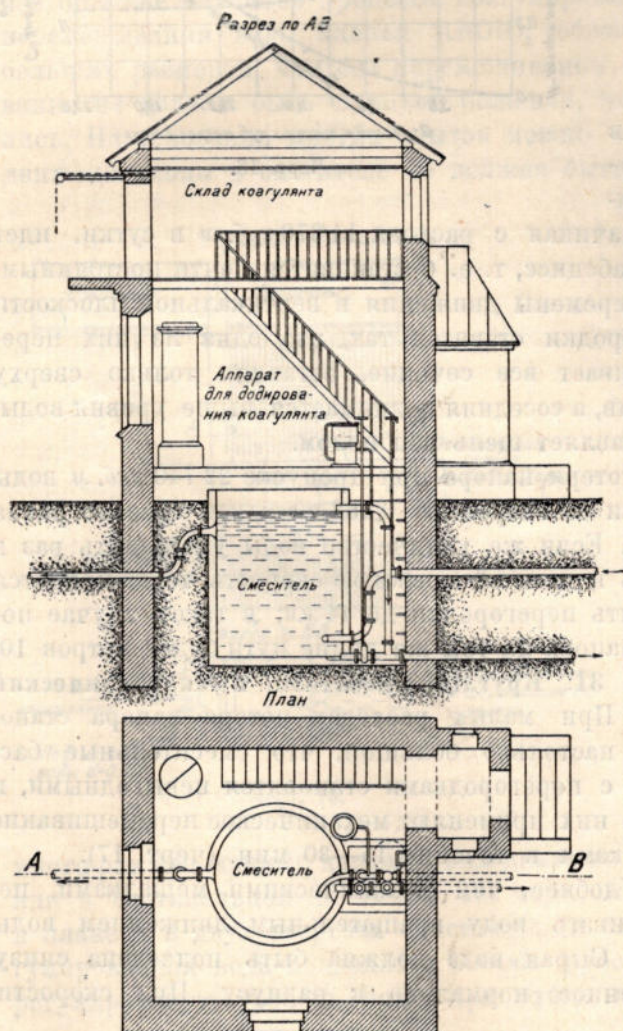
выхода воды из сопла около 2 м/сек в Криворожском смесителе получалось хорошее перемешивание воды. Потеря напора, необходимая для образования требуемой скорости, 0,2—0,25 м (черт. 19).



Черт. 18

Для перемешивания воды с реактивами в последнее время стали применять так называемый гидравлический прыжок, изображенный схематически на черт. 18. Живая сила воды здесь расходуется на вихревые движения, быстро перемешивающие всю воду. Всюду, где образуются энергичные водовороты при столкновении быстро движущейся воды с препятствием или при водопаде, происходит энергичное перемешивание воды, которым можно воспользоваться для смешения реактива с водой. Смешение в этом случае происходит очень быстро, и поэтому не требуется водовместилищ больших объемов.

На ленинградской бывшей фильтроозонной станции смешение коагулянта с водой происходит в небольшом бетонном вертикальном цилиндре. Вода, входя по жолобу в цилиндр с большой



Черт. 19.

скоростью, ударяется о внутреннюю стенку, образуя сильные вихревые движения. Отверстие для выхода из цилиндра поставлено перпендикулярно к входящей струе. Таким образом вся живая сила входящей струи погашается в вихрях.

Этот способ перемешивания быстр и требует небольшой потери высоты. Если скорость воды 3 м, то $\frac{v^2}{2g} = 0,46$ м. Помимо тщательного смешения коагулянта с водой, так как химическая реакция происходит не мгновенно, а требует для своего совершения некоторого времени, очень полезно длительное движение реактивов с водой в смесителе (от 15 минут до 1 часа) (камеры реакции). При движении хлопья приходят в тесное соприкосновение со всей массой воды и захватывают встречающиеся им на пути взвешенные частицы. Этот же процесс происходит и в отстойнике при осаждении хлопьев, но там путь их сравнительно очень мал; в смесителе же типа, показанного на черт. 15 и 19, путь, проходимый хлопьями, во много раз больше.

Этот особый вид здания применяется в тех случаях, когда необходимо иметь в одном здании склад реактивов и аппаратуру для их дозирования и прибавления к сырой воде.

Глава VIII.

КОАГУЛЯЦИОННОЕ ЗДАНИЕ И СПОСОБЫ ПРИБАВЛЕНИЯ КОАГУЛЯНТА ИЛИ РЕАКТИВОВ.

§ 35. Общие соображения. Простые коагуляционные здания.
Для хранения запаса реактивов и расположения всех аппаратов, необходимых для дозирования и прибавления реактивов к сырой воде, устраивается особое коагуляционное здание. На удобство доставки реактивов на склад должно быть обращено большое внимание. Особенно для крупных предприятий, расходующих ежедневно по несколько тонн реактивов, удобство доставки имеет большое значение.

Там, где это не вызывает очень больших затруднений, рельсовый путь подводится непосредственно к складам. В случае невозможности этого сделать к очистным установкам должна быть устроена хорошая мощеная дорога для доставки реактивов на лошадях или автомашинах.

Запас реактивов на станции должен быть не менее месячного, а лучше еще больший, чтобы не зависеть от случайных задержек в транспорте. Склад для реактивов должен быть удобно расположен по отношению к месту, где производится дозирование коагулянта. Удобно склад реактивов располагать в верхнем этаже коагуляционного здания. Реактивы, упакованные в бочки, хранятся в этой упаковке и на складах; насыпной материал хранится в силосах. Подъем реактивов наверх производится в больших установках и при отсутствии упаковки элеваторами с бесконечными цепями, эрвейерами и пр. в мелких — простыми подъемниками. Движущая сила — электромоторы или водяные турбины, действующие напорной водой. Для передвижения реактивов в пределах коагуляционного здания применяются различные элеваторы и конвейеры. Следует применять транспортные приспособления, возможно более простые по устройству и оперированию, чтобы остановки в работе свести к минимуму.

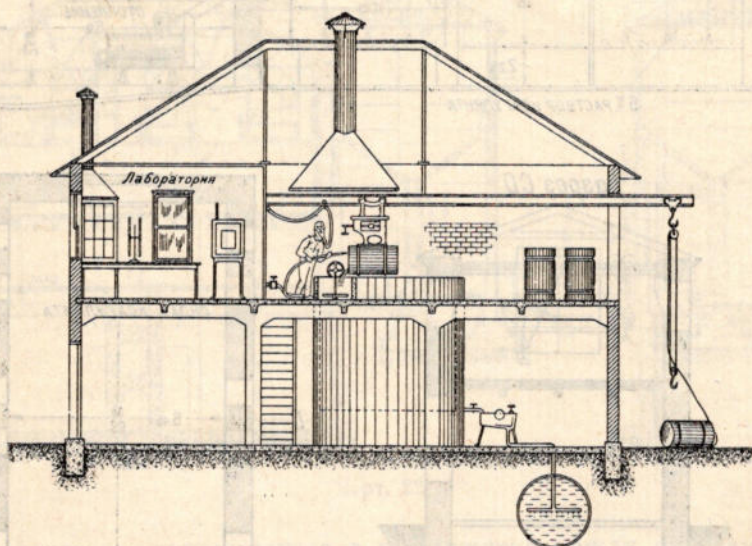
В складах реактивов необходимо устройство хорошей вентиляции для удаления пыли, возникающей при работе с реактивами. Особенно много пыли дает известь.

На черт. 19 изображено коагуляционное здание криворожского водопровода. В верхнем этаже помещается склад глинозема в плитах

и, если понадобится, извести в бочках. Раздробленный коагулянт удобнее всего передавать в первый этаж по трубе, сыпая его прямо в чан с водой. В первом этаже установлен аппарат для автоматического приготовления раствора, описанный ниже.

Раствор определенной крепости и в определенной дозе через воронку попадает в трубку, отводящую его в водовод, подающий воду из первого отстойника в смеситель, расположенный под полом первого этажа.

В цилиндрическом резервуаре-смесителе вода находится в вращательном движении благодаря тому, что подающая сырую воду труба оканчивается у дна соплом, повернутым перпендикулярно к радиусу. Скорость выхода воды из сопла около 2 м/сек.

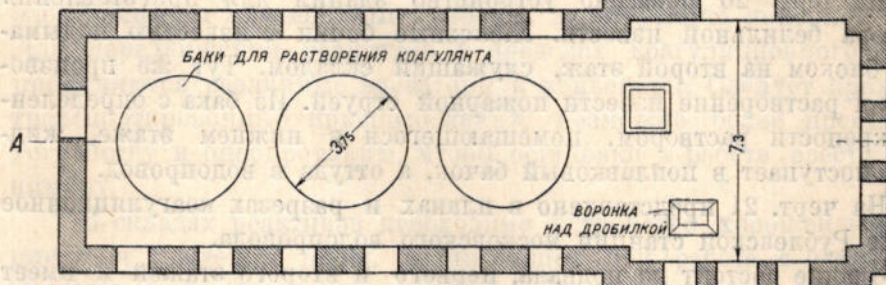
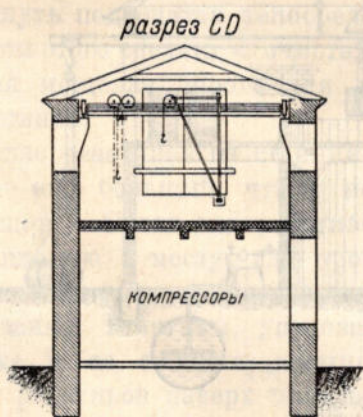
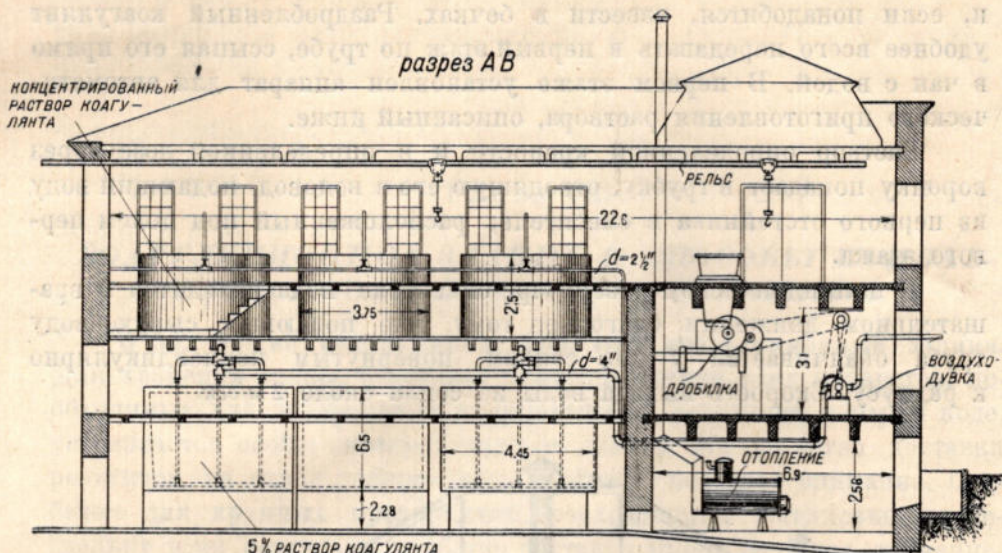


Черт. 20.

На черт. 20 показано устройство здания для приготовления раствора белильной извести. Железные бочки с известью поднимаются блоком на второй этаж, служащий складом. Тут же производится и растворение извести пожарной струей. Из бака с определенной крепости раствором, помещающегося в нижнем этаже, жидкость поступает в поплавковый бачок, а оттуда в водопровод.

На черт. 21 представлено в планах и разрезах коагуляционное здание Рублевской станции московского водопровода.

Здание состоит из подвала, первого и второго этажей и имеет форму буквы Г. Половина второго этажа занята складом коагулянта, который поднимается туда блоком. В другой половине помещаются чаны для первоначального растворения глинозема. В первом этаже

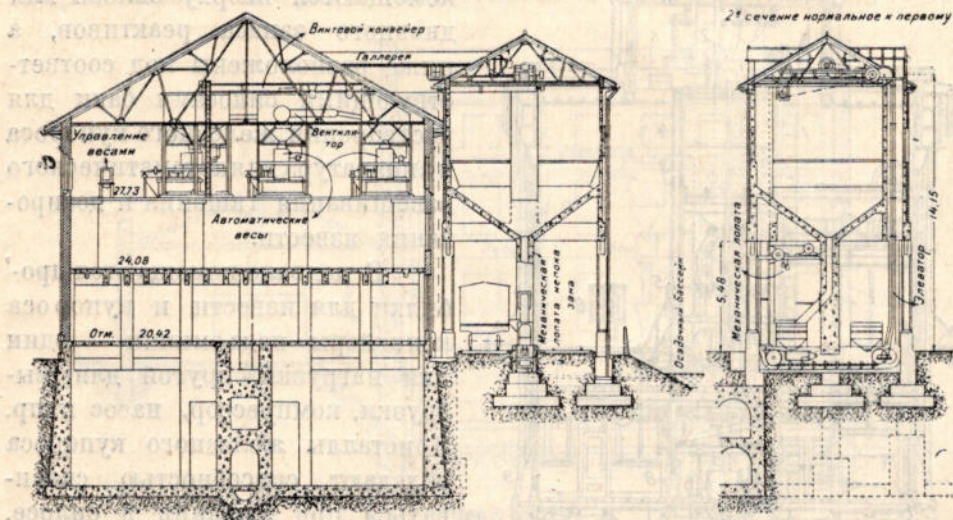


план 2^{го} этажа

Черт. 21.

помещается дробилка для размалывания коагулянта, компрессора и чаны для заготовления 5—7% раствора, опускающиеся в подвал. В подвальном помещении находится поплавковый бачок, куда вода попадает из чанов с раствором, и инжектор, нагнетающий раствор коагулянта в водовод сырой воды.

§ 36. Крупные и сложные коагуляционные здания. На черт. 22 показан разрез коагуляционного здания г. Колумбуса вместе с стоящим рядом с ним силосом для извести. Известь подвозится к силосу вагонами по двум путям; из вагонов она выгружается механической лопатой, показанной на втором разрезе силоса, перпендикулярном к первому. Лопата пересыпает известь в воронки ковшевого кон-



Черт. 22.

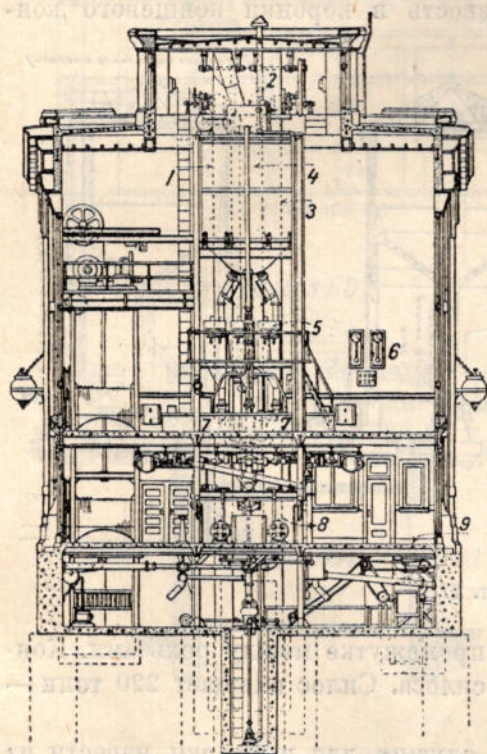
вейера-элеватора, движущегося в промежутке между рельсами. Конвейер поднимает известь на верх силоса. Силос вмещает 220 тонн — 22-дневный запас.

Полая центральная колонна служит для выгрузки извести из силоса в тот же конвейер-элеватор, которым она передается наверху в 300-мм винтовой конвейер. Этим конвейером известь передвигается горизонтально в 3 бака А, помещающиеся в третьем этаже главного здания. Из баков известь высыпается на автоматические весы, находящиеся у каждого бака. Объем баков рассчитан на 22 тонны, т. е. двухдневный запас. Из весов известь в кусках около 50 мм погружается в гасильные чаны.

Передвижение извести на весы, взвешивание и высыпание извести в гасильные чаны — все это производится вполне автоматически через определенные промежутки времени; управление этими операциями производится посредством электрических часов.

Пары от гашения извести и пыль удаляются хорошей вентиляцией.

Некоторое представление о более сложных и крупных коагуляционных зданиях даст разрез (черт. 23) коагуляционного здания города Сан-Луи. Из трех отделений здания два крайних заняты силосами (не показанными на чертеже) по 4 штуки с каждой стороны. В одной стороне помещается сернокислородное железо, а в другой известь. Объем каждого силоса 302 куб. м. В них помещается 1250 тонн извести (37-дневный запас) и 1600 тонн сернокислородного железа (115-дневный запас).



Черт. 23

В центральном отделении помещаются сверху силосы для дневного запаса реактивов, а ниже расположены под соответствующими силосами баки для растворения железного купороса и аппаратура для автоматического взвешивания гашения и дозирования извести.

В подвале помещаются дробилки для извести и купороса конвейеры-подъемники — один для нагрузки, другой для выгрузки, компрессор, насос и пр. Кристаллы железного купороса обладают способностью склеиваться при лежании в силосе, что сильно затрудняет операции. Чтобы не допускать слеживания купороса, применяется медленно вращающаяся тяжелая цепь, подвешенная на балке в верхней части силоса. Однако при слишком долгом лежании купороса

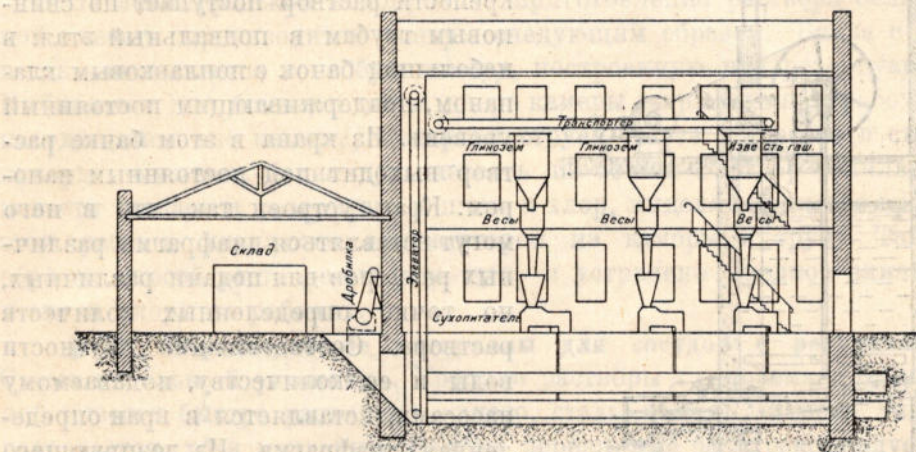
в силосах это средство не помогает.

Коагуляционное здание Алмазно-марьевского водопровода (С. Донец) (черт. 24) представляет собой трехэтажное здание с подвалом. Рядом со зданием находится склад для реактивов. Дробилка предназначена для раздробления глинозема, пока он будет доставляться в крупных кусках. Когда глинозем будет доставляться в гранулированном виде его удобнее хранить в силосе, который можно будет устроить на месте склада.

Элеватором коагулянт (и известь) поднимается на 3-й этаж

пается на ленточный транспортер и загружается в малые силосы на 1,5—2 дневный расход. Во втором этаже под силосами находятся автоматические весы, отвешивающие определенную дозу реактива и и ссыпавшие ее в первый этаж в сухие питатели. Из питателей раствор реактива инжекторами нагнетается в водовод сырой воды, помещающийся в подвальном этаже, где находятся и другие водоводы. Коагуляционное здание построено непосредственно перед фильтрами.

§ 37. Мокрый способ прибавления коагулянта. Практика московского и ленинградского водопроводов. Самое примешивание коагулянта к сырой воде может производиться двумя способами — мокрым и сухим. Старый и наиболее распространенный до сих пор — мокрый способ. Коагулянт растворяется в чану с водой; получается



Черт. 24.

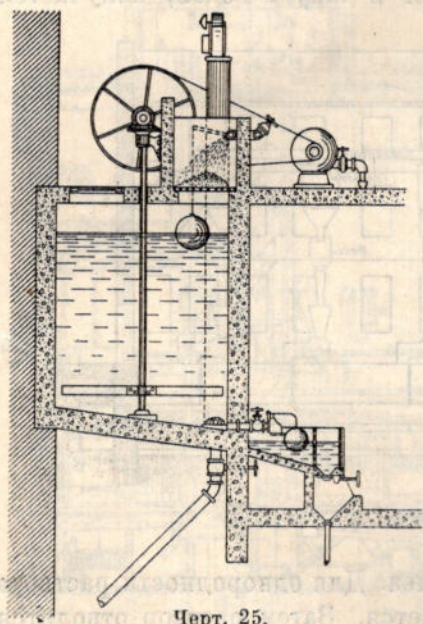
определенная крепость раствора реактива. Для однородности раствора вода в чане основательно перемешивается. Затем раствор отводится в бачок с поплавковым клапаном, поддерживающим воду в бачке на одном уровне. Из бачка раствор вытекает под постоянным напором через градуированное отверстие, и таким образом выпуск раствора коагулянта точно регулируется.

Если сырая вода подводится к отстойникам самотеком, то раствор коагулянта просто вливается в нее через особый трубопровод для раствора коагулянта (черт. 25). Если же вода подается под напором, тогда коагулянт нагнетается или маленьким насосом или чаще эжектором, работающим напорной водой.

На Рублевской станции московского водопровода раствор готовится следующим способом. Бочки с глиноземом забираются со склада и по подвешенному рельсу подвозятся к дробилке, разбиваются, и определенный вес глинозема высыпается в дробилку.

Раздробленный глинозем в железных ящиках поднимается опять в верхний этаж и сыпается в деревянные клетки, опущенные в баки с холодной водой. Клетки поворачиваются в баках и здесь получается крепкий раствор, спускаемый в нижний этаж, в другие баки, где путем разбавления его водой из кранов получается 5—7% раствор, проверяемый ареометрами. (В Америке обычная концентрация раствора 2—4%).

Для получения однородного раствора необходимо перемешивать жидкость. В Москве это достигается продувкой воздуха через дырчатые трубы, уложенные по дну бака; в Америке повидимому чаще применяют механические мешалки.



Черт. 25.

Из нижних баков определенной крепости раствор поступает по свинцовым трубам в подвальный этаж в небольшой бачок с поплавковым клапаном, поддерживающим постоянный уровень. Из крана в этом бачке раствор выходит под постоянным напором. Кран устроен так, что в него могут вставляться диафрагмы различных размеров для подачи различных, но точно определенных количеств раствора. Соответственно мутности воды и ее количеству, подаваемому насосами, вставляется в кран определенная диафрагма. Из дозирующего бачка раствор вытекает в другой бачок, откуда захватывается водяным эжектором и нагнетается в водоводы первого подъема перед отстойниками.

Внутри водовода имеется приспособление для разбрызгивания раствора по всему сечению трубы.

На второй ленинградской насосной и очистной станции приготовление раствора очень упрощено. Дневная порция коагулянта тонны 2—3 в форме больших плит, доставляемых заводом, грузится на деревянную решетку, расположенную в полукруглом резервуаре. Затем в резервуар напускается вода, падающая струйками из горизонтальной продырявленной трубы на куски коагулянта и постепенно растворяющая его. Резервуар наполняется водой до определенной высоты и остается в таком положении около суток.

В течение этого времени куски сернокислого глинозема растворяются совершенно. Под конец через резервуар продувается воздух

для перемешивания воды. Из этого резервуара раствор спускают в другой, откуда сжатым воздухом передвигается в дозирующие приборы, а отработавший воздух служит для перемешивания. У каждого круглого отстойника расположен бак для запаса раствора на сутки, откуда раствор поступает в меньший поплавковый бачок, а оттуда уже под постоянным напором и через отверстие определенной величины—прямо в канал сырой воды. Круглый резервуар для растворения глинозема разделен перегородкой на две половины, работающие поочередно.

Приготовление раствора белильной извести ранее обыкновенно требовало образования кашицеобразной массы, которую протирали через сетку (только не медную) в бочку и разбавляли водой.

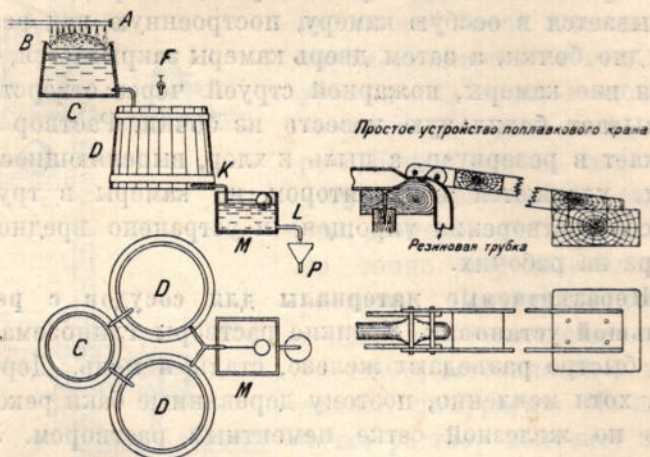
На ленинградском водопроводе приготовление раствора белильной извести производится теперь следующим образом. Бочка с известью вкатывается в особую камеру, построенную над резервуаром. Выбивается дно бочки, а затем дверь камеры закрывается, и рабочий, находящийся вне камеры, пожарной струей через отверстие в стене камеры вымывает белильную известь из бочки. Раствор белильной извести стекает в резервуар, а пыль и хлор, выделяющиеся во время этой работы, удаляются вентилятором из камеры в трубу. Таким образом способ растворения упрощен, и устранено вредное влияние пыли и хлора на рабочих.

§ 38. Неразъедаемые материалы для сосудов с реактивами. Схема небольшой установки. Крепкие растворы глинозема и белильной извести быстро разъедают железо, сталь и медь. Дерево также разъедается, хотя медленно, поэтому деревянные баки рекомендуется штукатурить по железной сетке цементным раствором. Устойчивы против разъедания жирный бетон, керамика, парафин, стекло, эбонит, резина, свинец, а также хорошо асфальтированное железо. Щелочные растворы могут содержаться в железных или бетонных чанах и подаваться по железным трубам. Раствор соды содержится в железных чанах, так как она разъедает бетон. Гашение извести производится в железных чанах, так как бетон от развивающейся теплоты дает трещины. Цементная штукатурка применяется и к железным чанам. Пользуются также стойкой противокислотной окраской как железа, так и дерева и бетона. Для дерева и бетона рекомендуется сначала окраска жидким раствором асфальта, а потом горячим асфальтом.

Размеры чанов должны быть рассчитаны соответственно количеству обрабатываемой сырой воды. Малорастворимая известь (1/800) требует очень больших чанов, если ее употреблять в виде известковой воды. При применении же ее в виде известкового молока нужны небольшие чаны, но зато необходимо постоянное перемешивание.

Слабая растворимость белильной извести также требует довольно значительных резервуаров. Чанов с готовым раствором не должно быть менее двух, потому что когда один из них работает, другой должен готовиться. Размеры чанов с готовым раствором должны быть рассчитаны на 8- или 12-часовую непрерывную работу, чтобы приготовление раствора происходило один раз в смену. На чанах должны быть нанесены деления. При известной площади сечения чана изменения уровня воды, указываемые делениями, сразу дают представление о расходе коагулянта в определенный промежуток времени.

Схематически небольшая установка для прибавления коагулянта (а также и белильной извести) мокрым способом представлена на черт. 26. Из крана *A* вода попадает на глинозем, уложенный в ящик *B*



Черт. 26.

с дырчатыми стенками. Крепкий раствор коагулянта собирается в бачке *C*. Отсюда коагулянт попадает через трубочки (можно резиновые с зажимом) в чаны *D*, где путем прибавления воды из кранов *F* готовится по ареометру раствор крепостью 2—5%. Раствор из бака *D* по трубке *K* отводится в поплавковый бачок *M*. Поплавковый клапан удерживает уровень воды в бачке *M* на постоянной высоте.

Из бачка *M* под постоянным напором раствор вытекает через градуированный кран *L* и по трубке *P* поступает в очищаемую воду. Кран *L* устанавливается соответственно расходу и мутности сырой воды на подачу определенного количества коагулянта.

Если коагулянт подается в напорный водовод, тогда после бачка *M* надо поставить еще один бачок, из которого раствор забирается инжектором и нагнетается в напорный водовод.

Растворение реактивов идет хорошо, когда они обливаются мелкими струйками воды. Загруженные же на дно баков с водой сода и купорос образуют большие кристаллические массы, трудно растворимые. Объем бака *C* должен быть так подобран, чтобы определенная загрузка реактива была вся растворена струйками воды.

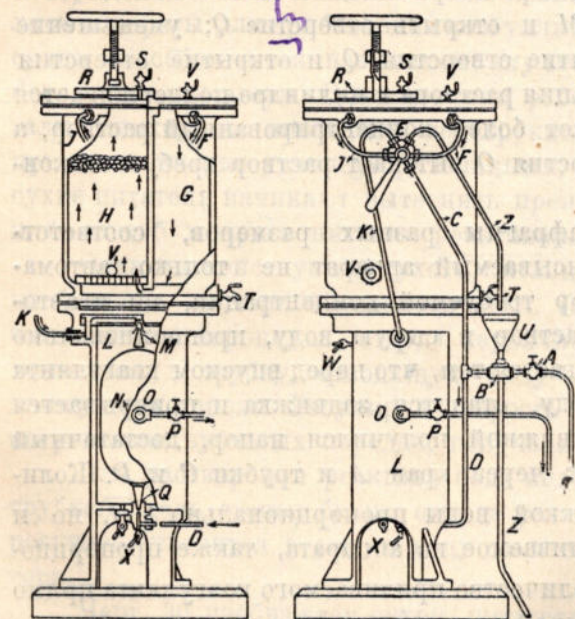
При заготовлении раствора белильной извести из нее сначала готовится тестообразная масса, затем она протирается через железную сетку и разбалтывается в воде. Приходится это делать потому, что белильная известь образует

с водой тестообразные комья, очень трудно растворимые в воде. При растворении извести сильной струей и большим количеством воды

Черт. 27.

комья не образуются и раствор получается легко. Раствор белильной извести не следует делать крепче 1%, а еще лучше делать его полупроцентным. Крепость раствора глинозема не рекомендуется делать более 2%, во избежание разъедающего действия на трубы и образования отложений в трубах. Раствор купороса делается 2—5%.

На черт. 27 изображен чугунный эмалированный бачок с стеклянным поплавком и управляемым им клапаном. В углу видна вертикальная переливная трубка;



Черт. 28.

такая же трубка, только подвижная, эбонитовая, в данном случае служит для отвода раствора из бачка в водовод. Подвижная трубка

приводится в движение зубчатой рейкой, и движение указывается стрелкой циферблата. Поднимая и опуская эбонитовую трубку, легко дозировать выпуск раствора, заставляя его вытекать то под большим, то под меньшим напором.

§ 39. Аппарат для автоматического приготовления раствора и дозирования коагулянта. Опишем аппарат для автоматического прибавления коагулянта, применяемый в Торонто (Канада) (черт. 28). Два цилиндрических резервуара расположены один над другим *L* и *G*. Сырая вода под давлением подводится к цилиндру *G* через трубку *C*, проходя через сетку *B*, пятиходовой кран *E*, трубку *F*. Перегородкой, поставленной в цилиндре *G*, вода подводится под решетку и поднимается, как показано стрелками, в камеру *H*, наполненную серноокислым алюминием. Из камеры *H* концентрированный раствор вытекает через трубку *I*, кран *E*, трубку *K* в верхнюю часть камеры *L*.

В камере *L* автоматически образуется раствор требуемой концентрации — 3—5%. Достигается это благодаря поплавку *N*. Вес его подобран таким образом, что он тонет в растворе слабее 3% и поднимается в более крепком растворе. На концах поплавков имеет две конические затычки, точно приходящиеся в верхнее отверстие *M* и нижнее *Q*, проводящее сырую воду.

Увеличение концентрации раствора заставит поплавок подняться вверх, закрыть отверстие *M* и открыть отверстие *Q*; уменьшение концентрации вызовет закрытие отверстия *Q* и открытие отверстия *M*. Таким образом концентрация раствора в цилиндре поддерживается постоянной; сверху притекает более концентрированный раствор, а снизу — сырая вода, из отверстия *O* вытекает раствор требуемой концентрации.

В *O* вставляются диафрагмы разных размеров, соответственно дозе коагулянта. Описываемый аппарат не только автоматически prepares раствор требуемой концентрации, но и автоматически подливает этот раствор в сырую воду, пропорционально ее расходу. Последнее достигается тем, что перед впуском коагулянта на трубе, ведущей сырую воду, ставится задвижка и прикрывается настолько, чтобы перед задвижкой получился напор, достаточный для подачи воды в аппарат через кран *A* и трубки *C* и *D*. Количество пропускаемой задвижкой воды пропорционально \sqrt{H} , но и количество раствора, выдавливаемое из аппарата, также пропорционально \sqrt{H} , следовательно количество приливаемого коагулянта прямо пропорционально притоку сырой воды.

Действует аппарат таким образом. Куски серноокислого алюминия накладываются в цилиндр *H* через люк *R*, и после этого люк закрывается герметически. Открывая впускной кран *A* и выпускной *P* и

ставя кран *E* в положение «пуск», аппарат пускают в ход. Когда нужно прибавить коагулянт, кран *E* переводится в положение «загрузка». Этим прекращается подвод сырой воды в цилиндр *G*, и она отводится по трубке *K* прямо к отверстию *M*. Вследствие уменьшения от этого концентрации раствора в цилиндре *L*, поплавков *N* закрывает отверстие *Q*. Вода, вошедшая через верхнее отверстие *M*, будучи легче раствора, останется вверху, а раствор прежней концентрации и под прежним давлением будет вытекать через отверстие *O*.

Это будет продолжаться до тех пор, пока сырая вода сверху не опустится до отверстия *O*. Но так как вытекание коагулянта происходит медленно, а время, необходимое для загрузки коагулянта, не велико, то перерыва в подаче коагулянта не бывает.

Во время загрузки сернокислого алюминия он вытесняет раствор, вытекающий через трубку *F*, кран *E* и отвод *Z*.

После закрытия люка *R* кран *E* переводится в положение «пуск», и аппарат действует до новой загрузки.

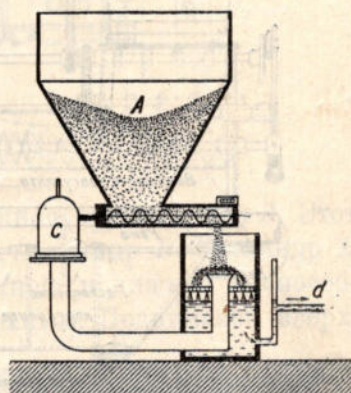
Такой аппарат своего производства с некоторыми изменениями установлен на криворожском водопроводе.

§ 40. Сухой способ прибавления реактивов. Червячный аппарат, дисковый и барабанный. В последние годы появились аппараты для прибавления коагулянта сухим способом — так называемые *dry-feeder*, сухие питатели. В начале они работали плохо, но последние конструкции признаны вполне удовлетворительными, и сухие питатели начинают вытеснять прежний способ мокрого питания реактивами.

Одна из конструкций сухого питания изображена на черт. 29 схематически. Перемолотый в песок реактив засыпается в воронку *A*, откуда червячной передачей порошок прямо высыпается в трубку, отводящую воду от водяного колеса Пельтона, движущего червяк. Регулируя скорость движения колеса и червяка посредством зубчатых передач, получаем разное количество реактива.

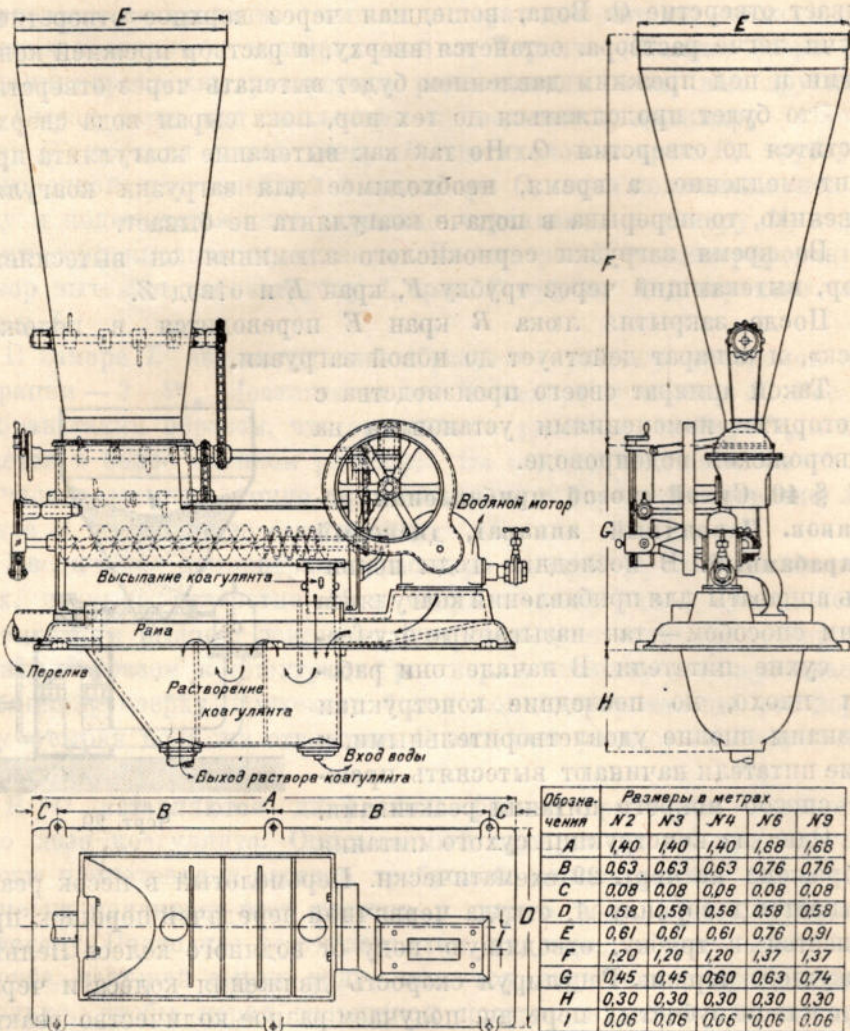
Для растворения реактива вода подводится еще продырявленной трубкой вдоль стенок бачка; отсюда раствор глинозема или другого реактива отводится в сырую воду самотеком или посредством инжектора.

Черт. 30 изображает сухой питатель Гаунта (*The Gauntt Feeder*), изготовляемый фирмой *W. I. Lavage Company Knoxville Tennessee* для глинозема, извести, соды, железного купороса и для всякого другого порошкообразного материала. Изображенный аппарат



Черт. 29.

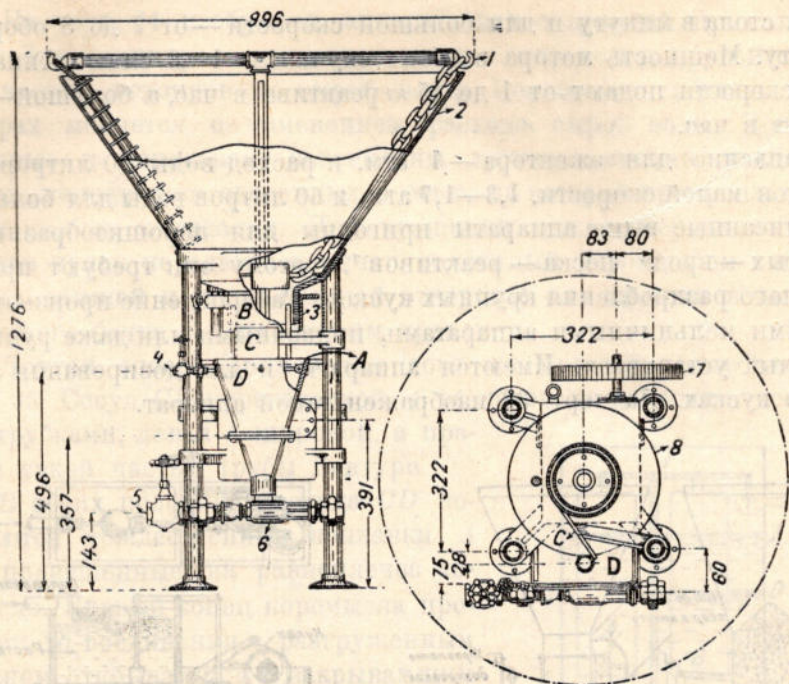
приводится в движение маленьким колесом Пельтона, но есть аппараты и с электромоторами. Оработанная вода турбины Пельтона служит для растворения реактива в смесительной камере с перегородками. Мощность мотора — от $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{2}$ лошадиной силы.



Черт. 30.

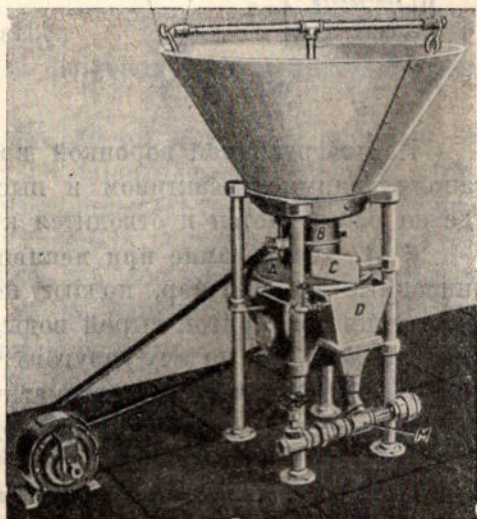
Вращающиеся зубья в загрузочной воронке и под ней препятствуют тому, чтобы реактив плотно слеживался и образовал прочную массу.

Черт. 31 и 32 изображает аппарат Уоллеса и Тирнан (Wallace and Tiernan, New-Ark New Jersey). Он построен по другому прин-



Черт. 31.

ципу. Под воронкой 2 находится вращающийся круглый стол А. Этот стол служит дном воронки, переходящей в цилиндр В. Цилиндр В состоит из двух частей: верхней—неподвижной, и нижней 3, способной подниматься вверх, надвигаясь на верхнюю. Поднимаясь вверх, нижняя часть цилиндра образует со столом цилиндрическую щель величины, устанавливаемой по желанию. При вращении стола реактив под влиянием центробежной силы выходит через щель и рассыпается по столу. Неподвижный скребок С, установленный косо на столе, заставляет порошок ссыпаться со стола в воронку D, куда подводится для растворения реактива вода через кран 4. Из воронки D инжектором 6 раствор подается в напорный трубопровод сырой воды.



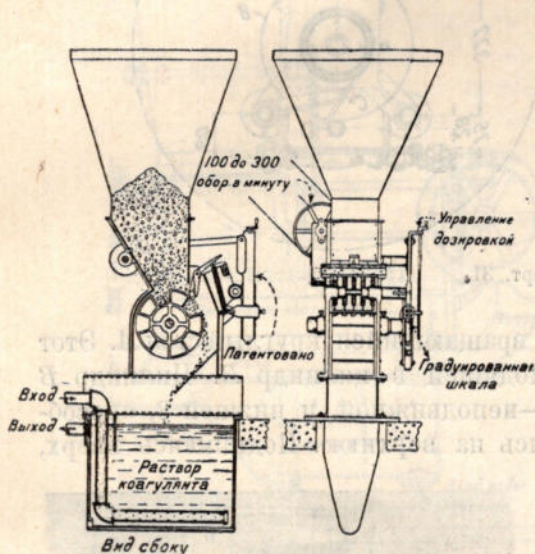
Черт. 32.

Аппараты изготовляются для малой скорости — от $\frac{1}{4}$ до 1

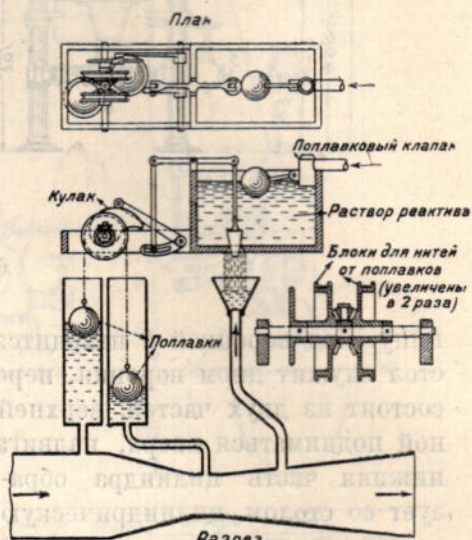
оборота стола в минуту и для большой скорости — от 2 до 8 оборотов в минуту. Мощность мотора в обоих случаях — 1—3 силы. Аппараты малой скорости подают от 1 до 45 кг реактива в час, а большой — от 4 до 350 кг в час.

Давление для эжектора — 1 атм. и расход воды 50 литров для аппаратов малой скорости, 1,3—1,7 атм. и 60 литров воды для большой.

Описанные выше аппараты пригодны для порошкообразных и зернистых — вроде песка — реактивов¹, поэтому они требуют предварительного раздробления крупных кусков. Раздробление производится обычными мельничными аппаратами, приводными или даже ручными при малых установках. Имеются аппараты и для дозирования реактивов в кусках. На черт. 33 изображен такой аппарат.



Черт. 33.



Черт. 34.

Под загрузочной воронкой вращается барабан с углублениями, заполняющимися реактивом и высыпаящими его в ящик с водой, где он растворяется и отводится к сырой воде.

§ 41. Дозирование при меняющихся расходах воды. Аппараты, описанные до сих пор, подают постоянное количество коагулянта. Если меняется приток сырой воды, то необходимо вручную переставить аппарат на подачу другого количества коагулянта. Имеются приспособления, которые автоматически меняют подачу коагулянта пропорционально изменению расхода сырой воды.

¹ В 1929 г. Химтрест разослал сообщение, что впредь глинозем будет вырабатываться только одним Полевским заводом и в форме мелких зерен, что очень удобно для сухих питателей.

На черт. 34 изображен аппарат, использующий принцип Вентури. Два цилиндра соединены — один с широкой и другой с суженной частью водопровода сырой воды. Положение поплавков в цилиндрах меняется с изменением расхода сырой воды. Цепи, привязанные к поплавкам, закреплены другими своими концами на блоках, неподвижно связанных с осью, на которой прикреплен также кулак особого очертания. При вращении оси от передвижения поплавков кулак передвигает рычаг, связанный коромыслом с пробкой, увеличивающей и уменьшающей отверстие для протока воды из дозирующего бачка с поплавковым краном.

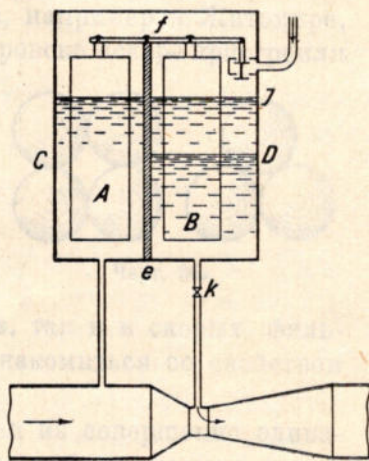
Другой способ применения того же принципа изображен на черт. 35. Сосуд *CD* перегородкой *ef* разделен на две части, соединенные трубками, левая с широкой, а правая с узкой частью трубы Вентури.

В обеих половинах сосуда *CD* помещаются тождественные поплавки *A* и *B*, подвешенные на равноплечее коромысло. Правый конец коромысла продолжен до соединения с разгруженным клапаном, открывающим и закрывающим трубу, подводющую раствор коагулянта или другого реактива.

Когда вода не движется по трубе, уровень ее в камерах *C* и *D* стоит на одной высоте; поплавки *A* и *B* стоят также на одном уровне, и разгруженный кран *I* закрыт.

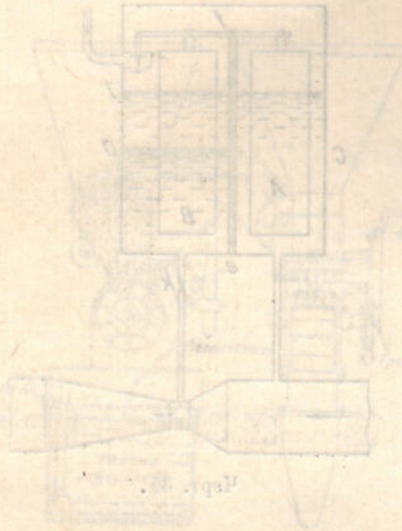
Когда по трубе начнет двигаться вода уровень воды в *D* понизится и поплавок *B* опустится и откроет кран *I*.

Раствор реактива будет притекать до тех пор, пока поплавок *B* поднявшись не закроет крана, т. е. до одного уровня с водой в камере *C*. Из камеры *D* раствор будет вытекать в сужение Вентури через кран *K*, которым можно регулировать расход коагулянта в зависимости от мутности воды. Приток же коагулянта в зависимости от расхода воды в трубе Вентури будет изменяться автоматически. Расход воды в трубе Вентури пропорционален \sqrt{h} , т. е. корню квадратному из разности уровней *C* и *D*, но той же самой величине пропорционален и расход коагулянта через кран *K*. Приток реактива в камеру *D* происходит гораздо быстрее, чем вытекание его в трубу Вентури, поэтому уровень воды в камере *D* только чуть-чуть ниже уровня в камере *C*.



Черт. 35.

Там, где насосные станции оборудованы плунжерными насосами, подача коагулянта часто производится также небольшим поршневым или плунжерным насосом, получающим свое движение от главных насосов. Скорость хода водяных насосов определяет и количество подаваемого коагулянта малым насосом. Изменение же подачи в зависимости от мутности воды производится от руки путем уменьшения или увеличения хода поршня коагуляционного насоса.



Важно отметить, что в Venturi инжекторе вода и коагулянт смешиваются в узкой трубочке, а не в широкой.

В обоих положениях труба CD по-

казывает то же направление по-

тому, что в первом случае вода про-

текает в обратном направлении

по сравнению с предыдущим

положением, а в последнем

направление воды не меняется по трубе.

Уровень воды в камере C и D стоит на

одной высоте, поэтому M и N стоят

также на одном уровне, и разность уровней

показывает разность уровней

показывает разность уровней

показывает разность уровней

показывает разность уровней

показывает разность уровней

показывает разность уровней

показывает разность уровней

показывает разность уровней

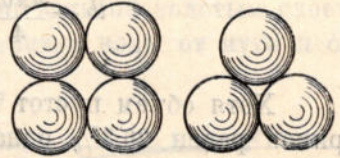
показывает разность уровней

показывает разность уровней

ФИЛЬТРАЦИЯ.

§ 42. Свойства фильтрующей среды — песка. После отстаивания простого или с коагулированием вода обыкновенно подвергается дальнейшей очистке на медленных или скорых фильтрах. Бывали случаи устройства фильтров без отстойников, например в Житомире, Херсоне, Днепропетровске и др. В Днепропетровске вскоре пристроили отстойники и даже префильтры.

Фильтрация без предварительного отстаивания возможна только для воды больших озер или запруд. Тут роль отстойника выполняется самим озером. Речная же вода требует предварительного отстаивания.



Черт. 36.

Фильтрующей средой как в медленных, так и в скорых фильтрах является песок, поэтому необходимо познакомиться со свойством песка.

Представим себе массу песка, состоящей из совершенно одинаковых шариков диаметра d . Куча шариков может быть уложена двумя способами: или так, что их центры расположены по вершинам куба, или по вершинам тетраэдра. Первое расположение более рыхлое с большими размерами пор и неустойчивое. Второе расположение более плотное и устойчивое (черт. 36). В резервуаре длиной l , шириной b и высотой h уложится при плотном расположении шариков по длине $\frac{l}{d}$ штук, по ширине $b: \sqrt{\frac{3}{4}} \cdot d$ и по вы-

соте $h: \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot d$, а всего $\frac{lbh}{d^3} \sqrt{2}$ штук. Объем всех шариков равен:

$$\frac{\pi d^3}{6} \cdot \sqrt{2} \frac{lbh}{d^3} = 0,738 \cdot lbh.$$

Объем пустот следовательно будет:

$$(1 - 0,738) lbh = 0,262 \cdot lbh.$$

Поверхность всех шариков

$$\sqrt{2} \cdot \frac{lbh}{d^3} \pi d^2 = 4,44 \frac{lbh}{d}$$

Объем пустот, как видно, не зависит от диаметра шариков, он одинаков для крупных и мелких песков. Поверхность же шариков обратно пропорциональна диаметру.

При диаметре шарика 0,5 мм на 1 кв. м приходится 4 600 000 штук, а в 1 куб. м содержится 11 280 000 000 шариков. Поверхность всех этих шариков равна 8880 кв. м. Если через горизонтальный слой плотно уложенных шариков провести горизонтальную плоскость через их центры, то площадь промежутков будет равна площади $l b$ минус сумма площадей кругов шариков:

$$lb - \frac{n\pi d^2}{4} = lb - \frac{2 lb}{d^2 \sqrt{3}} \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 0,1 lb.$$

Хотя объем пустот в плотно уложенном песке из круглых шариков равен 26,2%, однако наименьшая площадь пор равна всего лишь 10%. Вода, попадая на поверхность песка, должна пройти через наименьшее сечение, поэтому на поверхности и задерживаются все примеси более крупные, чем наименьшее сечение пор между песчинками. Площадь наименьшего промежутка между песчинками равна $0,04 d^2$ (черт. 36). При $d = 0,5$ мм. площадь $0,04 d^2 = 0,01$ кв. мм; все частицы, сечение которых больше 0,01 кв. мм — или линейные размеры более 0,1 мм, будут задержаны на поверхности. Но линейные размеры бактерий выражаются в тысячных долях миллиметра — в микронах, следовательно бактерии свободно пройдут через такие поры. Чтобы задержать их, нужно еще более тонкое сито. Такое сито и образуется на поверхности песка из задержанных им частиц и органической мути.

§ 43. Поверхностная пленка. Диаграмма Пифке. Вначале будут задержаны только частицы, большие в поперечнике 0,1 мм, но, отложившись тонким слоем на песке, они в свою очередь начнут задерживать все частицы, большие в поперечнике $\sqrt{0,04} = (0,1)^2 = 0,02$ мм. А этот второй слой из частиц более 0,02 будет задерживать уже частицы свыше 0,004, т. е. его поры уже подошли к размерам бактерий. При дальнейшем уменьшении пор начнется задерживание бактерий. Но заиливание поверхности фильтров на этом не останавливается, а идет дальше. Благодаря накоплению все более и более мелкой мути, спрессовывающейся к тому же возрастающей разностью давления воды в фильтрах и за фильтром поры становятся все

мельче и мельче, вода начинает проходить через них все с большим сопротивлением, пока наконец фильтрация не прекратится совершенно.

Из вышеизложенного следует, что главную роль в работе фильтра играет илистая пленка, образующаяся на его поверхности. Но и внутри фильтра происходит задерживание мелких частиц и бактерий, однако в значительно меньшей степени. Наибольшая скорость фильтрации происходит в наименьшем сечении пор. В более широких сечениях пор скорость будет меньше и неравномерна по всему сечению.

В местах наименьшей скорости внутри пор и должны отлагаться мелкие взвешенные частицы и бактерии, образуя на песчинках слизистую пленку, еще более способствующую задержанию взвешенной мути. Такой процесс задержания мути и бактерий внутри песчаных пор происходит в природе при естественной фильтрации воды и при искусственном подражании природному процессу — в незаливаемых фильтрах.

В фильтрах, действующих при постоянно залитой толстым слоем воды поверхности песка, главная работа очистки воды от мути и от бактерий совершается не внутри песка, а на его поверхности в илистой пленке. На диаграмме Пифке черт. 37 кривая *abc* показывает уменьшение числа бактерий при проникновении очищаемой воды в толщу фильтра. Из нее видно, что главная масса бактерий задерживается в пленке, и только незначительная часть — в самом песке и притом больше в его верхнем слое.



Черт. 37.

Процесс фильтрации не только через песок, но и через волокнистые фильтры — бумажные и тканевые, также сопровождается отложением на них осадков, играющих такую же роль, как пленка песчаных фильтров. В этом заключается основное различие между ситами и фильтрами. Сита сохраняют постоянный размер своих отверстий, тогда как на фильтрах образуется из осадков новый фильтрующий слой, гораздо более тонкий, чем первоначальный фильтр. Этот слой и выполняет главную работу фильтрования.

Металлические ткани рекомендуется употреблять совместно с вспомогательными порошками, подобно тому, как американские песчаные фильтры с невысокой задерживающей способностью работают совместно с коагуляцией воды. (Фоксин, Методы и орудия химической техники, ч. II, «Обработка жидкостей», стр. 110.)

Тонкие металлические ткани, обсыпанные порошком, задерживают гораздо более мелкие примеси, чем чистая металлическая ткань.

§ 44. Закон движения воды в песке. Эффективный размер зерна. Способ его определения. Природный песок состоит из зерен неправильной формы и различной величины, поэтому объем пор в нем не равен найденной выше величине в 26,2%, а колеблется в пределах приблизительно от 25 до 50%. Очевидно, что объем пор будет тем меньше, чем разнороднее песок, потому что в этом случае маленькие песчинки разместятся в порах больших.

Пористость песка, а следовательно и его способность пропускать воду зависит от способа укладки зерен. Неправильная форма песчинок и разнородность их размеров допускают миллионы разных способов укладки, поэтому нет возможности достигнуть самого плотного сложения песчинок. С течением времени песок слеживается.

Скорость движения воды в песке изучена была впервые Дарси и выражена им формулой $v = ki$, где k — коэффициент, зависящий от величины зерен песка, а i — уклон на единицу длины.

Исследования Аллена Газена над песками фильтров привели его к более сложной формуле, учитывающей влияние температуры и слеживаемость песка:

$$v = cd^2 \frac{h}{l} \left(\frac{t_r^\circ + 10^\circ}{60^\circ} \right) = cd^2 \frac{h}{l} \left(\frac{t_c^\circ + 23.35}{33.35} \right),$$

где v — скорость сплошного столба воды в метрах в сутки;

c — коэффициент, меняющийся от 700 до 1000 для нового и чистого песка довольно однообразных размеров и опускающийся до 400 для старого, слежавшегося песка;

d — эффективный размер песка;

h — напор воды;

l — толщина слоя песка;

t_r — температура в градусах Фаренгейта;

t_c — » » » Цельсия.

Температура оказывает большое влияние на скорость движения воды. При 23° Ц фильтр пропускает вдвое больше воды, чем при нуле, при той же потере напора.

Песок состоит из зерен разной величины, поэтому необходимо определить, какое же значение имеет d в формуле Газена. Из своих опытов Газен вывел, что мелкие зерна оказывают гораздо большее влияние на пропуск воды, чем крупные. Пропускная способность песка определяется не средним размером зерна, а значительно меньшим. Если пропустить песок через разные сита и взвесить отсеиваемые ситами, то то сито, которое пропускает 10% всего песка, и определяет пропускную способность песка; диаметр отверстий этого сита d и должен быть поставлен в предыдущую формулу. Этот размер зерна Газен назвал «эффективным размером».

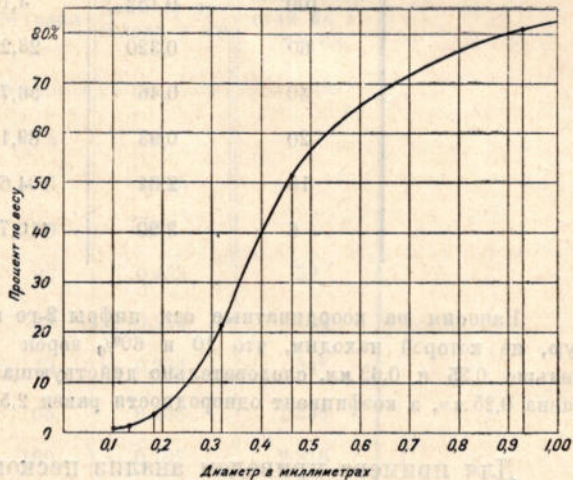
Чтобы определить степень неравномерности песка, Газен ввел новый критерий. Отношение диаметра отверстий сита, пропускающего 60% всего песка, к «эффективному размеру», пропускающему только 10%, он назвал коэффициентом неравномерности.

«Из своих опытов Газен вывел заключение, что 10% мелких зерен в почве оказывает то же влияние на скорость течения воды, что и 90% более крупных, лишь бы коэффициент однородности не превосходил 5¹».

Эффективный размер зерен в медленных фильтрах по сообщению Элмса колеблется от 0,17 до 0,5 мм. Наиболее обычные размеры — от 0,2 до 0,4 мм.

Коэффициент неоднородности естественных песков обычно бывает от 0,5 до 2,5 и выше. Для фильтров рекомендуется степень неравномерности, меньшая 2.

Для пояснения метода Газена мы заимствуем из его отчета Массачусетскому санитарному бюро за 1892 г. анализ и диаграмму (черт. 38). Кривая, проведенная на этой диаграмме, должна составлять для каждой породы в отдельности после ее анализа, чтобы можно было определить точки, соответствующие 10 и 60%; ординаты этих точек и служат для определения действующей величины зерна и коэффициента однородности. Приведем пример.



Черт. 38

Вес сухого образца равнялся 110,9 г. Образец был пропущен через серию механических сит, которые сделали 100 оборотов (что соответствует 700 простым встряхиваниям). Затем сита были отставлены в сторону и взвешена та часть зерен породы, которая прошла через самое мелкое сито. По определении веса этой части была прибавлена к этой порции та часть образца, которая осталась на следующем по величине сите, пройдя через все более крупные; получившаяся порция была снова взвешена. Такая операция повторялась до тех пор, пока вес образца не сделался равным 110,7 г, причем 0,2 г представили потерю при обработке. Получились следующие цифры:

¹ Slichter, Подземные воды, СПб., 1912 г., стр. 16.

Таблица 15.
Пропуск зерен песка разными ситами.

Обозначение сит	Величина отверстий каждого сита в миллиметрах	Количество прошедших зерен в грамах	В процентах от общего веса
190	0,105	0,5	0,5
140	0,135	1,3	1,2
100	0,182	4,1	3,7
60	0,320	23,2	21,0
40	0,46	56,7	51,2
20	0,93	89,1	80,5
10	2,04	104,6	94,3
6	3,90	110,7	100,0

Наносим на координатные оси цифры 2-го и 4-го столбцов и проводим кривую, из которой находим, что 10 и 60% зерен взятого образца соответственно меньше 0,25 и 0,62 мм, следовательно действующая величина зерен данной породы равна 0,25 мм, а коэффициент однородности равен 2,5.

Для примера приведем анализ песков, применяющихся с успехом на фильтрах в Бремене:

Таблица 16.

Анализ песков.

Размер зерен в мм	Содержание в процентах	
	1-й образец	2-й образец
Более 1,00	15	2
От 1,00 до 0,65	21	11
» 0,65 » 0,50	26	31
» 0,50 » 0,35	35	55
» 0,35 » 0,25	4	2
Менее 0,25	4	2

Для механического анализа песка применяются сита из металлической ткани. Обозначаются они номерами, причем номер ткани указывает количество проволок на каждые 25 мм длины. Приведенная ниже таблица 17 характеризует эти ткани. Сортамент тканей по номерам у разных заводов может быть разный.

Таблица 17.

Сортамент сит из металлической ткани.

Размеры отверстий в мм	№ ткани	Диаметр проволоки в мм	Число отверстий на 1 кв. см
6,680	5	1,8	
3,327	6	0,915	
1,651	10	0,89	
0,833	20	0,435	52
0,417	35	0,310	159
0,295	48	0,234	548
0,208	65	0,183	1 293
0,147	100	0,107	2 916
0,104	150	0,066	
0,074	200	0,053	5 184
0,044	325	0,036	
—	400	—	

Очень тонкие ткани делаются из фосфористой бронзы. Ткани из монель-металла (Monel-Metall) — 67% никеля, 28% меди и 5% марганца, железа и кремния очень прочны, не разъедаются щелочами и слабыми кислотами и не ржавеют.

Способ Газена для определения гидравлических качеств песка пользуется общим признанием. Кроме него существует еще способ Кинга, основанный на совершенно других принципах. В аспираторе Кинга через определенный объем высушенного песка пропускается при особых условиях давления в аспираторе воздух. Время, необходимое для пропуска определенного количества воздуха, дает материал для определения поверхностного модуля песка, чем и характеризуются его гидравлические качества.

Приведенной выше формулой Газена определяется скорость фильтрации через песок при определенных давлении и температуре. Расход фильтра $Q = vA$, т. е. скорости, помноженной на площадь фильтра.

Нужно заметить, что эти теоретические снабжения правильны для медленных фильтров, не подвергающихся промывке обратным током воды. При скорых фильтрах благодаря обратной промывке песок располагается в фильтре отсортированным по крупности зерен. Сопротивление такого отсортированного слоя песка может быть иное, чем равномерной смеси из крупных и мелких зерен. Это сопротивление легко определить опытным путем.

§ 45. Математическое выражение движения воды через пленку. Сопротивление песка, смешанного или отсортированного, остается постоянным при постоянных давлении и температуре. Пленка же, образуемая на песке, меняет свое сопротивление вместе с увеличением своей толщины и плотности; ею и создается главное сопротивление в фильтре.

Математически движение воды через пленку может быть выражено следующим образом. Предположим, что r — удельное сопротивление слоя пленки, l — толщина слоя. Тогда сопротивление пленки будет $rl = R$. Объем осадка на фильтре площадью $A = Al = bQ$; Q — количество пропущенной через фильтр воды, а b — содержание взвешенных веществ в одном объеме воды.

Толщина слоя осадка в зависимости от Q будет $l = \frac{bQ}{A}$. Подставляя вместо l его значение, получим:

$$R = \frac{rbQ}{A}.$$

Скорость фильтрации $\frac{dQ}{dt}$ прямо пропорциональна давлению P и обратно пропорциональна сопротивлению R , т. е.:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{PA}{rbQ}.$$

Выведенная формула справедлива для осадков несжимаемых, кристаллических, осадки же на песчаных фильтрах сжимаемы, поэтому удельное сопротивление сжимаемых осадков выразим функцией $r = r^1 P^n$. Показатель n должен быть установлен экспериментально. Подставляя в предыдущую формулу вместо $r = r^1 P^n$ получим:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{r^1 PA}{r^1 b Q P^n} = \frac{P^{1-n} A}{r^1 b Q}.$$

Интегрированием этого выражения получается расход фильтра (пре-небрегая сопротивлением песка) в определенный промежуток времени. Фильтрацию можно производить при постоянном давлении или при постоянной скорости. Для первого случая

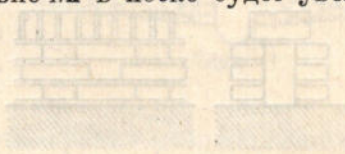
$$Q^2 = \frac{2P^{1-n} A t}{r^{1b}}$$

Для второго $\frac{dQ}{dt} = \frac{Q}{t}$ — величина постоянная и равна $\frac{P^{1-n} A}{r^{1b} Q}$.

Для коллоидальных, легко сжимаемых осадков, представляющих большое сопротивление, опытным путем определен коэффициент $n = 0,81$.

Для медленных фильтров требуются громадные количества песка: это обстоятельство заставляет пользоваться простым песком, речным, морским или песком из древних отложений. Естественный песок конечно не всегда подходит по своим размерам и составу; кроме того он обыкновенно имеет примеси глины, ила и пр. От всех этих примесей песок должен быть промыт и отсортирован.

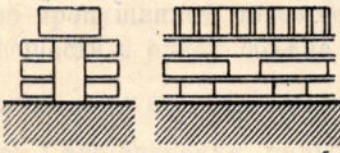
Для фильтров должен применяться кварцевый песок, не содержащий углекислой извести и магнезии в сколько-нибудь значительных количествах, так как присутствие их в песке будет увеличивать жесткость воды.



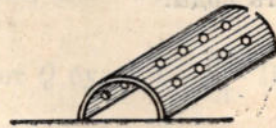
Глава X.

УСТРОЙСТВО АНГЛИЙСКИХ ФИЛЬТРОВ.

§ 46. Устройство фильтрующей постели и дренажа. Английский фильтр представляет собой прямоугольный бассейн, открытый или закрытый в зависимости от климата. Как стены, так и дно устраиваются из водонепроницаемого материала — кирпича, оштукатуренного цементным раствором, камня, бетона и железобетона. По дну бассейна, деля его пополам, проходит канал, предназначенный отводить фильтрованную воду. К главному каналу подходят перпендикулярно боковые меньшие каналы. Каналы устраиваются или из кирпича с ажурными стенами (черт. 39) или из черепиц, продырявленных и специально для этой цели приготовленных из бетона (черт. 40).



Черт. 39.



Черт. 40.

Как главный, так и боковые каналы уложены с некоторым уклоном; обычно этот уклон как с боков к середине, так и вдоль главного канала дается и самому дну. Главный канал укладывается целиком или наполовину ниже дна, боковые же обыкновенно устраиваются на поверхности дна.

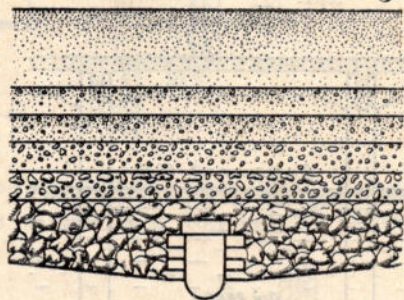
Дренажные каналы дна обсыпаются крупным щебнем; поверхность щебня выравнивается в горизонтальную плоскость. На крупный щебень накладываются слои все более и более мелкого щебня, далее идет крупный песок и наконец сверх всего укладывается фильтрующий песок слоем от 60 до 120 см (черт. 41). Все лежащие ниже слои служат только для поддержания фильтрующего слоя мелкого песка и для отвода профильтрованной воды. Поэтому толщина поддерживающих слоев берется возможно меньшей, чтобы не увеличивать чрезмерно высоту фильтра. Отношение между размерами зерен двух соседних слоев должно быть таково, чтобы зерна верхнего слоя не проваливались через пустоты нижнего слоя. Как мы видели выше

промежуток между тремя шариками по своей площади равен $0,04 d$ (черт. 36). Из уравнения $0,04 d^2 = \frac{\pi d_1^2}{4}$ найдем диаметр круга, равного по площади этому промежутку, $d_1 = 0,226d$ или $d = 4,44d_1$. Таким образом, если диаметр лежащих выше зерен будет не более, как в 4,5 раза меньше диаметра зерен лежащего ниже слоя, то верхний слой не будет проваливаться в нижний.

Выведенное соотношение касается зерен шарообразной формы, имея же в виду неправильную форму и разнородность кусков щебня и зерен песка, следует для надежности несколько уменьшить найденное отношение и в практике принимать отношение средней крупности зерен верхнего слоя к средней крупности зерен нижнего 1:3.

Описанное устройство фильтрующего пласта было обычным в прежние времена, в последнее же время в Европе начали применять двойное дно.

Американцы же ограничиваются тем, что сводят высоту щебеночного слоя до минимума. В европейских фильтрах толщина слоев щебня и гравия бывает от 600 до 900 мм, в новых американских медленных фильтрах она сведена до 300—400 мм.



Черт. 41.

В фильтрах города Олбани пласты гравия расположены следующим образом:

1 слой от	75 мм до 25 мм
2 » »	25 » » 9 »
3 » »	9 » » 4 »

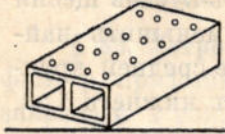
Первым сортом гравия обложены 150-мм дренажные трубы. Вторым слоем гравия выровнена вся засыпка совершенно горизонтально, причем над трубами в их верхней части слой гравия уложен всего лишь толщиной в 50 мм. Третий слой толщиной 65 мм покрывает два предыдущие.

Вряд ли можно рекомендовать, чтобы песок располагался непосредственно над слоем зерен от 9 до 4 мм. Следовало бы уложить еще слой гравия крупностью от 4 до 1,5 м.

Элмс рекомендует такой способ устройства дренажа:

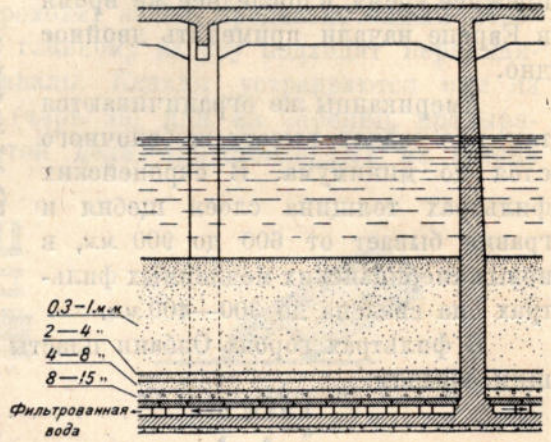
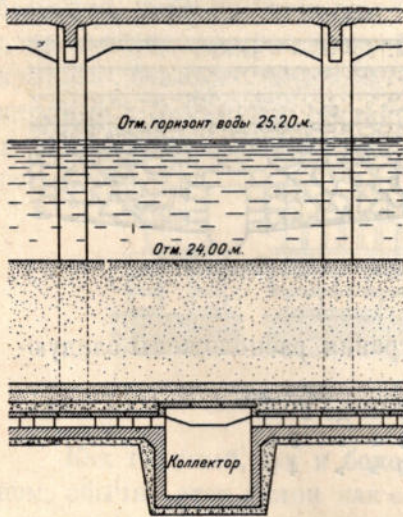
1 слой из кусков от	75 до 25 мм	толщиной 150 мм
2 » » » »	25 » 13 »	» 50 »
3 » » » »	13 » 6 »	» 50 »
4 крупного песка	0,8—1,6 »	» 50 »

Двойное дно устраивается или на бетонных ребрах, устроенных на полу, или же продырявленные железобетонные плиты укладываются углами на кубики, расставленные по полу. На плиты укладываются слои гравия и крупного песку, а над ними фильтрующий мелкий песок. При таком устройстве высота фильтрующего пласта выходит меньше, чем по старой конструкции. Вместо устройства двойного дна в Сан-Галене применена пустотелая черепица (черт. 42), а над ней расположены следующие слои:



Черт. 42.

Пустотелая черепица	60 мм
Хряц	120 »
Крупный песок	120 »
Мелкий песок	900 »
Слой воды	1 300 »



Черт. 43.

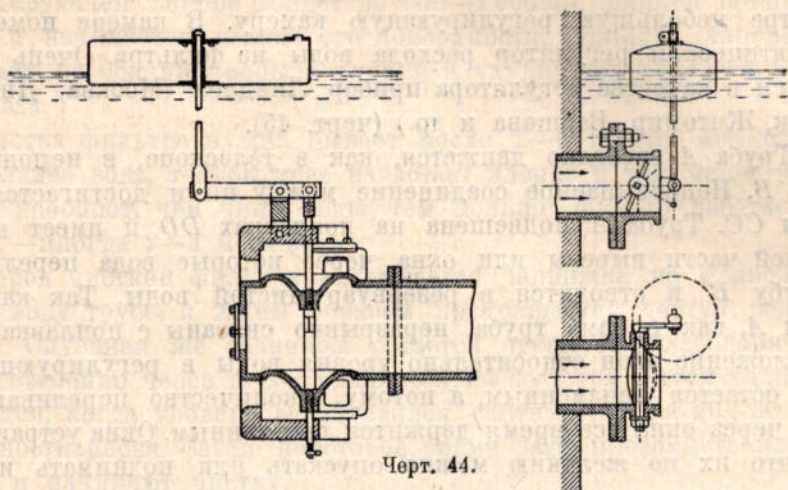
Наименьшая толщина наслоений по Люгеру-Вейрауху:

Слой воды	600 мм
Мелкий песок	600 »
Крупный песок (3—4 мм)	80 »
Хряц (10—20 мм)	80 »
Хряц (20—30 мм)	120 »
Хряц (около 60 мм)	120 »
Крупные камни	150—200 »

Московские фильтры с двойным дном (черт. 43) имеют следующие напластования:

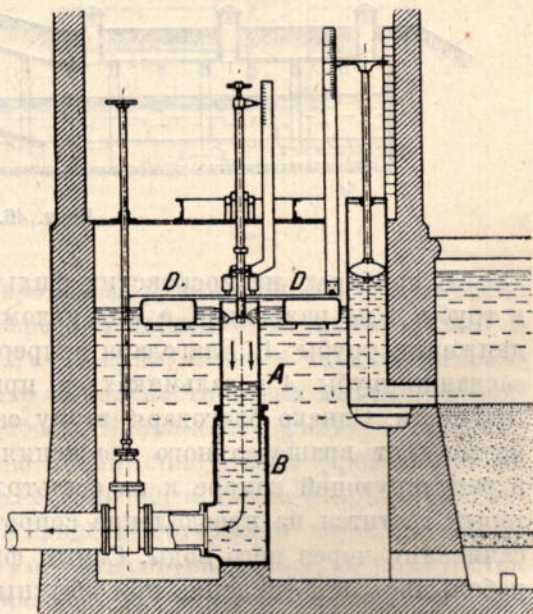
Гравий 8—15 мм	100 мм
» 4—8 »	100 »
» 2—4 »	70 »
Песок 0,3—1 »	1 200 »

§ 47. Устройство входа и выхода воды из фильтра. Над слоем фильтрующего песка обыкновенно держится слой воды в 1—1,20 м.



Черт. 44.

Поступающая на фильтр сырая вода вливается в этот слой воды и поэтому не размывает песка. Пуск же фильтра в ход после чистки производится таким способом, что сначала чистая вода подается на фильтр снизу, пока уровень ее не поднимется над песком на достаточную высоту, а затем уже в этот слой воды начинает изливаться сырая вода. Благодаря этому нет особой надобности в защите песка от размывания струей входящей воды. Для удержания уровня воды на одной и той же высоте впускная труба должна быть снабжена поплавковым клапаном, закрывающим трубу при подъеме воды на назначенную высоту.



Черт. 45.

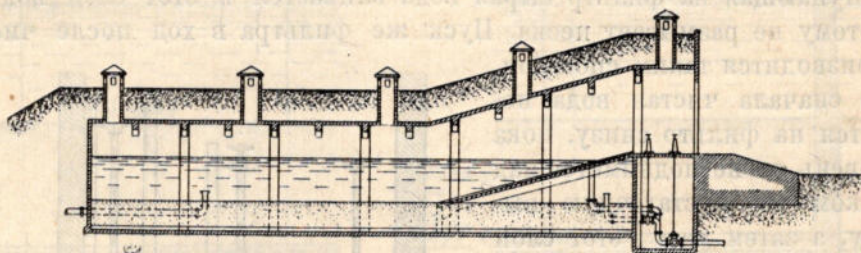
Типы поплавковых клапанов указаны на черт. 44. Кроме поплавкового клапана на входящей трубе должна быть конечно и запорная задвижка.

Фильтры работают обыкновенно с равномерной нагрузкой, т. е. в каждую единицу времени они должны пропускать одно и то же

количество воды. Эта равномерность работы обеспечивается приборами, выпускающими профильтрованную воду.

Дренажный канал выводит фильтрат в находящуюся при каждом фильтре небольшую регулируемую камеру. В камере помещается автоматический регулятор расхода воды из фильтра. Очень распространен в качестве регулятора прибор Линдлея (Москва, Днепропетровск, Житомир, Варшава и др.) (черт. 45).

Труба *A* свободно движется, как в телескопе, в неподвижной трубе *B*. Непроницаемое соединение между ними достигается сальником *CC*. Труба *A* подвешена на поплавках *DD* и имеет в своей верхней части вырезы или окна, через которые вода переливается в трубу *B* и отводится в резервуар чистой воды. Так как окна трубы *A*, как и сама труба, неразрывно связаны с поплавками *DD*, то положение окон относительно уровня воды в регулирующей камере остается неизменным, а потому и количество переливающейся воды через окна все время держится постоянным. Окна устраиваются так, что их по желанию можно опускать или поднимать и таким образом увеличивать или уменьшать нагрузку фильтра.



Черт. 46.

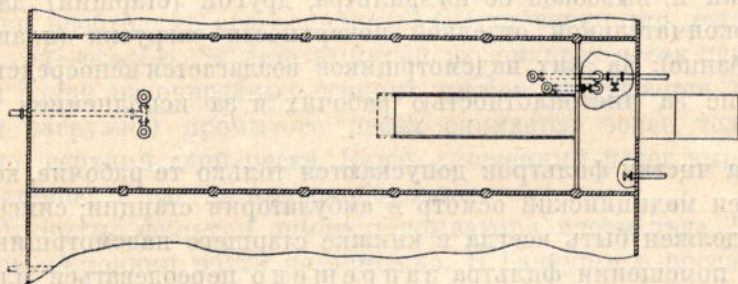
В приборах на московских фильтрах в Рублеве вода поступает в трубу *A* не радиально, а под углом, чем вызывается вращательное движение трубы *A*. Благодаря непрерывному вращению устраняется заедание трубы *A* в сальниках, и прибор не теряет своей чувствительности. Однако благодаря этому сальники изнашиваются быстро, поэтому от вращательного движения отказались. Разность уровней в регулирующей камере и на фильтрах и является тем напором, который тратится на преодоление сопротивлений в фильтре при просачивании через него воды. Самый фильтрующий слой представляет небольшое сопротивление при обычных скоростях фильтрации, и это сопротивление создается главным образом песком, слой же гравия и щебня дают ничтожное сопротивление. Фильтр, только что пущенный в работу и не покрытый еще илстой пленкой, дает разность напоров всего лишь в несколько сантиметров. По мере образования и утолщения пленки сопротивление фильтра увеличивается, а с ним

вместе возрастает и требуемая разность напоров. На черт. 46 и 47 показаны разрез и план медленного фильтра.

§ 48. Чистка фильтров. Когда разность уровней в фильтре и в регулирующей камере дойдет до 800—1000 мм, фильтр останавливается, и начинается чистка его поверхности. Больших напоров не допускают из боязни прорыва пленки и ухудшения вследствие этого фильтрата.

Чистка фильтра нужна бывает после 2—6 недель его работы. Чем грязнее вода, тем быстрее нарастает пленка и тем чаще нужна чистка; наоборот, чем чище вода, тем дольше фильтр работает без чистки, — иногда 2—3 месяца.

Перед чисткой фильтра закрывается задвижка на подводящей сырую воду трубе, и таким образом прекращается доступ воды на фильтр. Спускная же задвижка остается открытой, благодаря чему вода постепенно через песок удаляется из фильтра. Спуск воды прекращается, когда уровень ее опустился сантиметров на 20—30 ниже поверхности песка. Затем некоторое время дают просохнуть илистой пленке и начинают чистку.



Черт. 47.

Обыкновенно чистка производится ручным способом в течение одного рабочего дня. Рабочие сгребают лопатами верхнюю пленку и вместе с ней слой песка 1,0—1,5 см в кучи, а потом тачками вывозят эти кучи из фильтра; после этого поверхность песка выравнивается, и фильтр снова пускается в работу. Наполнение фильтра производится медленно: сначала чистой водой снизу, пока уровень ее не поднимется выше песка сантиметров на 30, а затем открывается задвижка на подводящей трубе, и фильтр осторожно наполняется до обычного уровня. После этого открывают задвижку, и начинается фильтрация с очень малой скоростью, и фильтрат спускается в отводную канаву в течение нескольких часов. Скорость фильтрации постепенно повышается. Когда на фильтре образуется достаточная пленка, о чем можно узнать по внешним, хорошим качествам фильтрата, спуск в канаву прекращается, и фильтрат пускается в сборник

чистой воды. Нормальная скорость фильтрации для английских фильтров считается 100 мм в час, или 2 400 мм в сутки, т. е. в течение этих промежутков времени через фильтр пропускается слой воды толщиной в 100 и 2 400 мм. При более грязной воде эта скорость бывает меньше, а при более чистой — больше.

Ниже приведена с некоторыми сокращениями инструкция московского водопровода; она даст все необходимые указания по вопросу о чистке фильтров.

а) Рабочие, назначенные для чистки, до входа в помещение фильтра должны надеть специальные костюмы и сапоги; костюмы и сапоги выдаются дежурным смотрителем фильтров; чистка костюмов должна производиться через каждые 5 очисток; на время перерывов в работе костюмы можно не снимать, но ходить по двору в сапогах, выдаваемых на время чистки, не разрешено; по окончании чистки костюмы и сапоги, очищенные от грязи, должны быть развешены и просушены.

б) Во время чистки фильтра при работе должны находиться два надсмотрщика из постоянного штата станции: один для надзора за съёмкой пленки и вывозкой ее из фильтра, другой (старший) для надзора за окончательной отделкой поверхности загрузки (планировка и разгребание); на этих надсмотрщиков возлагается непосредственное наблюдение за чистоплотностью рабочих и за исполнением правил чистки.

в) На чистку фильтров допускаются только те рабочие, которым произведен медицинский осмотр в амбулатории станции; список этих рабочих должен быть всегда в книжке старшего надсмотрщика.

г) В помещении фильтра запрещено переодеваться или оставлять там одежду, курить, плевать и допускать какую бы то ни было нечистоплотность.

д) Рабочие, являющиеся на чистку фильтра, должны иметь следующие инструменты: специальные плоские лопаты-совки, 3 гребка, рейку и необходимое количество исправных тачек.

е) Чистка фильтров должна производиться в следующем порядке: чистильщики становятся по одному в каждом пролете и подрезают пленку полосами на толщину около 10 мм, причем за каждый подрез нужно захватить слой пленки на длину 44—53 см; места с неснятой пленкой не должно оставаться; если пленка жидкая, то верхний жидкий ее слой нужно сначала сгрести торцом лопаты и уж потом подрезать указанный выше слой; снимаемая пленка должна сбрасываться в середину пролета, занимая по площади возможно меньше места.

ж) Вывозка пленки тачечниками должна производиться немедленно вслед за переходом чистильщиков в следующий пролет:

место, на котором лежала куча пленки, должно быть подрезано, не захватывая толщины слоя более 10 мм; не допускается смазывание колес тачек так обильно, чтобы смазка стекала с осей.

з) Вслед за уборкой пленки должны идти 3 рабочих реечника: двое 4-метровой рейкой отмечают возвышенные места (прочертить острым краем рейки поверхность загрузки), а третий эти места снимает и забрасывает снятым песком соседние углубления.

и) За реечниками должны идти двое рабочих разгребальщиков, которые гребками должны разгрести уплотненные от ходьбы и катальных досок места и уложить на места кирпичи под слезниками.

ж) Все эти последовательные операции должны производиться с таким расчетом, чтобы одновременно с подрезкой пленки были бы окончены и вывозка пленки, и планировка, и разгребка.

л) По окончании чистки старший смотритель перед закрытием въезда должен убедиться, все ли рабочие вышли и все ли приспособления для чистки вынесены из помещения фильтра.

Благодаря съемке при каждой чистке верхнего слоя песка толщина остающегося слоя песка постепенно уменьшается. Время от времени необходимо его пополнять. Обычно это делается один раз в год—осенью. За лето вынутый из фильтра песок перемывается и при одной из очередных осенних чисток загружается на фильтр. Перед загрузкой промытого песка снимается более толстый, чем обычно, верхний слой песка. Вновь уложенный песок выравнивается под ватерпас и слегка притрамбовывается.

Открытые фильтры зимою покрываются слоем льда. Чистить их в таком состоянии почти невозможно. В Гамбурге в последние годы по сообщению проф. З. Г. Френкеля применяли для чистки фильтров такой способ: спускали воду с фильтра, лед при этом ложился на илистую пленку, образующуюся на поверхности песка, пленка примерзала ко льду, тогда снова напускали на фильтр воду, и лед поднимался вместе с пленкой. Таким образом поверхность можно было очищать от пленки несколько раз за зиму. Весною лед удалялся вместе с намерзшими на него пленками.

§ 49. Контроль над действием фильтров. Для правильного ведения дела должны вестись ежедневно точные записи в особом журнале о работе фильтра, отстойников и пр. В журнале должны записываться все сведения, характеризующие состояние фильтров, как то: время пуска и остановки, скорость фильтрования, потеря напора в каждом отделении фильтра, а также все особые явления, замечаемые в состоянии фильтра.

Бактериальный контроль за работой фильтров на больших установках производится ежедневно, причем пробы для анализа берутся

из следующих мест: из реки, из отстойника, из каждого отделения фильтров и из сборного резервуара чистой воды. Одновременно определяется прозрачность этих проб и температура воды. Химические анализы производятся значительно реже.

Бактериальный анализ дает результаты через 1—2 суток. Для немедленного же суждения о работе фильтров пользуются определением прозрачности или степени мутности воды. Отсюда видно, насколько важно широкое применение прибора Бейлиса или чего-либо подобного для точного определения количества взвесей в фильтрованной воде.

При резком ухудшении работы какого-либо отделения его выключают и ищут причины этого явления. Такой причиной чаще всего бывает прорыв пленки, вызываемый в открытых фильтрах иногда лягушками, червями, пузырями прорывающихся через песок газов и пр. Пленка может повреждаться быстрыми изменениями скорости нагрузки фильтрации, поэтому увеличение или уменьшение нагрузки фильтра должно всегда происходить постепенно. Трещины в стенах могут пропускать в дренаж сырую воду. Чтобы предупредить просачивание неочищенной воды вдоль гладких стен, стены часто делаются шероховатыми.

Песок для подсыпки получается главным образом от промывки вынутого из фильтров. Промывка на значительных станциях производится машинным способом. Существует несколько типов пескочисточных машин. В Москве для промывки применяются водоструйные машины.

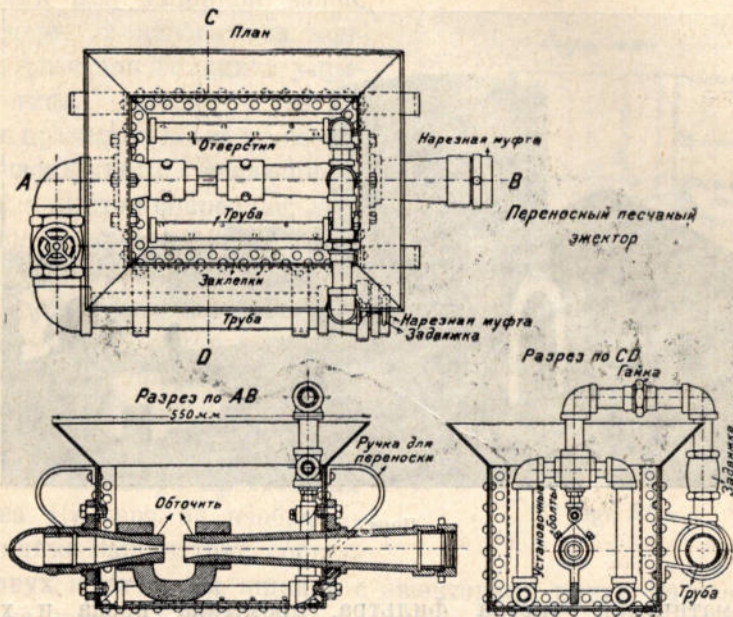
При постройке новых фильтров необходимо промывать песок, доставляемый из естественных карьеров, потому что в нем всегда находится примесь ила и глины.

Из правил для чистки английских фильтров на московском водопроводе видно, с каким старанием фильтры защищаются от загрязнений их рабочими во время чистки. Необходимость выполнения строгих санитарных требований при работах на фильтрах сама собой понятна, потому что заражение фильтров болезнетворными бактериями брюшного тифа, холеры и дизентерии сейчас же перенесется в городскую водопроводную сеть.

Ранее был приведен случай заражения фильтров харьковского водопровода непромытым песком, стоивший городу 2 000 жизней.

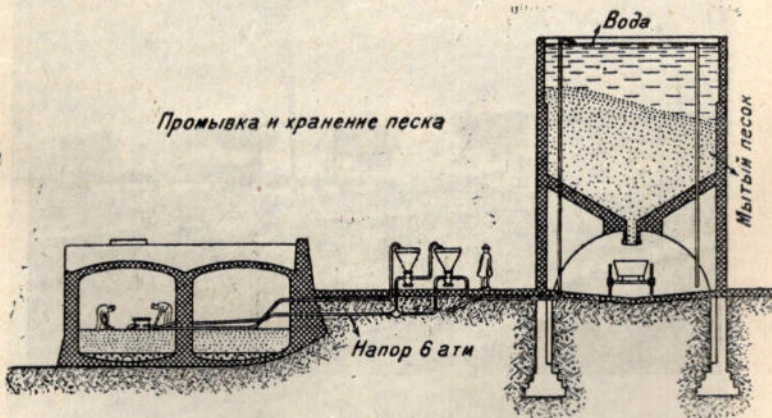
§ 50. Механическая чистка фильтра. Эжектор для передвижения и мойки песка. Трудность механизации очистки поверхности фильтра вызывается большими пространственными размерами медленных фильтров. Механизация захватила прежде всего транспорт грязного песка из фильтров к пескочистке и к месту склада промытого песка и далее от склада обратно на фильтры. Стребание же пленки в кучи

производится попережно вручную. Передвижение песка производится напорной водой. К каждому фильтру подведены по две напорные 75- или 100-мм трубы. Аппаратом для удаления песка служит



Черт. 48.

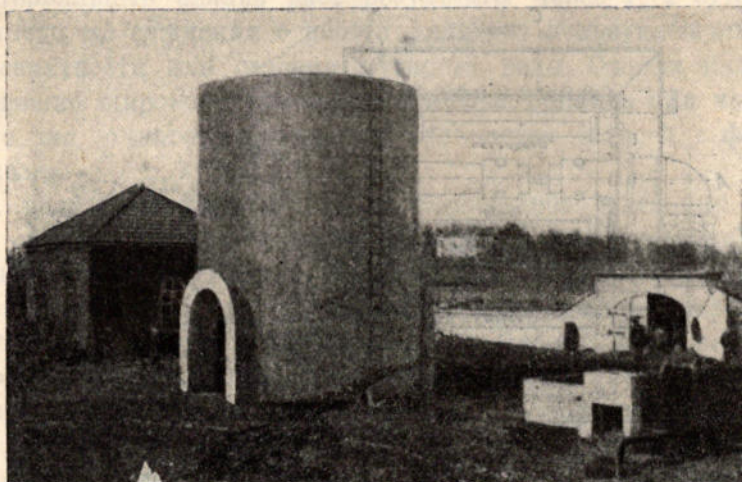
переносный ящик с эжектором (черт. 48). Патрубки эжектора А и В соединяются гибкими резиновыми рукавами с напорными трубопро-



Черт. 49.

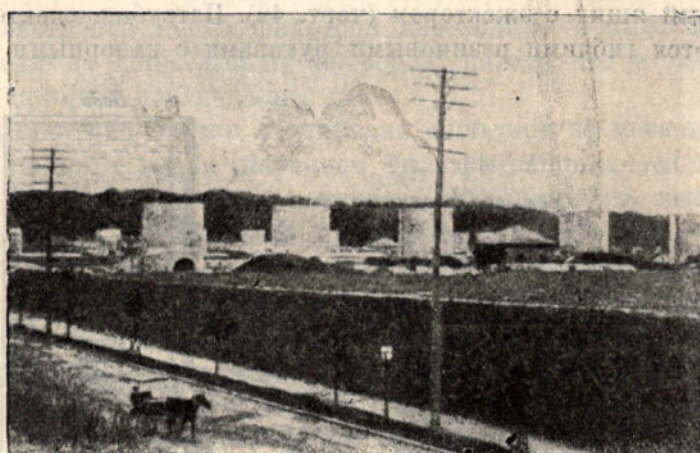
водами. Трубопровод, соединяющийся с патрубком В, подводит напорную воду к эжектору; захваченный водой песок уносится через патрубок А. Две продырявленные трубки на дне ящика служат для

взмучивания песка. Эжекторный ящик ставится около собранной лопатами кучи илистого песка; из кучи лопатами песок подается в ящик.



Черт. 50.

Схематически чистка фильтра, промывка песка и хранение чистого песка показаны на черт. 49.



Черт. 51.

Черт. 50 изображает внешний вид силоса для хранения промытого песка в Вашингтоне. Рядом с силосом стоит пескомойка, а далее виден вход в фильтр.

На черт. 51 показан общий вид фильтровальной станции Вашингтона.

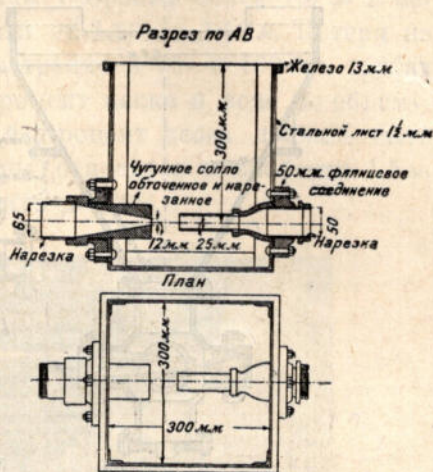
Доставка песка из силоса на фильтры может производиться или вагонетками или напорной водой.

На черт. 52 изображена конструкция эжекторного ящика упрощенного типа.

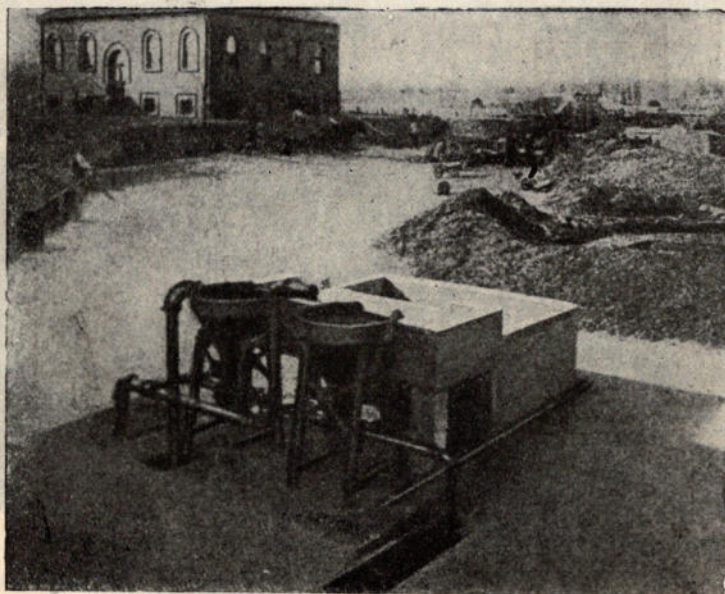
Для промывки песка применяются горизонтальные вращающиеся барабаны с винтом посредине, поднимающим песок с нижнего конца барабана в верхний, откуда навстречу идет промывная вода. Расход воды — 7—8 объемов песка.

В настоящее время в Америке эжекторные пескомойки являются господствующим типом пескомойных машин благодаря простоте их устройства. На черт. 53 изображена пескомойка Вашингтона, состоящая из двух конических ящиков с эжекторами внизу.

Разрез ящика показан на черт. 54. Из фильтров песок подается в левый конус (черт. 53) вертикальной трубой, загнутой в конус. Грязная вода

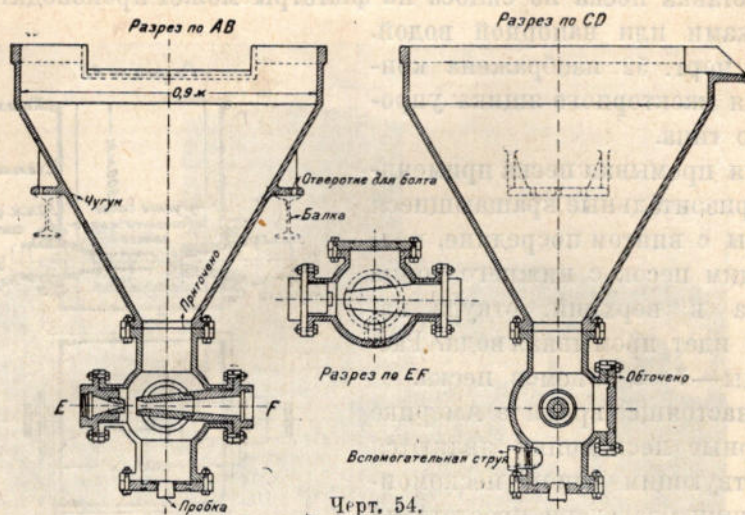


Черт. 52.



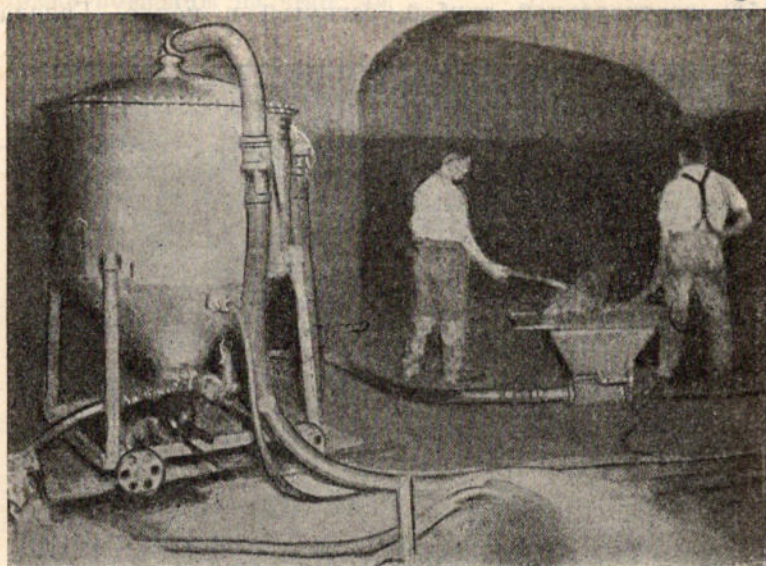
Черт. 53.

вытекает через водослив в конусе, а песок, попадая на дно, захватывается эжектором и переносится по второй вертикальной трубе, за-



Черт. 54.

гнутой сверху во второй конус. Грязная вода стекает через водослив, а опускающийся вниз промытый песок переносится эжектором в силос.

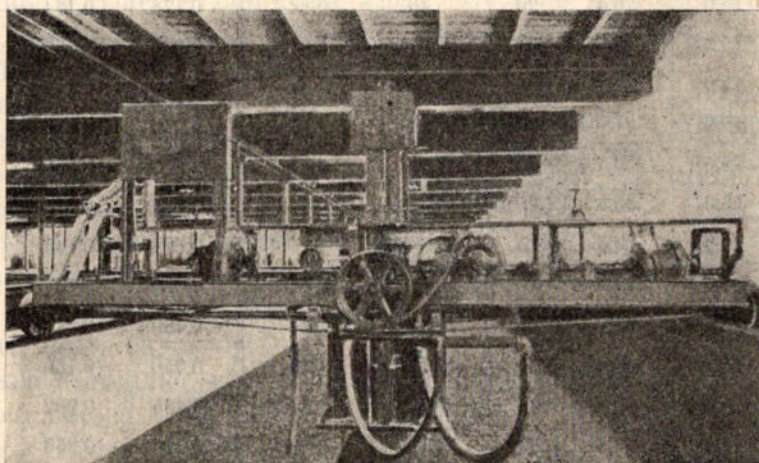


Черт. 55.

Передвижение песка водой было изучено Газеном и другими исследователями. В таблице 18 на стр. 116 приведены данные из

работ Газена. Наилучшей формой для эжекторной трубы является форма трубы Вентури. В таблице показано, какому диаметру сопла, подающего воду, соответствует наиболее выгодный диаметр горла эжектора.

Песок уносится водой хорошо при скорости более 1,5 м в секунду. Возможно применять и скорости от 1,20 до 1,50 м. Потеря на трение смеси определяется потерей на трение в 75- и 100-мм трубах одной воды плюс 0,0035 на каждый процент песка в воде по объему. Для 150-мм трубы прибавка на каждый процент песка должна быть 0,0025, а для 63 мм — 0,0045. Эти цифры относятся к скорости 1,5 м. Количество песка в воде может доходить до 30%.



Черт. 56.

§ 51. Промывочные машины Никола и Блесделя. На черт. 55 показана чистка фильтра обычным для Америки способом, но грязный песок не транспортируется из фильтра, а промывается тут же в аппарате Никола. Размеры аппарата — 1 м в диаметре и 1,5 м высотой. Грязный песок подается сверху, а чистая вода, идущая снизу, промывает его и вытесняет в другую трубу, также расположенную внизу. Грязная вода особой трубой отводится в дренаж фильтра. Аппарат был испробован на фильтрах в Филадельфии и дал вполне удовлетворительные результаты. Производительность — 7,5 куб. м песка в час, расход воды — 6 куб. м на 1 куб. м песка.

В последнее время Николь усовершенствовал свой аппарат, поставил его на деревянный ход, приводимый в движение двухспильным мотором. Расположенный впереди аппарата винтовой конвейер сгребает песок и подает его к эжектору; таким образом устранено ручное сгребание песка в кучи.

Таблица 18
Наивыгоднейшие размеры эжекторов.

Давление воды в атмосферах	Диаметр сопла в мм	Наивыгодней- ший diam. горла эжектора в мм	Процент песка в воде по объему	Производитель- ность куб. м песка в час	Давление в конце при вы- грузке песка в атмосферах	Потеря на трение на единицу длины в трубах диаметром:		
						63 мм	75 мм	100 мм
4,0	12,5	22,0	20	3,8	0,84	0,15	0,140	—
	12,5	25,6	25	5,46	0,6	0,176	0,150	—
	12,5	30,7	30	7,64	0,42	0,206	0,168	—
	15,0	26,4	20	5,46	0,84	0,178	0,124	0,090
	15,0	30,7	25	7,8	0,6	0,222	0,144	0,110
	15,0	37,0	30	10,9	0,42	0,275	0,170	0,120
	18,0	27,0	15	4,95	1,17	0,200	0,114	0,070
	18,0	30,7	20	7,4	0,84	0,250	0,140	0,088
	18,0	35,8	25	10,7	0,6	0,325	0,175	0,102
	20,0	30,7	15	6,5	1,17	0,298	0,145	0,071
	20,0	35,3	20	9,7	0,84	0,370	0,180	0,089
	20,0	41,0	25	14,0	0,6	0,480	0,210	0,109
	23,0	30,5	10	4,95	1,56	0,350	0,160	0,061
	23,0	34,5	15	8,25	1,17	0,435	0,202	0,080
	23,0	39,6	20	12,3	0,84	0,540	0,250	0,102
5,3	12,5	22,0	20	4,35	1,14	0,154	0,130	—
	12,5	25,6	25	6,35	0,81	0,186	0,145	—
	12,5	30,7	30	8,8	0,54	0,225	0,160	—
	15,0	26,4	20	6,35	1,14	0,208	0,128	0,090
	15,0	30,7	25	9,1	0,81	0,260	0,153	0,107
	15,0	37,0	30	12,6	0,54	0,320	0,187	0,117
	18,0	27,0	15	5,7	1,56	0,245	0,127	0,070
	18,0	30,7	20	8,55	1,14	0,305	0,158	0,086
	18,0	35,8	25	12,35	0,81	0,400	0,204	0,104
	20,0	30,7	15	7,5	1,56	0,370	0,176	0,076
	20,0	35,3	20	11,2	1,14	0,465	0,222	0,095
	20,0	41,0	25	16,2	0,81	0,600	0,290	0,115
	22,5	30,5	10	5,7	2,10	0,450	0,200	0,070
	22,5	34,6	15	9,5	1,56	0,550	0,248	0,091
	22,5	39,8	20	14,2	1,14	0,680	0,315	0,114

Промывочная машина Блесделя (черт. 56) состоит из прямоугольного опрокинутого ящика около 0,4 кв. м, глубиной 0,6 м, погруженного в воду до песка. Ящик подвешен к мостовому крану, катящемуся на колесах по рельсам на стенах фильтра. Внутри ящика находятся вращающиеся грабли с полой осью и зубцами, через которые во время движения грабель наливается вода под давлением от 0,7 до 1,3 атмосферы. Из ящика вода высасывается насосом в немого большем количестве, чем поступает через полые грабли. Песок промывается, и грязная вода удаляется через боковое корыто вдоль стены фильтра. Ящик передвигается во время работы вдоль мостового крана и вместе с краном — вдоль фильтра. Для применения этой машины к существующим фильтрам Блесдель монтировал ее на трактор. Описанная машина работает в Вильмингтоне и Филадельфии.

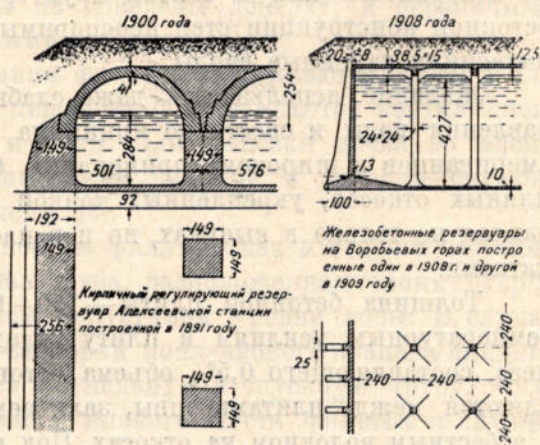
Пи́фке уже давно предлагал применять для промывки песка струю воды, пропускаемую по поверхности фильтра с одновременным взмучиванием пленки. В последнее время этот способ применялся в Нью-Йорке. Вода спускалась с фильтра настолько, что оставался только слой в 50—75 мм. С одной стороны фильтра впускается промывная вода, а с другой в это время открывается дренаж, расположенный на уровне песка. Одновременно производится взмучивание пленки граблями. Этот способ повидимому может дать недурные результаты, когда пленка состоит из легко взмучиваемых органических веществ, но при глинистых осадках результаты получаются неудовлетворительные (опыты Питсбурга и Филадельфии) (см. доклад В. Т. Турчиновича Харьковскому водопроводному съезду).

Этот способ повидимому может дать недурные результаты, когда пленка состоит из легко взмучиваемых органических веществ, но при глинистых осадках результаты получаются неудовлетворительные (опыты Питсбурга и Филадельфии) (см. доклад В. Т. Турчиновича Харьковскому водопроводному съезду).

§ 52. Конструкция фильтров и резервуаров. В задачу настоящего труда не входит строительная сторона дела. По этому вопросу здесь будет сделано только несколько замечаний.

В прежнее время фильтры и резервуары для сырой и чистой воды (и те и другие по конструкции в существенном одинаковы), строили из хорошо обожженного кирпича, камня или бетона. В настоящее время чаще всего применяется железобетон.

Выгоды железобетонной конструкции видны из сопоставления



Черт. 57.

(черт. 57) стоимости кирпичного резервуара (Москва) постройки 1900 г. и железобетонного 1908 г.¹: железобетонный резервуар оказался в 2,4 раза дешевле кирпичного. Однако эта разница может свестись к нулю и даже переменить знак, если кирпичные резервуары не рассчитывать на давление воды.

При углублении резервуара в землю и прочном грунте, когда стенки котлована держатся вертикально, каменная стена, построенная непосредственно впритык к земляной, передает все давление воды на земляную стену. Стена резервуара в таком случае служит только для водонепроницаемой облицовки земляной стены и поддержки крыши, и толщина ее может быть очень небольшая. Во втором криворожском отстойнике, углубленном в плотный лёсс, стены на всю высоту 3,5 м сделаны в два кирпича. Если резервуары располагаются на поверхности или в слабом грунте, тогда преимущества железобетонной конструкции стен неоспоримы. Железобетонные перекрытия вытеснили каменные своды.

Желание использовать даже слабый грунт передачей на него давления воды и свести до минимума бетонную облицовку привело американцев к широкому применению бассейнов со стенами из земляных откосов, укрепленных тонкой бетонной плитой. Откосы делаются не только в выемках, но и в насыпях, хорошо утрамбованных катками.

Толщина бетонной плиты — 150—100 мм; для противодействия температурным усилиям в плиту укладывается сетка из 13-мм железа, составляющего 0,5% объема бетона. Через каждые 6—8 м оставляются между плитами швы, заливаемые смолой на дне и смолой с асбестным волокном на откосах. Под швами устраиваются бетонные ребра.

Этот американский способ постройки применен в Кривом Роге, но не совсем удачно. Вместо того чтобы заделать швы смолой, их просто замазали цементным раствором². Резервуар месяца 2—3 простоял без воды под солнцем и покрылся весь мелкими трещинами, а по швам образовались большие трещины. Предполагалось раскрыть швы и залить их смолой, но этого не сделали. Пущенный в работу в январе 1927 г. отстойник дал сильную течь — 60—70 куб. м в день. Впоследствии благодаря заиливанию течь уменьшилась. В таком состоянии продолжает он действовать до сих пор. Благодаря плотному

¹ Игнатов, К вопросу о надежности и наиболее выгоднейшей конструкции инженерных сооружений.

² С успехом для заделки швов можно применять состав смолы из 65—75% пека и 35—25% антраценового масла. Оба вещества — продукты перегонки каменного угля.

лёссу, откосы стен сделаны 1:1, в Америке обычно 1:2. По сообщению «Water Works Handbook» и в Америке многие резервуары такого типа дают течь по швам и по трещинам от неравномерной осадки под давлением воды.

Для устранения утечки раскрывают трещины на 40 мм вглубь и 25 мм вверху, суживая вниз клином, и заделывают их цементом с железными опилками. В последнее время повидимому чаще всего борются с утечкой штукатуркой сжатым воздухом посредством цемент-пушки.

Большой канал, подводящий воду к Земо-Авчальской станции под Тифлисом, устроен по такому же типу. Откосы облицованы бетонной плитой, разбитой швами на квадраты, если не ошибаюсь, 4×4 м. Отстойник Алмазно-марьевского водопровода устроен по такому же типу, только откосы не доведены доверху, а ограничиваются невысокими вертикальными стенами.

Для защиты от промерзания фильтры покрываются слоем земли 0,7—1,0 м. Для вентиляции в перекрытиях устраиваются вентиляционные трубы и световые люки и лазы. Для вывозки песка во время чистки устраивается ход с широкими дверями и пологим спуском для удобства вывоза тачек (черт. 46).

Необходимой принадлежностью фильтра, как и всякого бассейна для воды, является сигнальная труба, расположенная своим открытым концом на самом верхнем допустимом уровне воды. В случае превышения этого уровня из-за порчи поплавкового клапана лишняя вода будет переливаться через сигнальную в спускную трубу. Спускная труба отводится от самого низкого места фильтра и служит для спуска всей воды из фильтра на случай ремонта. На спускной трубе должна быть задвижка перед соединением ее с сигнальной трубой; на сигнальной трубе задвижка конечно не нужна. Сигнальная труба должна быть всегда готовой пропустить лишнюю воду. Если разница уровней в фильтрах и отстойниках невелика, тогда сигнальная труба в отстойниках не допустит переполнения фильтров, и потому особая сигнальная труба в фильтрах не нужна. Фильтры устраиваются из нескольких отделений даже в том случае, когда по расчету размеры их выходят небольшими. Делается это для обеспечения непрерывности работы во время чистки. Когда одно отделение чистится, другие выполняют его работу. Чтобы не перегружать фильтров во время чистки и на случай ремонта, обыкновенно строят одно отделение лишнее сверх расчетной площади.

Расчетный расход, по которому определяется площадь фильтров, зависит от объема запасных резервуаров чистой воды. Эту зависимость приблизительно можно определить по опыту г. Клевеленда (10-летние данные) следующей таблицей:

Таблица 19.

Зависимость между расходом воды и емкостью резервуаров.

Расчетный расход в процентах среднего суточного расхода	Емкость запасных резервуаров в процентах среднего суточного расхода
175	8
150	20
130	60
124	108
120	340

При емкости резервуаров, равной 20% среднего суточного расхода, расчетный расход должен составлять 150% среднего суточного расхода. Допуская временную перегрузку фильтров на 15—20%, можно расчетный расход понизить до 130%.

Фильтры располагаются рядами, как указано на черт. 58.

Наивыгоднейшие размеры продольных и поперечных стен определяются следующим образом.

Назовем длину продольных стен через y , а поперечных — через x , число отделений — n , площадь каждого — F , длина всех стен — S .

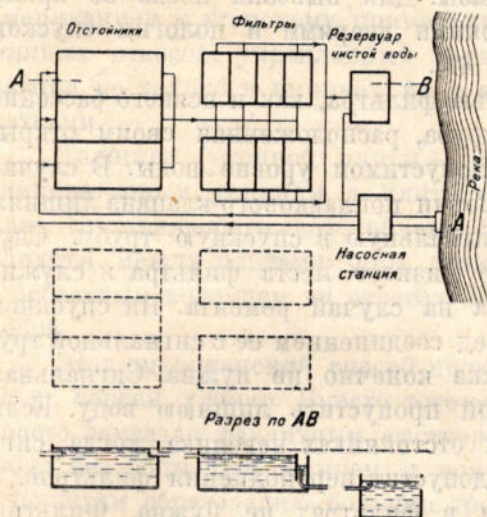
$$1) xy = F, \quad 2) S = (n + 1)y + 2nx.$$

Определяя из первого $x = \frac{F}{y}$ и подставляя во второе, получим:

$$S = (n + 1)y + \frac{2nF}{y}.$$

Для нахождения минимальной длины стен надо взять первую производную $\frac{dS}{dy}$ и приравнять ее нулю.

$$\frac{dS}{dy} = n + 1 - \frac{2nF}{y^2} = 0;$$



Черт. 58.

отсюда

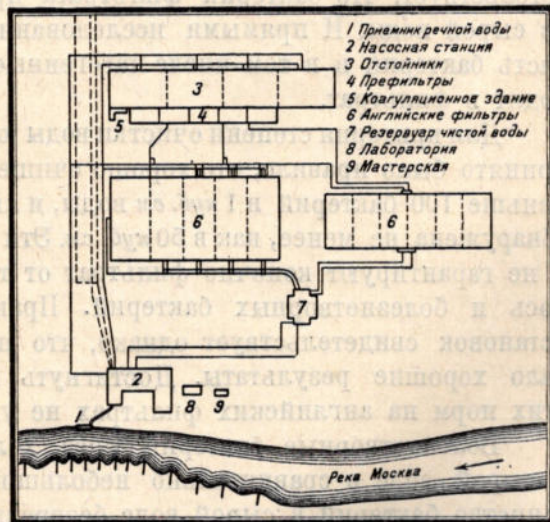
$$y = \sqrt{\frac{2nF}{n+1}} = \frac{2nx}{n+1};$$

$$x = y \cdot \frac{n+1}{2n}.$$

Расположение фильтровальной станции показано на черт. 58. Насосом первого подъема подают из речного или озерного водоприемника *A* воду в отстойные резервуары, расположенные на такой высоте, чтобы вода могла перейти от них через фильтры в резервуар чистой воды самотеком. Рабочий напор, необходимый для английских фильтров, около 1 м; на контрольный прибор типа Линдлея надо некоторое падение для свободного излива через окна телескопической трубы, положим 0,10—0,15 м; к этому надо прибавить еще потери напора в отводящих и подводящих трубах, перепаде в выводном желобе отстойника, потери на образование скоростей и пр. Высший уровень воды в сборнике чистой воды не должен подпруживать фильтры, что в некоторых существующих установках имеет место.

На черт. 58 изображен разрез через отстойники, фильтры и сборник чистой воды. Вертикальный масштаб для наглядности увеличен. В отстойном бассейне нужно оставить для перепада в выходном желобе 0,10—0,15 и приблизительно столько же для перепада в регулирующем приборе фильтра типа Линдлея. При других регуляторах могут потребоваться большие напоры. Потерю в подводящих трубопроводах надо рассчитать по наибольшей их длине при дальнейшем расширении и по наибольшему расходу, ожидаемому при расширении. На черт. 59 изображен план Рублевской станции.

§ 53. Роль фильтров в очистке воды. Английские фильтры построены впервые Симпсоном для лондонского водопровода в 1829 г. и с тех пор получили довольно широкое распространение в Европе и Америке.



Черт. 59.

Однако сущность работы фильтров долго оставалась неизвестной. Только со времени возникновения бактериологии и работ Пастера и Коха, выяснивших роль бактерий в болезнях человека, стало ясно, в чем заключается главное достоинство фильтров — именно в задержании бактерий, в освобождении от них фильтрованной воды.

Очень редко однако фильтр может освободить воду от всех бактерий, в громадном большинстве случаев в фильтрате всегда остается некоторое небольшое количество бактерий. Почему фильтр легко задерживает 90—99% бактерий, а не может задерживать всех бактерий, — этот вопрос остается до сих пор невыясненным.

В нижней части фильтра, где вода уже очищена, могут жить совершенно безвредные бактерии чистой воды и выноситься фильтратом. Но в фильтрате содержатся и бактерии, находящиеся в неочищенной воде и прошедшие через фильтр. При больших колебаниях в содержании бактерий в сырой воде в фильтрате количество бактерий то увеличивается, то уменьшается параллельно увеличению и уменьшению их в сырой воде. Ниже будет приведена математическая зависимость между числом бактерий в сырой воде и фильтрате, открытая американскими исследователями. Эта зависимость ясно свидетельствует, что бактерии фильтрата происходят главным образом из сырой воды. И прямыми исследованиями также установлено, что часть бактерий и в том числе патогенные бактерии сырой воды переходят в фильтрат.

Для критерия степени очистки воды на фильтрах в Европе прежде принято было правило, что хорошо очищенная вода должна содержать меньше 100 бактерий в 1 куб. см воды, и кишечная палочка может быть обнаружена не менее, как в 50 куб. см. Эти нормы совершенно условные и не гарантируют конечно фильтрат от того, чтобы в нем не оказалось и болезнетворных бактерий. Практика всех фильтровальных установок свидетельствует однако, что приближение к этим нормам дало хорошие результаты. Достигнуть всегда точного выполнения этих норм на английских фильтрах не удается.

Болезнетворные бактерии тифа, холеры, дизентерии находятся в сырой воде в сравнительно небольшом размере. Громадное большинство бактерий в сырой воде безвредны.

Если фильтрат одинаково задерживает и те и другие (как дело обстоит в действительности — мы не знаем), то в фильтрате окажется во много раз меньше вредных бактерий, чем в сырой воде. Повидимому эти небольшие количества бактерий неопасны для человека: очевидно организм не может справиться только со значительным количеством вредных бактерий, небольшие же количества он легко уничтожает. Кроме того несомненно, что состояние организма оказывает громадное влияние на его подверженность заболеваниям. Чело-

век, находящийся в прекрасном состоянии здоровья, легко преодолевает инфекцию, в то время как при плохом состоянии здоровья он становится ее жертвой.

В последнее время требования к очищенной воде становятся все строже. Допустимое число бактерий в 1 куб. см. понижается со 100 до 10, а титр *bac. coli* поднимается до 100 и выше.

§ 21. Основное требование к качеству питьевой воды — это ее чистота. Чистота воды определяется по количеству бактерий, содержащихся в 1 литре. В настоящее время в большинстве случаев количество бактерий в 1 литре воды не превышает 100. Однако в некоторых случаях количество бактерий может достигать 1000. Это происходит из-за того, что вода не проходит достаточной очистки. Для очистки воды используются различные методы, в том числе и фильтрация. Фильтры могут быть механическими, химическими и биологическими. Механические фильтры задерживают крупные частицы, химические — удаляют растворенные вещества, а биологические — уничтожают бактерии. В настоящее время наиболее распространены механические фильтры, которые могут быть изготовлены из различных материалов, в том числе и из керамики. Керамические фильтры имеют ряд преимуществ перед другими видами фильтров. Они обладают высокой прочностью, долговечностью и способны задерживать очень мелкие частицы. Кроме того, керамические фильтры не требуют замены фильтрующего материала, что значительно снижает их стоимость. Однако у керамических фильтров есть и недостатки. Они имеют относительно низкую скорость фильтрации, что требует установки нескольких фильтров в ряд. Кроме того, керамические фильтры могут быть повреждены при неправильной эксплуатации. Несмотря на это, керамические фильтры являются одним из самых эффективных методов очистки воды. В настоящее время они широко используются в бытовых условиях, а также в промышленности и сельском хозяйстве. Для обеспечения безопасности питьевой воды необходимо регулярно проверять качество воды и своевременно заменять фильтры. Кроме того, важно соблюдать правила эксплуатации фильтров, чтобы избежать их поломки и обеспечить максимальную эффективность очистки.

ГЛАВА XI.

СКОРАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ.

§ 54. Общие соображения и история развития скорой фильтрации. Средней скоростью фильтрации на медленных фильтрах в Америке считается 23 280—28 080 *куб. м* на 1 гектар в день, что в переводе на вертикальную скорость подъема воды означает 97—117 *мм* в час или 2 328—2 808 *м* в сутки. В некоторых случаях эта скорость повышается вдвое. Скорые фильтры пропускают в сутки от 930 000 до 1 160 000 *куб. м* на гектар площади или, переводя на скорость подъема воды 3,9—4,9 *м* в час, округляя эти цифры, получим от 4 до 5 *м* в час, а в сутки 96—120 *м*. В практике эти цифры могут повышаться и понижаться процентов на 20.

Большая скорость фильтрации, превосходящая в 40—50 раз скорость медленных фильтров, влечет за собой необходимость применения коагулянта для быстрого образования прочной неорганической пленки на поверхности песка, неповреждаемой такими большими скоростями. Далее, если чистка медленных фильтров производится примерно один раз в месяц, то повышенная в 40—50 раз скорость фильтрации должна во столько же раз ускорить накопление ила на поверхности фильтра и вызвать необходимость ежедневной чистки. А раз очистка должна производиться так часто, то ручной способ чистки фильтра окажется уже неудобным, и он заменяется механической промывкой обратным током с одновременным перемешиванием песка вращающимися граблями мешалками.

Скорые или механические фильтры начали применяться в Соединенных штатах впервые на бумажных фабриках для очистки воды от грубых взвесей. Они представляли собой цилиндрический резервуар со слоем фильтрующего песка, расположенным на примитивной системе дренажа. Применение коагулянта внесло в работу фильтров громадное улучшение и привело к дальнейшим усовершенствованиям: улучшению дренажа, введению обратной промывки с перемешиванием песка граблями и удобному расположению всей арматуры. Применение коагулирования и отстаивания в особых отстойниках перед фильтрами внесло дальнейшее значительное улучшение в работу фильтров.

Скорые фильтры старой конструкции с мешалками таким образом достигли высокого технического совершенства.

Первый случай применения скорых фильтров к очистке питьевой воды относится к 1885 г., когда скорые фильтры были установлены в г. Соммервиле (Нью-Джерси). Первые опыты применения механических фильтров для питьевой воды кое-где были более или менее удовлетворительны, а кое-где и неудачны. Неудачи были там, где приходилось очищать мутную воду. Удовлетворительно очищалась только вода сравнительно мало загрязненная.

§ 55. Опытное изучение скорой фильтрации Фуллером и др.
В 1893/94 г. были поставлены первые значительные опыты Е. Вестонном в Провидансе по очистке небольшими механическими фильтрами воды реки Поотоксе. Вода этой небольшой реки почти лишена мути, но окрашена растительными веществами. На опытном фильтре удалось понизить окраску воды на 70—90% и задержать 98,5% бактерий. Широко поставленные опыты очистки мутной воды реки Огайо были произведены в 1895—1897 гг. в г. Луисвиле под руководством Г. Фуллера с целым штатом помощников — инженеров, химиков и бактериологов.

Результаты этих опытов опубликованы в отчете Фуллера; ими были установлены основные принципы работы механических фильтров. Была доказана возможность успешной очистки мутных вод при условии длительного отстаивания с коагулированием. При лучшей обработке воды отстаиванием перед фильтрацией процент задержания бактерий колебался между 97,5—98,5.

Крупнейший недостаток прежних фильтровальных установок заключался в кратковременности отстаивания, продолжавшегося всего только от 20 до 60 минут. При таком периоде отстаивания фильтры не могли давать хороших результатов при очистке очень мутной воды реки Огайо. Для такой воды признано было необходимым суточное или даже более длительное отстаивание. Средняя доза коагулянта при таком продолжительном отстаивании была около 30 м на литр.

Толщину слоя песка Фуллер считал необходимым делать не менее 750 мм и эффективный размер 0,35 мм. Допустимой нагрузкой на фильтры он считал 4 м на 1 кв. м поверхности песка в час; наибольшую допустимую потерю напора в фильтре — 3 м. Промывка с мешалками давала вполне удовлетворительные результаты.

Дальнейшее продолжение опытов происходило под руководством Ф. Фуллера в г. Цинциннати. Здесь была сделана попытка очищать мутную воду реки Огайо медленными фильтрами с долгим периодом простого отстаивания. Результаты очистки оказались неудовлетворительными. Применение же коагулирования перед медленными

фильтрами дало хорошие результаты. В заключение были поставлены сравнительные опыты очистки воды с предварительным коагулированием и отстаиванием на медленных и на скорых фильтрах. Оказалось, что подготовленная отстаиванием и коагуляцией мутная вода реки Огайо одинаково хорошо очищается и медленными и скорыми фильтрами, но работа скорыми фильтрами оказалась дешевле. На основании этих опытов рекомендовано было устройство скорых фильтров с двойным отстаиванием: без коагуляции и второй раз — с коагуляцией. Скорость фильтрации по этим опытам установлена в 5 м в час, и максимальная потеря напора от 3 до 3,6 м.

Дальнейшие исследования производились Газеном в Лоренсе и в Питсбурге и также дали вполне удовлетворительные результаты. В 1899 г. Мюллер провел ряд опытов по очистке воды реки Потомака, которая по временам бывает очень мутна, и рекомендовал устройство скорых фильтров для Вашингтона. Однако этому совету не последовали и устроили медленные фильтры. Через несколько лет пришлось и перед медленными фильтрами ввести кроме простого отстаивания еще и коагулирование, что значительно улучшило очистку. В последние годы при расширении водопровода в Вашингтоне построена новая очистная установка уже со скорыми фильтрами («Journal A. W. W. S.», май 1928 г.).

В 1901 г. Р. Вестон производил опыты по очистке очень мутной воды реки Миссисипи в Новом Орлеане. Вода здесь несет громадное количество тонких взвесей, и освобождение от тонкой мути было главной задачей очистки, так как бактерии поддавались легче удалению. Опыты установили, что обе системы очистки могут дать удовлетворительные результаты, если вода предварительно коагулируется. Простое отстаивание не могло подготовить воду для успешной очистки на медленных фильтрах. При скорой фильтрации наиболее выгодным способом подготовки воды для фильтрации было найдено простое отстаивание в течение 12 часов со следующим за ним отстаиванием с коагуляцией также в течение 12 часов. Для медленной фильтрации при такой же продолжительности простого отстаивания продолжительность отстаивания с коагуляцией должна быть 24 часа.

В среднем 12-часовое простое отстаивание понижало мутность до 0,000485, а 12-часовое отстаивание с коагуляцией доводило мутность до 0,000075. Средняя доза глинозема — 77 мг на литр. Понижать перед фильтрацией мутность ниже 0,000050 найдено было невыгодным. Затрата промывной воды выражалась 4%. Наиболее подходящим эффективным размером песка было признано 0,3—0,4 мм с коэффициентом однородности 1,5. Максимальный напор в фильтре — 3,3—3,6 м, нагрузка 5 м в час признана вполне нормальной.

Нужно отметить, что все эти опыты производились с мешалочными фильтрами, — безмешалочные развились позднее.

Общие заключения из всех этих исследований выражаются в следующем:

1) «Физические, химические и бактериальные качества воды должны быть хорошо изучены для успешной очистки ее.

2) Сильно мутные воды требуют предварительного простого отстаивания для удаления наиболее грубых взвесей, за которым должен следовать более короткий период отстаивания с коагулированием для удаления тонких взвесей.

3) Быстрая фильтрация через песок дает удовлетворительные результаты только в том случае, если взвеси предварительно надлежащим образом коагулированы и осажены, так что количество взвесей, попадающих на фильтры, невелико.

4) Скорость фильтрации должна быть хорошо регулирована, и быстрые колебания ее недопустимы.

5) Количество потребляемого коагулянта должно быть надлежаще приспособлено к качеству очищаемой воды, и прибавление его к воде должно быть равномерно.

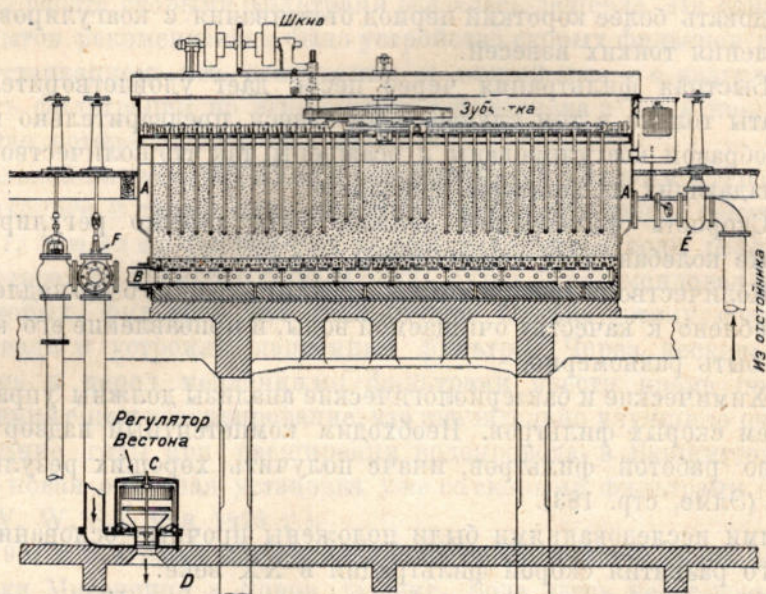
6) Химические и бактериологические анализы должны управлять действием скорых фильтров. Необходим компетентный надзор и руководство работой фильтров, иначе получить хороших результатов нельзя» (Элмс, стр. 183).

Этими исследованиями были положены прочные основания для широкого развития скорой фильтрации в XX веке.

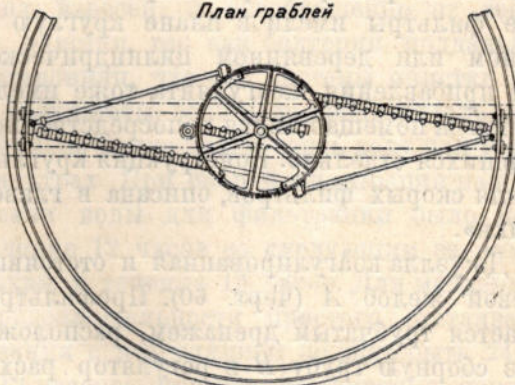
§ 56. Устройство скорых фильтров старого типа. Прежде скорые или американские фильтры имели в плане круглую форму и помещались в железном или деревянном цилиндрическом резервуаре. Отстойники после прибавления коагулянта тоже имели форму круглых цилиндров, иногда помещавшихся непосредственно под фильтром или же располагавшихся отдельно. Конструкция круглых отстойников, применявшихся для скорых фильтров, описана в главе «Отстаивание, круглые отстойники».

В фильтрах Джуэлла коагулированная и отстаивавшаяся вода подводится в кольцевой желоб *A* (черт. 60). Профильтрованная через песок вода собирается трубчатым дренажем, расположенным по дну, и отводится через сборную трубу *B* в регулятор расхода Вестона *C*, а оттуда в резервуар чистой воды *D*. Много усилий было потрачено на изобретение хорошей конструкции дренажа. Для конструкции дренажа скорых фильтров главное значение имеет промывка фильтра. Хотя скорость фильтрации и превосходит раз в 40—50 скорость действия английских фильтров, однако это увеличение скорости не требует новой конструкции фильтрующего слоя и дренажа, и устройство, применяемое для английских фильтров, вполне пригодно и для скорых фильтров.

Только применение обратной промывки вызывает необходимость особых конструкций в устройстве дренажа. Нагнетаемая для промывки вода должна поступать снизу фильтрующего слоя равномерно по всей площади фильтра, и пласт песка не должен подвергаться размывающему действию отдельных струй.



План граблей

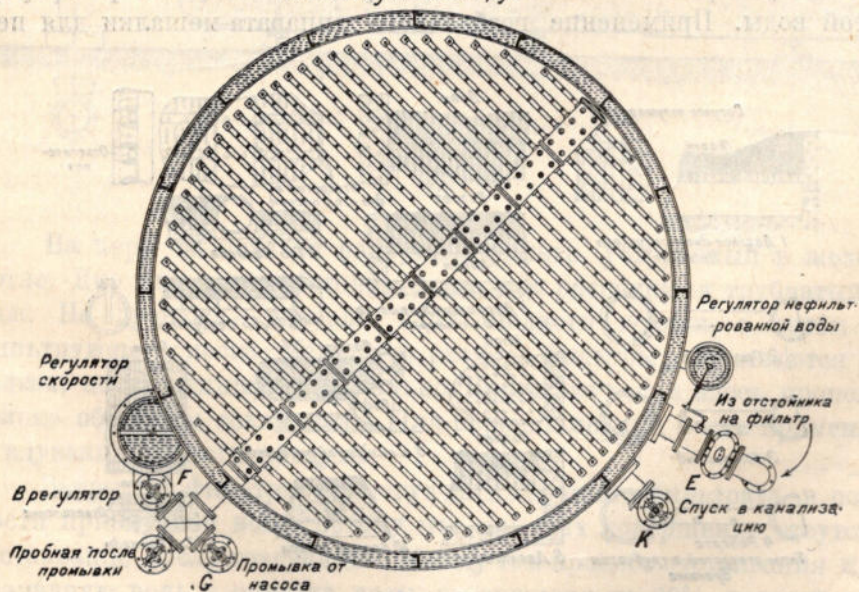
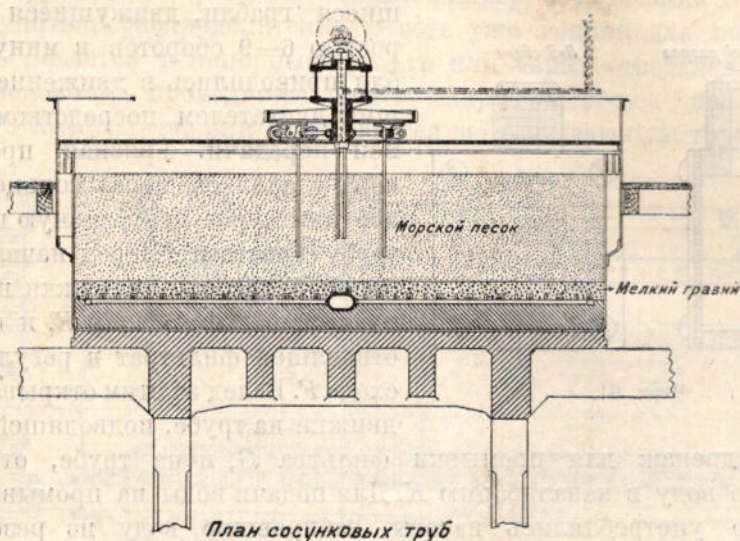


Черт. 60а.

Как видно из черт. 60, дренаж фильтра Джуэлла состоит из главной трубы с многочисленными ответвлениями в обе стороны. На ответвляющихся трубочках через небольшие промежутки насажены особые сосунки с мелкими дырочками (черт. 61). Через них и собирается профильтрованная вода, и они же должны равномерно распре-

делая промывную воду; чтобы дырочки в сосунках не забивались фильтрующим песком, над ними располагается слой мелкого гравия.

Применялись также для дренажа продырявленные трубы и двой-

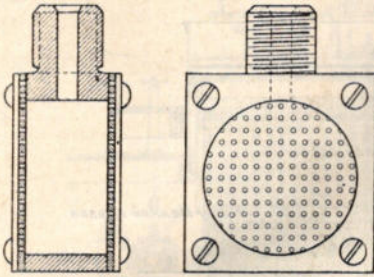


ное дно, причем верхнее дно продырявливалось или снабжалось сосунками. Современные конструкции дренажа, изображенные на черт. 62, представляют только видоизменения форм дренажа, выработанных для старых конструкций фильтров.

В фильтрах Джуэлла, Говатсона и др. скорость промывки была раза в 3—4 больше скорости фильтрации. При такой скорости промывки нельзя было добиться хорошей очистки песка без механического перемешивания его. Для этой цели были применены вращающиеся грабли, движущиеся со скоростью 6—9 оборотов в минуту. Грабли приводились в движение небольшим двигателем посредством ременной передачи. Грязная промывная вода удалялась через кольцевой желоб или через центральную широкую трубу (Говатсон). Перед началом промывки закрылись задвижки на трубе, подающей сырую воду *E*, и на трубе, отводящей фильтрат в регулятор расхода *F*. Вслед за этим открывались задвижки на трубе, подводящей чистую

Вертикальный разрез

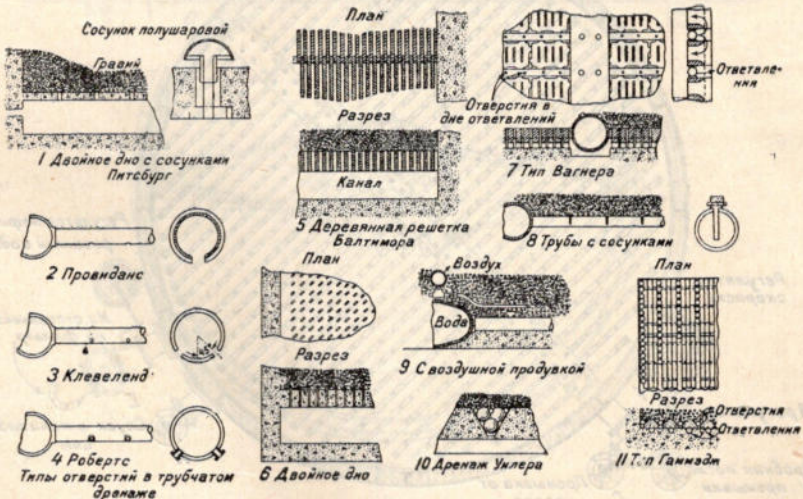
Вид сбоку



Черт. 61.

воду в дренаж для промывки фильтра *G*, и на трубе, отводящей грязную воду в канализацию *K*. Для подачи воды на промывку обыкновенно употреблялись насосы, забиравшие воду из резервуаров чистой воды. Применение грабелевого аппарата-мешалки для пере-

воду в дренаж для промывки фильтра *G*, и на трубе, отводящей грязную воду в канализацию *K*. Для подачи воды на промывку обыкновенно употреблялись насосы, забиравшие воду из резервуаров чистой воды. Применение грабелевого аппарата-мешалки для пере-

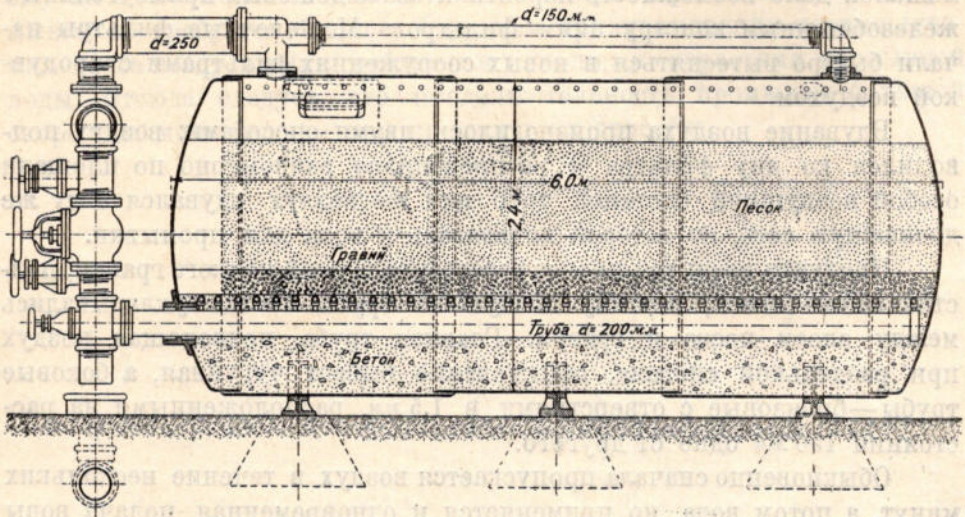


Черт. 62.

мешивания песка повело к названию этих фильтров у нас мешалочными в отличие от безмешалочных фильтров нового типа.

§ 57. Напорные фильтры. Кроме открытых фильтров, действующих силой тяжести и потому называемых гравитационными, суще-

ствуют еще и закрытые фильтры, работающие под большим напором— в 3—5 атм. и более. Такой фильтр устраняет необходимость двойной перекачки. Он включается в напорный трубопровод насоса, подающего сырую воду. Пройдя напорный фильтр, вода должна очиститься и поступить в распределительную сеть уже годной для питья. Коагулянт подается в напорный фильтр или через ответвление напорного водовода, проходящее через закрытый сосуд, наполненный кусками коагулянта, или засасывается во всасывающую трубу насоса.



Черт. 63.

На черт. 63 показан напорный фильтр, устроенный в железном котле. Дно выравнено бетоном, и на нем расположен трубчатый дренаж. На дренаже — сначала слой мелкого гравия, а потом слой фильтрующего песка. Меньшего размера фильтры устраиваются в котелках, поставленных вертикально. Промывка песка здесь происходит только обратным током воды. Для перемешивания песка применяется и вдувание сжатого воздуха.

Закрытые фильтры не могут дать хорошего фильтрата, в особенности при мутной воде, потому что при них совершенно отсутствует отстаивание после коагуляции. Между тем процесс отстаивания играет громадную роль в очистке воды, задерживая до 90% взвесей и бактерий. Фильтры же могут справляться с очисткой воды только тогда, когда она достаточно подготовлена отстаиванием.

В начале развития скорой фильтрации закрытые фильтры были построены для нескольких городских водопроводов, но в настоящее время они применяются только для мелких установок, обслуживающих отдельные дома, или там, где не требуется хорошей очистки

воды. Закрытые фильтры нашли себе применение при обезжелезивании воды.

§ 58. Переход от мешалочных фильтров к безмешалочным. Эволюция в способах промывки песка привела к изменению конструкции фильтров. Применение при промывке мешалок требовало круглой формы для фильтров, между тем эта форма экономически невыгодна, так как 22% площади по сравнению с квадратом остается неиспользованной. Введение продувки воздуха через песок вместо мешалок дало возможность перейти к более дешевым прямоугольным железобетонным конструкциям фильтров. Мешалочные фильтры начали быстро вытесняться в новых сооружениях фильтрами с продувкой воздухом.

Вдувание воздуха производилось двумя способами: воздух подводился ко дну фильтра и распределялся равномерно по площади особой воздушной системой труб или же воздух вдувался в ту же дренажную сеть, по которой подавалась и вода для промывки.

Продувка воздухом иногда расстраивала слой мелкого гравия, подстилавшего песок, поэтому воздушные трубы иногда укладывались между слоем песка и гравия. Главная труба, подводящая воздух при раздельной системе, обыкновенно бывает чугунная, а боковые трубы — бронзовые с отверстиями в 1,5 мм, расположенными на расстоянии 150 мм одно от другого.

Обыкновенно сначала пропускается воздух в течение нескольких минут, а потом вода, но применяется и одновременная подача воды и воздуха. Воздух, считаемый при атмосферном давлении, продувался через фильтр в количестве 0,9—1,5 куб. м в минуту на 1 кв. м поверхности фильтра. Скорость же промывной воды оставалась та же, что и у мешалочных фильтров, т. е. 20—30 см/мин, т. е. 0,2—0,3 куб. м на 1 кв. м поверхности в минуту.

Дальнейший прогресс в промывке фильтров привел к упразднению продувки воздухом. Оказалось, что увеличение скорости промывной воды до 60 см/мин дает такое же хорошее перемешивание и промывку песка, как и вдувание воздуха при меньшей скорости промывной воды. Новый способ промывки большой скоростью воды получает все большее и большее распространение.

Старые установки, построенные на промывку с продувкой воздухом, не могут перейти на новый способ, так как их дренажная сеть недостаточна для пропуска такого большого количества воды.

Обычной скоростью промывки считается, как уже сказано, 0,6 м/мин, понимая под этим скорость подъема воды по всей площади фильтра. Для такой скорости нужен секундный расход 10 литров на 1 кв. м поверхности фильтра. В некоторых установках применяются и более высокие скорости промывки — 0,7 и выше, до 1,0 м/мин.

Преимущества промывки фильтра одной водой с большой скоростью лежат в простоте конструкции и простоте операции самой промывки: не нужно компрессоров и распределительной воздушной сети. Кроме того воздух иногда прорывается большими пузырями и разрушает правильность положения слоя гравия.

Недостаток промывки одной водой заключается в необходимости больших диаметров дренажных труб для пропуски больших количеств воды, что конечно увеличивает стоимость дренажа.

Продолжительность промывки большой скоростью («high velocity method») обыкновенно меньше 5 минут. При этом способе промывки не требуется больше воды, чем при применении перемешивания песка воздухом или граблями и меньшими скоростями промывной воды. Отсюда следует, что продолжительность промывки большой скоростью меньше, чем при предыдущих способах.



Видимый недостаток промывки большой скоростью заключается в необходимости больших диаметров дренажных труб для пропуски больших количеств воды, что конечно увеличивает стоимость дренажа. Продолжительность промывки большой скоростью («high velocity method») обыкновенно меньше 5 минут. При этом способе промывки не требуется больше воды, чем при применении перемешивания песка воздухом или граблями и меньшими скоростями промывной воды. Отсюда следует, что продолжительность промывки большой скоростью меньше, чем при предыдущих способах.

Преимущества промывки фильтра одной водой с большой скоростью лежат в простоте конструкции и простоте операции самой промывки: не нужно компрессоров и распределительной воздушной сети. Кроме того воздух иногда прорывается большими пузырями и разрушает правильность положения слоя гравия.

Недостаток промывки одной водой заключается в необходимости больших диаметров дренажных труб для пропуски больших количеств воды, что конечно увеличивает стоимость дренажа.

ГЛАВА XII.

УСТРОЙСТВО СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ НОВОГО ТИПА.

§ 59. Устройство здания фильтров. В старых конструкциях американских фильтров круглые отстойные резервуары обыкновенно помещались в одном здании с фильтрами: это конечно значительно увеличивало размеры здания фильтровальной установки и удорожало все устройство. В новых конструкциях отстойники отделены от фильтров и помещаются просто в земле, не требуя для себя никакого помещения.

Отсутствие движущихся частей и трансмиссии упрощает и удешевляет устройство фильтровального здания.

Стены фильтровального здания в большей своей части являются и стенами фильтров, тогда как в старых конструкциях фильтры требовали для себя отдельных круглых железных, бетонных или деревянных резервуаров.

Прямоугольная форма отдельных фильтров использует всю площадь, не оставляя неиспользованных мест, что было неизбежно при прежней круглой форме фильтров.

Все эти преимущества конечно сильно удешевляют устройство фильтров нового типа по сравнению со старым типом.

Размеры отдельных фильтров колеблются от 10 до 170 кв. м.

В Америке стремятся стандартизировать размеры отдельных сооружений и устраивают фильтры на 0,5, 1, 2, 3, 4 и 5 млн. галлонов или 1 892, 3 785, 7 570, 11 355, 15 140 и 18 925 куб. м в сутки. Применяются однако и другие размеры ¹.

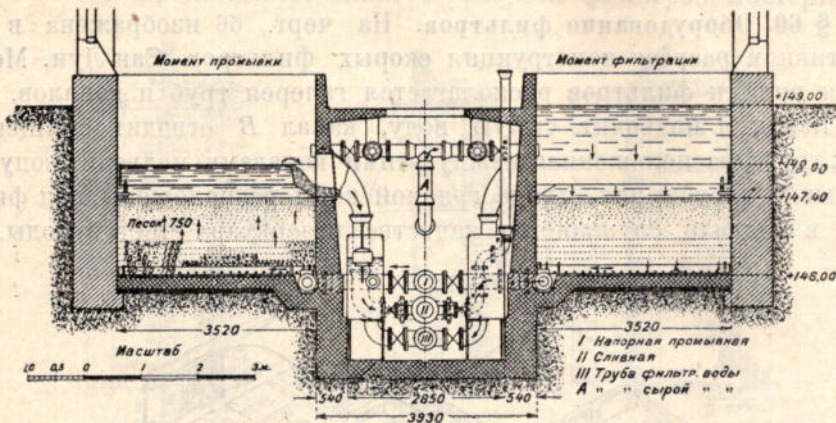
Препятствием для еще большего увеличения размеров служат трудность равномерного распределения промывной воды по большой площади и трудность отвода грязной воды по верхним желобам.

¹ Обычным размером фильтра на 1 000 000 галлонов в сутки 3 785 куб. м является 32,5 кв. м; на 5 000 000 галлонов (18 925 куб. м) рабочая площадь будет 162,5 кв. м.



Черт. 64.

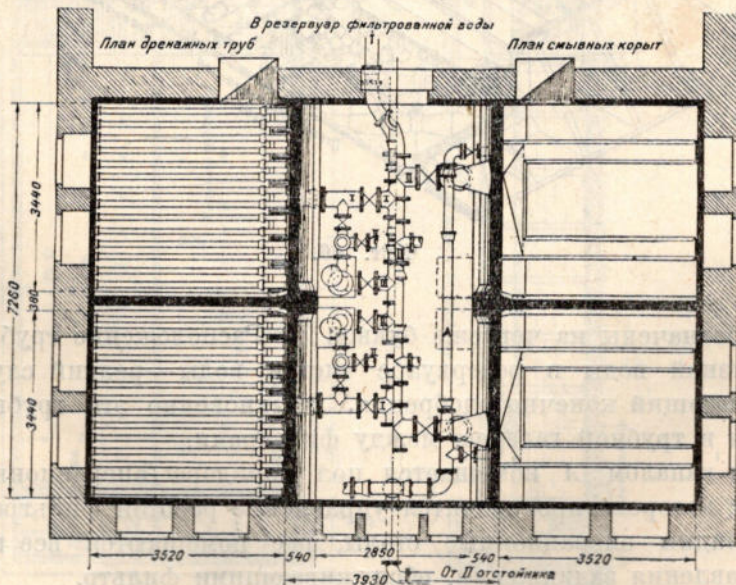
В плане фильтровальная установка обыкновенно устраивается так, что отдельные фильтры располагаются в два ряда (черт. 64) с



Черт. 65а.

промежуточной между ними галереей для помещения в ней подводящих и отводящих воду труб или каналов, задвижек и регуляторов.

При очень больших установках фильтры располагаются в 4, 6 и т. д. рядов, причем третий ряд примыкает непосредственно ко второму.



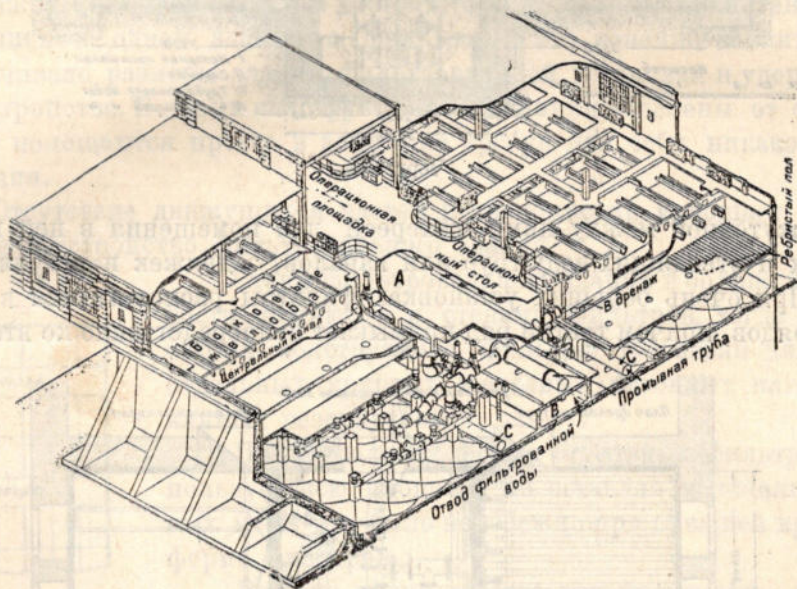
Черт. 65б.

Материалом для здания фильтров служат чаще всего железобетон, но применяются и хорошо обожженный кирпич и камень. Выгодно углублять фильтры в землю как для утепления, так и

для уменьшения толщины стен при плотном грунте, воспринимающем давление воды. Так построены фильтры Кривого Рога и Белой Церкви (черт. 65а и 65б).

§ 60. Оборудование фильтров. На черт. 66 изображена в перспективном разрезе конструкция скорых фильтров Сан-Луи. Между двумя рядами фильтров располагается галерея труб и каналов.

Канал *A* подводит сырую воду, канал *B* отводит очищенную воду; труба, расположенная между этими каналами, подводит воду для промывки. Трубы для отвода грязной воды расположены под фильтрами в подвале, служащем в качестве резервуара чистой воды. Эти

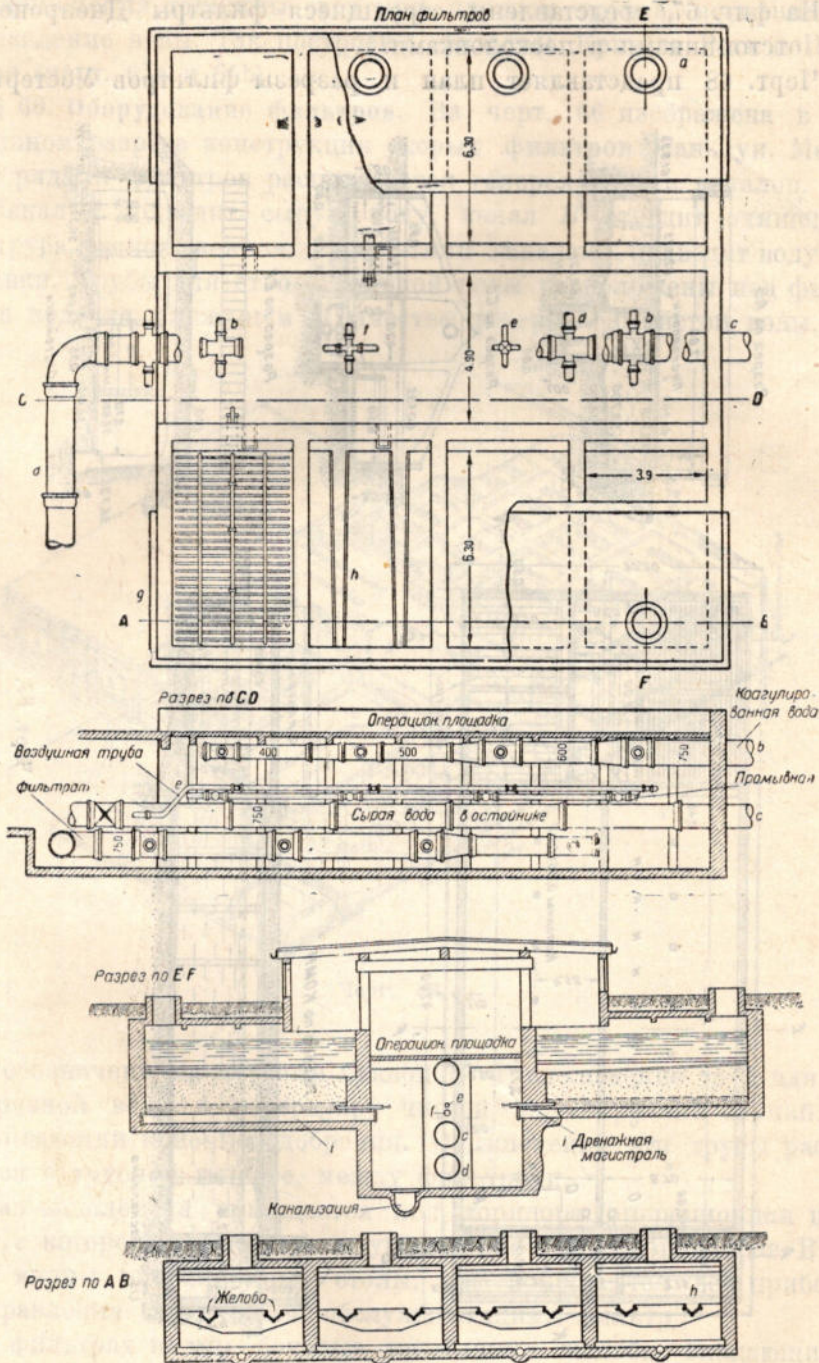


Черт. 66.

трубы обозначены на чертеже буквой *C*. Расположение труб для отвода грязной воды в резервуаре чистой воды—редкий случай, не заслуживающий конечно одобрения. Обыкновенно эти трубы располагаются в трубной галерее, между фильтрами.

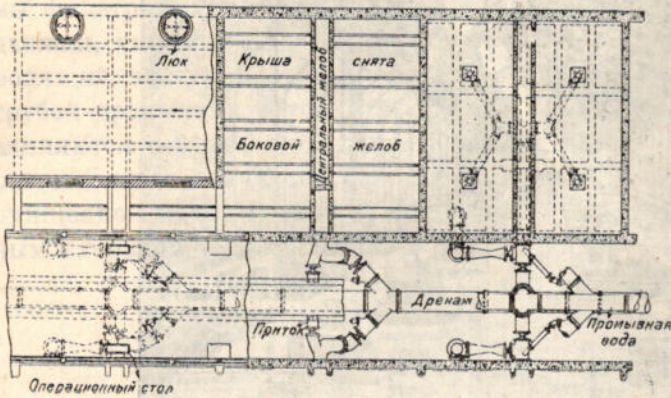
Над каналом *A* помещается пол коридора (операционная площадка), с которого производится управление работой фильтров. В коридоре видны операционные столы, где помещаются все приборы для управления задвижками, обслуживающими фильтр.

В фильтрах видны боковые промывные желоба, впадающие в канал, расположенный посередине фильтра. Дренаж фильтров здесь устроен в виде параллельных бетонных ребер, покрытых на половине их высоты бронзовыми дырчатыми листами.

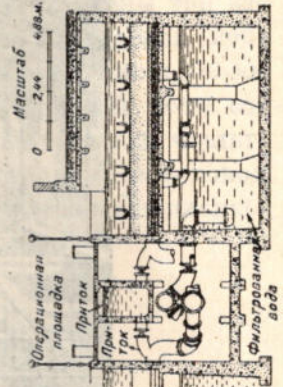


Черт. 68.

производится водой с воздухом (конструкция устарелая), поэтому кроме водовода для промывки имеется еще воздухопровод. Черт. 69а и 69б представляет план и разрез фильтров Акрона. Черт. 70 представляет внешний вид фильтров Сан-Луи. Черт. 71 изображает операционную площадку или коридор фильтров Клевеленда.



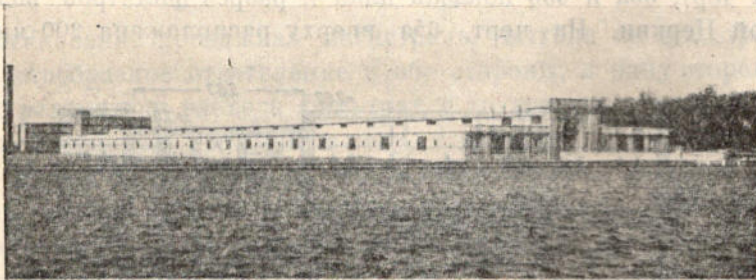
Черт. 69а.



Черт. 69б.

У каждого фильтра здесь показан стол, на котором расположены все рычаги или краны для управления фильтром, а также и контрольные приборы — показатель потери напора в фильтре и пр.

В больших фильтрах управление задвижками производится гидравлическим или электрическим способом. В малых установках с отдельными фильтрами, не более, чем на 1890 куб. м в сутки, управ-



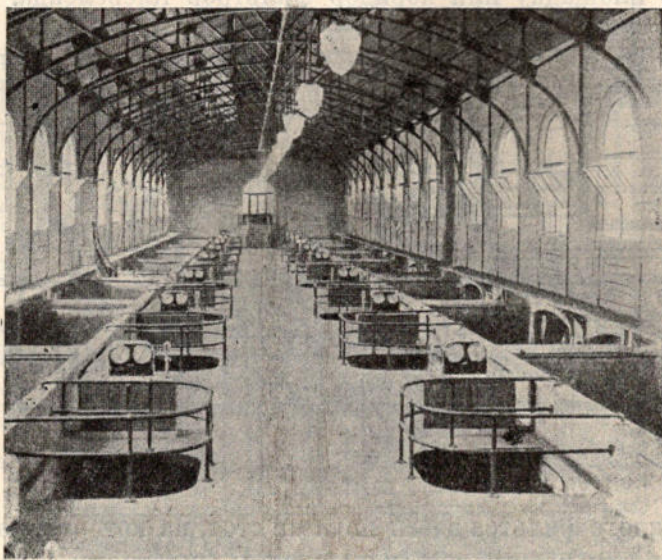
Черт. 70.

ление задвижками производится вручную, для чего шпинделя задвижек выводятся выше рабочей площадки и снабжаются маховыми колесами. Гидравлический способ управления задвижками пользуется наибольшим распространением и становится стандартным.

Черт. 72 представляет разрез фильтра и трубной галереи в Эванстоне. Сырая вода подводится каналом 1. Отвод очищенной

воды происходит через канал 2. Канал 3 служит для удаления промывной воды. Только подвод воды для промывки производится трубой а. Регуляторы расхода помещаются в С.

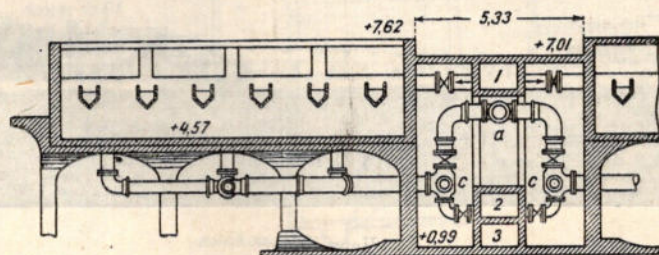
Разрез фильтров Индианополиса показан на черт. 73; здесь все



Черт. 71.

4 водовода, обслуживающие фильтры, сделаны в виде четырехэтажного железобетонного канала (образец новейшей конструкции).

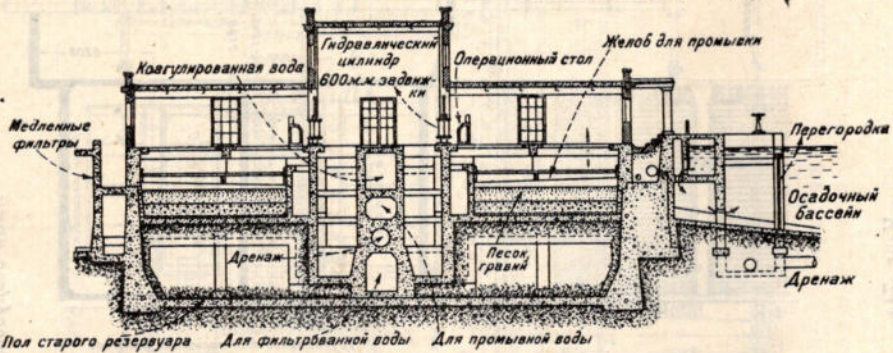
На черт. 65а и 65б показан план и разрез фильтров водопровода Белой Церкви. На черт. 65а вверху расположена 200-мм труба,



Черт. 72.

подающая воду из коагуляционного бассейна через 150-мм ответвления в каждый фильтр. На ответвления поставлены задвижки, но автоматических поплавковых клапанов нет. Уровень воды в фильтрах тот же, что и в отстойнике за вычетом потери напора в подводящем трубопроводе. Сигнальная труба отстойника не дает уровню

подниматься выше намеченной отметки. Вторая сверху 250-мм труба подводит промывную воду из возвышенного промывного бака. Ниже ее находится труба, отводящая грязную смывную воду в канализацию, и наконец самая нижняя отводит фильтрат в резервуар чистой воды. Эти три трубы соединены с главной трубой дренажной системы фильтра, и на соединительных патрубках расположены три задвижки, управляющие работой и промывкой фильтра. Водовод, подводящий чистую промывную воду, соединен непосредственно с 250-мм трубой дренажа, а трубы для отвода фильтрата и грязной воды соединяются с 250-мм трубой посредством 150-мм ответвленной. Фильтрат отводится сначала в регулятор расхода, а оттуда уже в водовод очищенной воды. Регулятором расхода здесь служит бак с поплавковым клапаном и диафрагмой в дне.



Черт. 73.

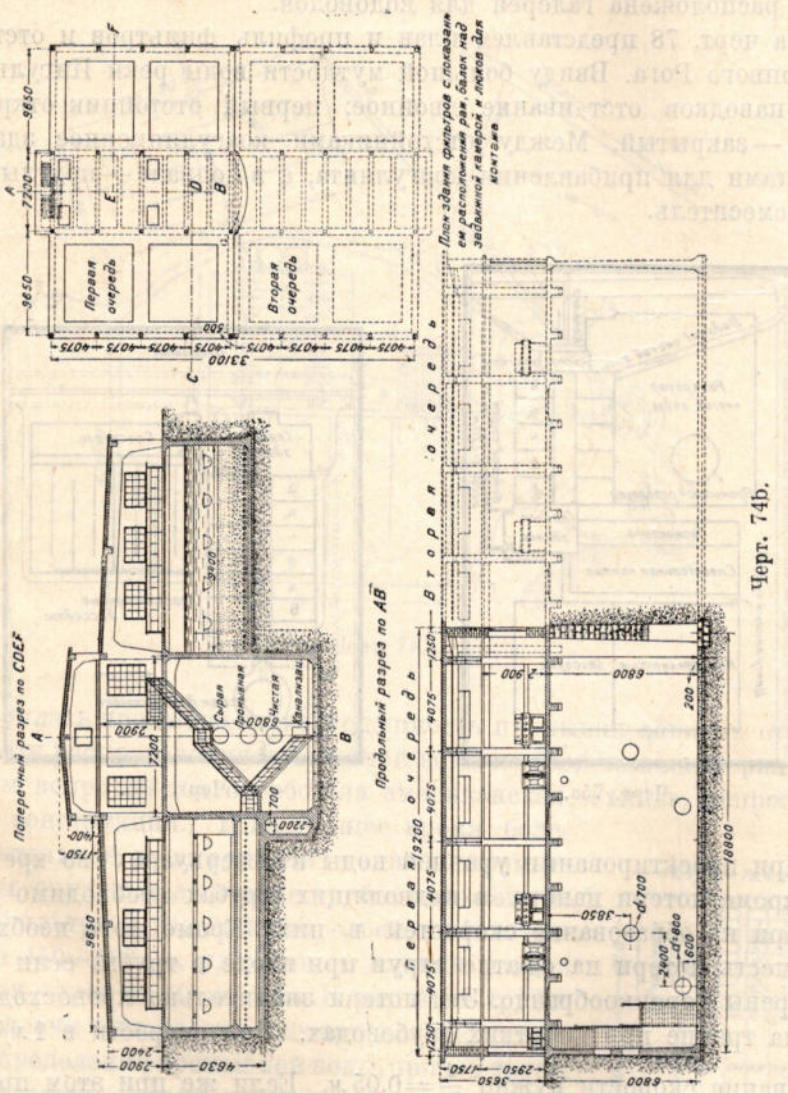
Обыкновенно дренажная магистраль, выходя из фильтра, получает крестообразное ответвление в обе стороны; в одну сторону отводится к регулятору расхода фильтрат, а другое соединяется с трубой, отводящей грязную промывную воду, и служит для спуска первых порций плохо фильтрованной воды, пока еще на фильтре не образовалась пленка, а также и на случай опорожнения фильтра.

На черт. 74а и 74б показан план и разрез фильтров алмазно-марьевского водопровода.

На черт. 74а показан общий план фильтров и отдельно два плана трубных галерей. На общем плане показаны промывные желоба, впадающие в центральный канал, отводящий грязную воду. Трубчатый дренаж показан на 2-й очереди. В трубной галерее показана только самая верхняя труба, подводящая сырую воду с ответвлениями в каждое отделение и с поплавковыми клапанами.

В отдельном плане галереи показан промывной водовод с крестовинами и задвижками для каждого отделения. Крестовины соединяют этот водовод непосредственно с дренажной магистралью.

Дренажная магистраль видна слева черт. 74б в поперечном разрезе CDEF. Она представляет собой бетонный прямоугольный канал с отверстиями для ответвлений. Выше видны железные жолоба и распорки центрального промывного канала, расположенного над



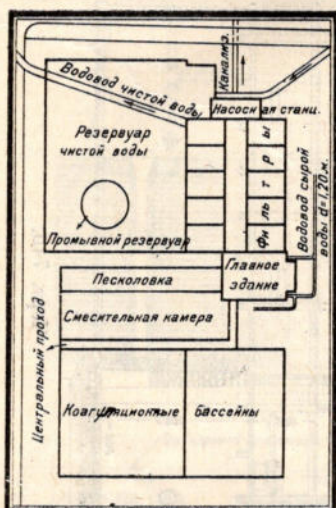
Черт. 74б.

дренажной магистралью. Такое расположение вызвало необходимость устройства впереди фильтра особой камеры (2 200 × 700) для отвода промывной воды в сточную трубу.

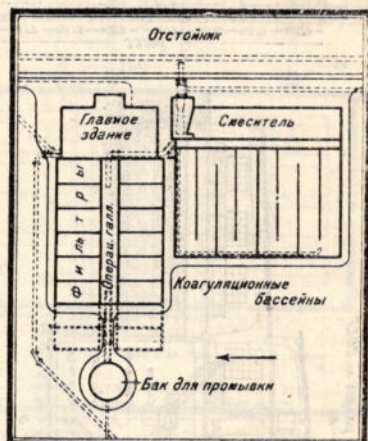
§ 61. Планировка фильтровальных станций. Американские фильтровальные станции обыкновенно планируются очень компактно. Для примера на черт. 75а изображен общий план расположения очистных

сборушений г. Гранд Рапидо (75b—Миннеаполиса). На черт. 76—план фильтров г. Балтимора; на черт. 77 представлен план скорых фильтров Буффало на 600 000 куб. м в сутки. Фильтры расположены в четыре ряда по 10 штук в каждом; между каждыми двумя отделениями расположена галерея для водоводов.

На черт. 78 представлен план и профиль фильтров и отстойников Кривого Рога. Ввиду большой мутности воды реки Ингульца во время паводков отстойник двойной: первый отстойник открытый, второй — закрытый. Между отстойниками коагуляционное здание с аппаратами для прибавления коагулянта, а в подвале — круглый вихревой смеситель.



Черт. 75a.



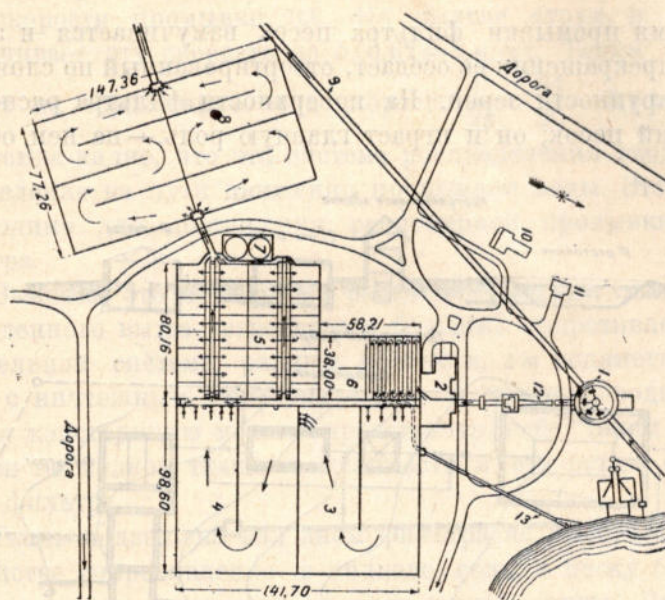
Черт. 75b.

При проектировании уровней воды в резервуарах во время работы кроме потери напора в подводящих трубах необходимо учесть и потери на образование скоростей в них. Кроме того необходимо еще учесть потери на сжатие струи при входе в трубы, если они не расширены воронкообразно. Эти потери значительно превосходят потери на трение при коротких трубоводах. При скорости в 1 м/сек на образование скорости нужно $\frac{v^2}{2g} = 0,05$ м. Если же при этом происходит еще и сжатие струи, как обычно, то необходимый напор значительно увеличивается. Скорость в сжатом сечении будет $1 : 0,82 = 1,22$, а напор на ее образование 0,075 м.

При выпуске воды из отстойника через дырчатую Т-образную трубу нужно трижды учитывать потерю напора на образование скорости: 1) при входе в отверстия трубы, 2) на образование скорости

в двух ответвлениях и 3) на образование скорости в отводящей центральной трубе, где как и при входе в отверстия, имеет место и сжатие струи.

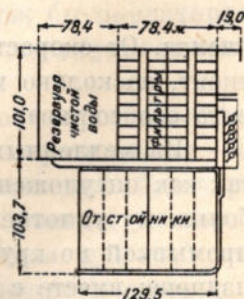
§ 62. Устройство фильтрующего слоя. С какой бы скоростью ни



Черт. 76.

производилась промывка песка, успешность промывки зависит от равномерности распределения промывной воды по всей площади фильтра. Над этим вопросом долго работала американская техника, испробовав разные конструкции. В настоящее время более употребительной конструкцией подвода промывной воды являются дырчатые трубы, положенные по дну фильтра и засыпанные слоем щебня толщиной в 450—500 мм, уложенного слоями разной крупности зерен от 60 до 2 мм. И дырчатые трубы, и слой щебня или гравия служат для равномерного распределения промывной воды, причем трубы дают одинаковые струи из своих отверстий, равномерно рассеянных по всей площади фильтра. Слой щебня превращает этот поток отдельных струй в сплошной поток, равномерный по всей площади фильтра, поднимающийся со скоростью 0,6—1,0 м/мин.

На щебне располагается слой фильтрующего песка 0,75—0,9 м с эффективным размером зерен от 0,35 до 0,60 мм и коэффициентом

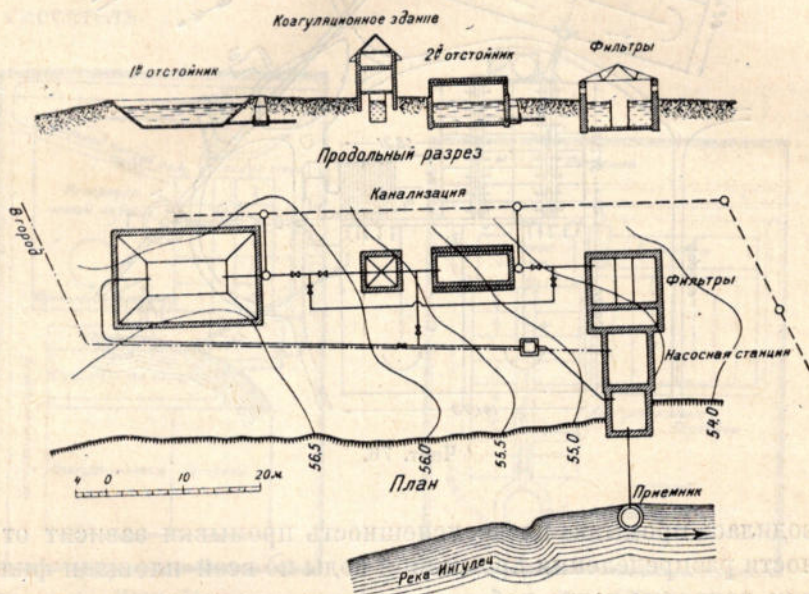


Черт. 77.

равномерности 1,5—1,7. Наиболее подходящим эффективным размером зерна считается 0,40 м.м.

«Более крупный песок широко применялся в прежних фильтрах; позднее вошло в обычай употребление более мелкого песка. В настоящее время снова появляется склонность к более крупному песку» (Элмс, стр. 215).

Во время промывки фильтра песок взмучивается и затем при медленном прекращении ее оседает, отсортированный по слоям уменьшающейся крупности зерен. На поверхности фильтра располагается самый мелкий песок; он и играет главную роль,— на нем образуется



Черт. 78

пленка. От скорости промывки и высоты расположения жолобов зависит, насколько мелкие части песка будут вымыты из первоначального его состава.

На медленных фильтрах песок лежит во время всей их службы, так как он уложен вначале, поддаваясь только с течением времени большому уплотнению. На скорых же фильтрах песок сортируется промывкой по крупности зерен. Роль этого явления до сих пор не изучена; вместе с этим и толщина слоя песка и его крупность выбираются без достаточной мотивировки.

§ 63. Большое сопротивление в дренаже. Опытом установлено, что площадь всех отверстий в трубах должна составлять 0,2—0,3% всей площади фильтра. Площадь сечения главной подводящей промывную воду трубы обыкновенно принимается около 1,5 площади сечений

всех отверстий, а площадь сечения боковых ответвлений раза в три больше площади всех отверстий, находящихся на соответствующем ответвлении. Если площадь отверстий в трубах равна $0,2\%$ площади фильтра, то скорость выхода воды из этих отверстий будет в 500 раз больше скорости подъема воды в фильтре, т. е. 300 м/мин , или 5 м/сек при скорости промывки $0,6$. Но сжатие струи в отверстиях еще увеличивает эту скорость до $5 : 0,62 = 8 \text{ м/сек}$. Таким образом потеря напора на образование этой скорости $\frac{v^2}{2g} = \frac{64}{20} = 3,2 \text{ м}$ водяного столба.

Отсюда видно, что эта система распределения вводит большое сопротивление на пути движения промывной воды. Это сопротивление необходимо для достижения равномерной промывки всей площади фильтра.

Выясним это примерным расчетом. Сравним два фильтра: один приведенного выше устройства с большим сопротивлением в распределительной системе, равным, положим, 2 м водяного столба, и другой — с ничтожным сопротивлением в подводе воды. Для второго случая конструкцию можно представить себе таким образом: песок уложен на медной ткани с количеством отверстий около 50% площади фильтра.

Ткань подвешена над дном фильтра на высоте $0,2 \text{ м}$. При таком устройстве сопротивление в подводе воды к песку будет ничтожно, и для простоты его можно принять равным нулю. Предположим далее, что сопротивление в самом слое песка будет равно в среднем $0,7 \text{ м}$ водяного столба. В таком случае все сопротивление при промывке во втором примере будет $0,7 \text{ м}$, в то время как в первом оно равно $2,7 \text{ м}$.

Слой фильтрующего песка не представляет по всей площади одинакового сопротивления: этим и вызывается трудность промывки. В некоторых местах песок больше слеживается, как бы цементируется. В таких местах сопротивление для промывной воды будет значительно больше, чем в других.

Предположим, что в местах наименьшего сопротивления оно будет равно $0,5 \text{ м}$, а в местах наибольшего сопротивления — $1,0 \text{ м}$. Разность наибольшего и наименьшего сопротивлений будет равна 100% . Такая большая разность сопротивлений поведет к тому, что вода пойдет по пути наименьшего сопротивления и в этих местах будет бить ключом, а другие места останутся непромытыми, и правильность расположения песка после промывки окажется нарушенной.

В первом же случае разность сопротивлений составит всего лишь $0,5 : 2,7 =$ менее 20% .

Конечно и здесь в места меньшего сопротивления направится большее количество воды, но здесь эта разность невелика, и кроме

того она не может увеличиваться, так как потеря в подводящей системе, равная в среднем 2 м, увеличивается в местах наибольшего расхода пропорционально квадрату пропускаемого количества воды. В слое же песка сильные местные струи воды, наоборот вынося песок и образуя воронку, уменьшают первоначальное сопротивление. Неравномерность в сопротивлении, бывшая в первом случае вначале равной 100%, будет увеличиваться, что приведет к неравномерности промывки и размыву песка. Во втором же случае такое возрастание неравномерности задерживается большим сопротивлением в дренаже.

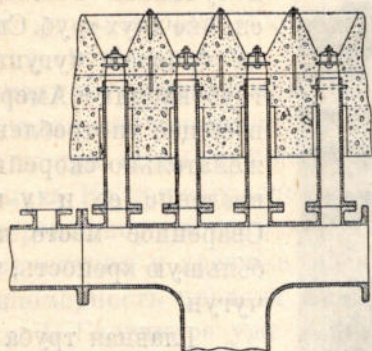
§ 64. Конструкции дренажа. Развитие конструкций дренажа шло приблизительно следующим способом. Сначала пробовали располагать песок на металлической ткани, образующей второе дно. Недостатки такого устройства сказались в засорении ткани зернами песка и в неравномерной промывке.

Следующей ступенью было применение сосков или опрокинутых продырявленных чашечек, вставлявшихся во второе сплошное дно из дерева или железа на некотором расстоянии одна от другой. Такими же сосками снабжались и дренажи, устроенные из системы труб. Засорение мелких отверстий чашечек продолжалось попрежнему, но промывка стала равномернее благодаря тому, что узкие отверстия для входа воды в чашечку сократили живое сечение для прохода воды до долей процента от площади фильтра и ввели значительное сопротивление в дренаж.

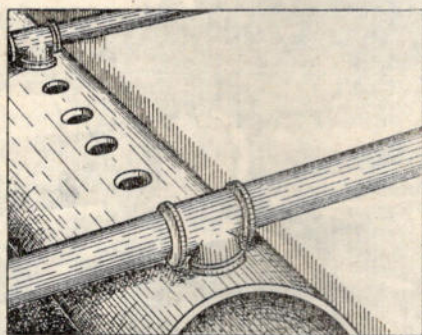
Устранить засорение отверстий сосков удалось только посредством расположения между дренажем и песком слоя надлежаще отсортированного гравия, не пропускавшего песок к дренажу. С введением слоя гравия явилась возможность увеличить отверстия в сосках и даже обойтись совсем без сосков, что сделано в новейших конструкциях.

На черт. 62 показаны разные способы устройства дренажа. Рис. 1 и 6 показывают устройство дренажа с двойным дном; второе продырявленное дно на рис. 1 снабжено особыми сосками со сферической шапочкой, усеянной мелкими отверстиями. На рис. 6 через второе дно пропущены медные трубочки диаметром 10 мм, изогнутые на 190°. Рис. 8 изображает трубчатый дренаж с сосками в ответвлениях. Рис. 10 представляет оригинальную конструкцию дренажа Уилера. Над боковыми каналами здесь расположены отверстия опрокинутой пирамидальной формы, заполненные 5 большими бетонными шарами и несколькими маленькими; такое устройство имеет целью равномерно распределить воду по площади фильтра. Но эта задача достигается хорошо достаточным слоем щебня, поэтому конструкция Уилера не нашла широкого применения. Рис. 9 показывает трубчатый дренаж с магистралью сплюснутого сечения и воздухопроводом для перемешивания песка.

Черт. 79 показывает дренаж фильтров Цинциннати: бетонные каналы перекрыты продырявленными медными полосами, а над ними расширяющийся жолоб, заполняемый щебнем. Размер бетонных каналов в Цинциннати: высота 76 мм и шириной — в среднем 66 мм. Расстояние между осями — 300 мм. Во всем фильтре таких каналов 28. Через каждые 3,80 м каналы соединены 88-мм вертикальными трубами с системой больших чугунных труб, расположенных под дном фильтра. Медные пластины, покрывающие каналы, прикреплены болтами; на каждый погонный метр приходится 205 отверстий диаметром 1,5 мм; сумма площадей всех отверстий составляет 0,3% от площади фильтра. В Миннеаполисе при хорошем устройстве дренажа площадь отверстий составляет всего лишь 0,15% площади песка.



Черт. 79.



Черт. 80.

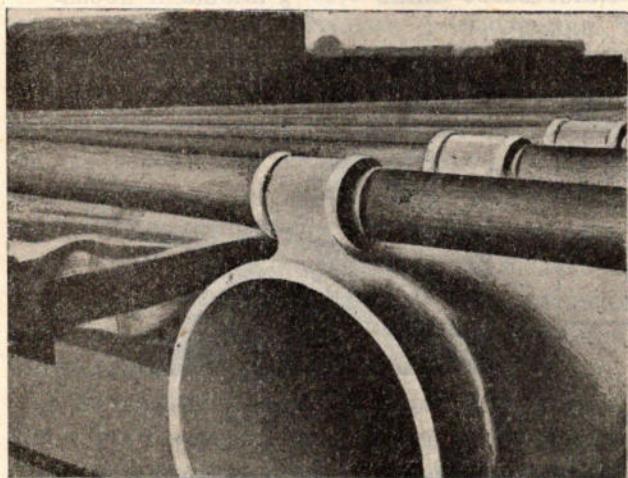
Рис. 2, 3 и 4 черт. 62 представляют общеупотребительный трубчатый дренаж. На рис. 2 отверстия 12,5 мм диаметром расположены внизу в один ряд; на рис. 3 два ряда боковых дырочек 6 мм диаметром.

Опыты, производившиеся в 1928 г., в Детройте, по сообщению А. П. Прудникова, показали, что дыры в дренажных трубочках надо делать очень тщательно. Достаточно оставить в дырочке заусеницу, чтобы сильно уменьшить расход воды из отверстия. Дырочки должны быть сделаны совершенно тождественными по калибру. Кое-где применяются особые бронзовые калиброванные насадки или втулочки, закрепляющиеся в отверстиях дренажных труб.

Развивая дальше эту идею, следует признать, что направление дырочек вбок нежелательно, так как щебень, прилегающий к дренажной трубе, может значительно прикрывать какой-либо своей частью некоторые отверстия дренажных труб и таким образом вызывать неравномерность истечения из дырочек. Чтобы поставить все отверстия в одинаковые условия, очевидно необходимо направлять отверстия вниз, оставив под трубой зазор в 15—20 мм. Если обсыпать

трубу щебнем величиной по 40—60 мм, то под трубой останется свободное пространство. Таким образом возможность загромождения некоторых дырочек прилегающим щебнем будет совершенно исключена.

В последнее время в конструкцию трубчатого дренажа вводится значительное упрощение. Боковые ответвления присоединяются к магистрали, как показано на черт. 80. В обыкновенных водопроводных трубах вырезаются отверстия, в которые вставляются тройники и припаиваются бронзой. К этим тройникам прикрепляются уже с обеих сторон ответвления. Соединение ответвлений с тройниками можно делать раструбным с заделкой раструбов цементным раствором. На черт. 81 показаны чугунные трубы очень большой длины,



Черт. 81.

такая большая длина получилась благодаря спайке двух труб. Спайка бронзой чугунных труб входит в Америке в общее употребление; желательно скорейшее введение ее и у нас. Сваренное место дает большую крепость, чем чугун.

Главная труба помещается в углублении дна таким образом, чтобы припаянные к ней ответвления лежали на дне. Чтобы не оставлять

непромываемых мест в фильтре, следует главную трубу залить в углублении тощим цементным раствором и выравнять под поверхность дна.

Дальнейшее развитие в этом направлении представляет устройство магистрали в Индианополисе. Здесь магистральная труба заменена бетонным каналом 46×79 см, уложенным под дном фильтра. Поверху канала, вровень с дном, в его верхнюю стенку вделана стальная полоса толщиной 16 мм, в ней проделаны отверстия на расстоянии 300 мм центр от центра. В эти отверстия вставлены и закреплены тройники. От тройника в обе стороны отходят две чугунные продырявленные трубы диаметром 75 мм.

Поиски новой лучшей системы дренажа продолжаются и сейчас.

В последние годы делались опыты устройства дренажа с двойным дном, сделанным из деревянных досок, уложенных на ребро с промежутками, равными их толщине, следовательно с живым сечением 50%. Ряды досок покоятся на деревянных лежнях, уложенных

по бетонному дну фильтра (черт. 62 рис. 5). Под деревянные решетки вода подается с края или середины фильтра одним или несколькими отрезками из главной подводящей трубы. На деревянные решетки укладывается слой щебня толщиной в 450 мм. При таком устройстве дренажа некоторое сопротивление получается только в слое щебня, приблизительно, как увидим ниже, 0,10 м.

Сопротивление же в деревянной решетке ничтожно. Опытные фильтры в Сакраменто с таким дренажем давали неудовлетворительную промывку, в Балтиморе же фильтры такой конструкции работают будто бы удовлетворительно уже несколько лет.

В некоторых местах существуют фильтры или префильтры (Днепропетровск) с дренажем ничтожного сопротивления и работают кое-как. Но чтобы при таком дренаже фильтры могли работать всегда вполне удовлетворительно, это не вяжется со всем предыдущим опытом устройства дренажа. С подобного дренажа малого сопротивления начинали устройство скорых фильтров и оставили его ввиду неудовлетворительности промывки. Нужно думать, что при чистом и однородном песке и при таком устройстве фильтров возможна удовлетворительная промывка. Но при загрязнении песка и появлении тенденции к склеиванию зерен однородность пласта песка нарушается, и тогда, при отсутствии сопротивления в дренаже, во время промывки должна обнаружиться неравномерность прохода воды в разных местах, нарушающая промывку. В Балтиморе уже приходилось однажды перебивать весь песок, очевидно из-за недостаточности обычной промывки¹.

О величине сопротивления в песке и подстилающем его щебне, уложенном на деревянной решетке, дает представление следующая таблица из опытов Сакраменто:

Таблица 20.

Величина потери напора в песке и щебне.

Вертикальный подъем воды в минуту в мм	Расход воды в литрах в секунду на 1 кв. м поверхности	Потеря напора в мм водяного столба
75	1,25	760
150	2,50	795
225	3,75	825
300	5,0	845
375	6,25	867
450	7,50	898
525	8,75	910
600	10,00	930

¹ Такой же тип дренажа применен на опытных фильтрах в Ленинграде.

Слой щебня 325 мм, а песка — 850 мм; эффективный размер зерна — 0,42 мм¹.

При скоростях подъема до 1,5 м/мин щебень остается неподвижным. Песок же начинает двигаться уже при скорости подъема 27 мм/мин.

При такой скорости груз весом в 11 кг, с площадью основания 38 кв. см спустился до щебня. Сопротивление в щебне при увеличении скорости возрастает, в песке же оно меняется меньше, потому что песок поднимается, и промежутки между песчинками сильно увеличиваются и напор тратится только на поддержание песка во взвешенном состоянии.

В Сакраменто была сделана попытка цементировать верхний мелкий слой щебня с зернами от 6 до 2,5 мм, толщиной в 75 мм. Сопротивление этого слоя, связанного одной десятой частью цемента, при скорости подъема 450 мм было всего 45 мм, а при скорости 1 200 мм — 150 мм.

В Торонто и других городах Канады уже несколько лет применяют цементированный гравий в скорых фильтрах, но при этом сохраняется распределение продырявленных трубами, и плита гравия лежит на слое более крупного щебня, которым засыпаны дырчатые трубы. Сверху плиты насыпано еще 50 мм крупного песка, чтобы предупредить засорение пор гравиевой плиты мелким песком. Цементная плита составлена из гальки 8,5 мм, смешанной с $\frac{1}{12}$ цемента.

Для удешевления дренажной системы Дженкс устроил ее из керамиковых труб, продырявленных в нижней своей части. Под трубой оставлена узкая свободная полоса. Все пространство сбоку труб и над ними на высоту 200 мм заполнено гравием, цементированным $\frac{1}{10}$ частью цемента. Такая конструкция дает хорошие результаты, но связывающий гравий цемент легко разрушается многими водами, поэтому Дженкс пытается заменить его смолистым веществом («Journal of A. W. W. An.» Декабрь 1926).

Верхний слой мелкого щебня от 6 до 2 мм не поднимается при обычных скоростях промывки, но в Сакраменто он разрушался прорывами больших пузырей воздуха, накопившихся в деревянной решотке благодаря образованию некоторого вакуума при работе фильтров. Выделение воздуха в фильтрах и связанные с ними помехи в работе наблюдаются и в других местах.

Чтобы устранить бурные прорывы воздушных пузырей, в Сакраменто промывку начинают с малой скоростью — 75 мм в течение 6 минут, постепенно вытесняют таким образом воздух, а затем доводят ее до нормальной скорости.

¹ «Engineering News Record», — апрель 16, 1925, стр. 635. «Experience with Wood grating in Sacramento filter H. Jenks».

Слой гравия и песка при правильной работе фильтра никогда не должны перемешиваться. Однако случаи такого перемешивания были известны даже при прежней малой скорости промывки, в особенности при применении для взмучивания песка сжатого воздуха. При ведении промывки с большой скоростью из опасения смешения гравия с песком кое-где стремились закрепить гравий на месте посредством проволочной сетки. В Цинциннати такая сетка была прикреплена болтами к ребрам донных желобов и имела 15 отверстий на 1 кв. см. Скоро обнаружилось, что сетка легко отрывается от болтов и главное разъедается водой. Вода, содержащая даже только полусвязанную углекислоту, разъедает латунную проволоку. Разъединенную сетку пришлось удалить, а прорывы гравия струями промывной воды удалось устранить просто увеличением толщины слоя гравия и увеличением размеров зерен нижнего пласта. Первоначальная толщина слоя была около 200 мм, потом ее увеличили до 350 мм. Экономить на слое гравия не следует, лучше держать толщину этого слоя около 500 мм.

Таблица 21.
Крупность зерен фильтра г. Сакраменто.

Слой	Отверстия решета		Глубина слоя в мм
	Проходит в мм	Задерживается в мм	
1	63	33	150
2	38	19	100
3	19	6	100
4	6	2	100

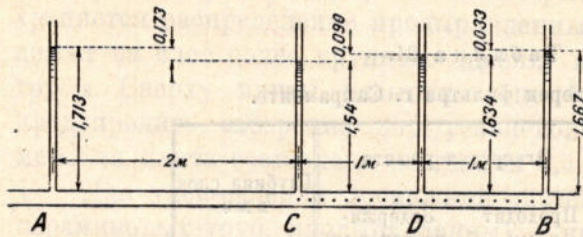
О градациях в величине зерен щебня дает представление таблица 21, указывающая толщину пластов и крупность зерен в фильтрах Сакраменто с дренажем обычного типа из дырчатых труб.

Глава XIII.

РАСЧЕТ ДРЕНАЖА, ПРОМЫВКИ И ЖЕЛОБОВ.

§ 65. Опыты с движением воды в дырчатых трубах. При проектировании дренажа до сих пор пользуются практическими правилами. В специальном и очень известном в Америке сочинении по очистке питьевой воды Элмса имеется только следующее коротенькое замечание о теоретической стороне дела: «где применяется дренаж из труб, признано необходимым употреблять трубы значительных диаметров, чтобы уменьшить потерю на трение» (стр. 201).

Однако при движении воды в продырявленных трубах играет роль не только трение, но и скоростной напор, так как продырявленная труба по характеру движения воды походит на коническую, постепенно



Черт. 82.

расширяющуюся трубу; и в том и в другом случае движение воды постепенно замедляется, следовательно скоростной напор $\frac{v^2}{2g}$ должен восстанавливаться.

Опыты, поставленные для проверки этого предположения в гидравлической лаборатории Харьковского технологического института, вполне подтвердили правильность его; кроме того обнаружили новое явление, а именно, что потеря на трение в продырявленных трубах в несколько раз меньше, чем это следует по нашим теперешним формулам.

На черт. 82 изображена постановка опыта ¹. *AB* 50-мм труба с 40 отверстиями, каждое 5,5 мм в диаметре, по 20 отверстий с каждой стороны, равномерно распределенных между пунктами *C* и *B*, а на длине *AC* труба цельная. Расстояния между *A*, *B*, *C* и *D* показаны

¹ N. Malishewsky, Experiment in the hydraulics underdrains, «Journal of the American Water Works Association» № 6, июнь 1927, а также «Труды водопроводного съезда в Харькове в 1927 г.».

на чертеже. Конец трубы у *B* закрыт пробкой. Вода нагнеталась в трубу насосом через конец *A* и изливалась через боковые отверстия между *C* и *B*.

В первом ряде опытов 21/X 1926 г. через трубу пропускалось 3,333 л в секунду—количество, соответствующее промывной скорости фильтра—60 см/мин. Средние из пяти наблюдений над уровнями в пьезометрических трубках показаны на черт. 82. Уровень воды измерялся от верха трубы. Потеря напора в цельной части трубы длиной 2 м—173 мм. При расходе 3,333 л/сек скорость в 50-мм трубе $v_1 = 1,64$ м/сек.

В пункте *D* теоретическая скорость равна половине указанной цифры, или $v_2 = 0,82$ м/сек. Скоростной напор в пункте *C* $\frac{v_1^2}{2g} = 0,1367$ м, а в пункте *D* $\frac{v_2^2}{2g} = 0,0342$ м.

Разница скоростных напоров между *C* и *D* 0,1367—0,0342 = = 0,1025 метра. Наблюденные уровни показывают возрастание напора к концу продырявленной части трубы почти равное скоростному напору, освободившемуся от уменьшения скорости между *C* и *B*. Потеря напора в продырявленной части трубы оказывает очень малое влияние на высоту напора в пьезометрических трубках. Это ясно показано в таблице 22.

Таблица 22.

Потеря напора в дырчатых трубах.

Наблюденные высоты напоров	Скоростной напор, соответствующий потерянной скорости	Теоретическая потеря напора на трение	Наблюденная потеря напора на трение
Разница напоров между <i>C</i> и <i>D</i> 0,094	0,1025	0,05 6	0,0085
Разница напоров между <i>D</i> и <i>B</i> 0,033	0,0342	0,0061	0,0012

Потери напора на трение были рассчитаны по формуле для попутных и транзитных расходов.

$$dh = \frac{K(Q_1 + qx)dx}{d^5}$$

$$h = K \frac{l}{d^5} (Q_1 + 0,55 Q_2)^2$$

Коэффициент K определен из опыта потери напора в сплошной трубе между пунктами A и C посредством уравнения:

$$0,173 = K \frac{2(0,00333)^2}{0,508^5}; K = 0,0027.$$

Наблюдаемые потери напора на трение в 5—6 раз меньше теоретических, что и является новостью в этом явлении.

Автор предполагает более подробно изучить это явление, но уже достигнутые результаты дают право сказать, что основанием для расчета дренажных труб должна служить не потеря напора на трение, а восстановленный скоростной напор.

В существующих фильтрах нет равномерного распределения воды по всей площади. В центральной трубе, раздающей воду по обе стороны в ответвления, имеется такое же повышение давления к концу, как и в боковых ответвлениях, поэтому наибольшая разность напоров в дренажной сети складывается из разности напоров в магистрали плюс разность напоров одного ответвления. Если мы представим себе квадратный фильтр площадью 16 м^2 с дренажем, устроенным из 350-мм магистрали длиной 4 м и 50-мм боковых ответвлений, по 24 штуки с каждой стороны, то для промывки такого фильтра при обычной скорости 60 см/мин нужен расход 160 л/сек . При таком расходе скорость в 350-мм трубе будет $1,65 \text{ м}$. В 50-мм боковой трубке расход точно соответствует тому, что было в предыдущем опыте — $3,333 \text{ л/сек}$. Восстановленный напор в боковой трубке будет $0,137 \text{ м}$. Таким образом максимальная разница напоров у начала магистрали и в крайних концах двух последних ответвлений достигнет $0,139 + 0,137 = 0,276 \text{ м}$.

Разница в подаче воды через отверстия пропорциональна \sqrt{H} . На сколько изменится подача воды через отверстия, зависит от величины общего напора.

Если предположим, что площадь отверстий дырок во всех боковых ответвлениях составляет $0,25\%$ площади фильтра, тогда напор, необходимый на проталкивание промывной воды через эти дырочки, как указано ниже в таблице, будет $2,12 \text{ м}$. Разность напоров согласно предыдущему $0,276 \text{ м}$, следовательно из первой дырочки вода будет выходить под напором $2,12 \text{ м}$, а из последней $2,12 + 0,276 = 2,396 \text{ м}$.

Скорости вытекания относятся как квадратные корни из этих величин, т. е. как $1,455 : 1,55 = 1,063$. Таким образом разность между наименьшим и наибольшим расходом равна $6,3\%$.

Если бы площадь отверстий в боковых ответвлениях была меньше по отношению к площади фильтра, то напор на продавливание воды через меньшую площадь был бы больше: предположим не $2,12 \text{ м}$, а

3,00 м, тогда относительное значение разности напоров в первой и последней трубках значительно уменьшится: $\sqrt{3} = 1,734$, а $\sqrt{3+0,276} = 1,81$ — разность 0,075, или в процентах к 1,734 — 4,3%. Относительная разность расходов уменьшилась почти в полтора раза.

Какая разность расходов через дырочки допустима без вреда для промывки, это должен сказать опыт существующих фильтров. Повидимому разность между наименьшим и наибольшим расходами допустима до 4—6%. Этот вопрос легко было бы решить, если бы имелись данные о существующих системах дренажа, к сожалению в литературе редко встречается описание деталей дренажа.

§ 66. Новый способ расчета дренажа. В статье «Design of perforated pipe strainer system» («Journal of the A. W. W. A.», декабрь 1927) Элмс сообщает результаты своих опытов по проверке правил проектирования дренажа, установленных в Сакраменто, в Калифорнии Дженксом. Правила Дженкса выражаются в следующем:

1. Отношение длины бокового ответвления к его диаметру не должно превосходить 60.

2. Диаметр отверстий в ответвлениях должен быть между 6 и 13 мм.

3. Расстояние между дырочками в ответвлениях может колебаться от 76 мм при диаметре дырочек 6 мм до 203 мм при диаметре 13 мм.

4. Отношение всей площади дырочек в дренажной системе ко всей площади сечения ответвлений не должно превосходить 0,5 при диаметре дырочек 13 мм и должно опуститься до 0,25 при диаметре дырочек 6 мм.

5. Отношение площади отверстий всех дырочек в дренажной системе к площади фильтра может опуститься до 0,002 или 20 кв. см на 1 кв. м площади фильтра

6. Расстояние между ответвлениями можно доводить до 300 мм для удовлетворительной равномерности распределения, но оно ограничивается имеющимся напором.

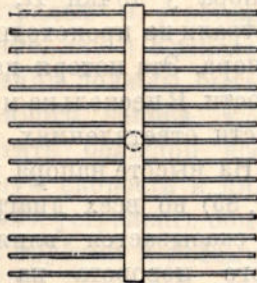
7. Скорость промывки может колебаться от 150 мм до 900 мм в минуту, или 0,15—0,9 куб. м на 1 кв. м поверхности фильтра в минуту при соблюдении вышеуказанных условий.

Опыты в Сакраменто, пишет далее Элмс, ограничились отношениями между ответвлениями и дырочками в них и показали, что можно достигнуть довольно равномерного расхода через дырочки, если соблюдено правильное соотношение между суммой площадей дырочек и поперечным сечением ответвления. Автору кажется, что для дополнения исследования желательно сделать еще один шаг и определить надлежащее отношение между суммой поперечных сечений ответвлений и поперечным сечением магистрали (стр. 665).

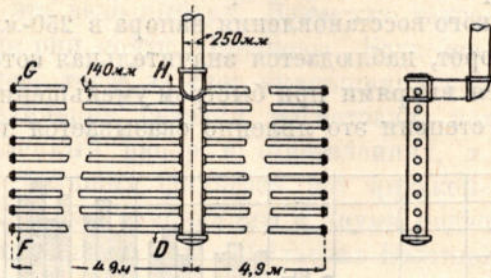
Своими опытами Элмс стремится установить совершенно правильную идею, что и для больших фильтров можно ограничиться одной магистралью, проложенной посредине с ответвлениями длиной в половину ширины фильтра, тогда как теперешняя практика требует двух рядов магистралей, при этом длина ответвлений равна только $\frac{1}{4}$ ширины фильтра.

На черт. 83 показан план и разрез фильтров Балтиморы. Вода подводится к фильтру 600-мм трубой, разветвляющейся на две 500 мм

под прямым углом; каждый из 500-мм отрезков также разветвляется на две 450-мм трубы, переходящих далее в 350-мм. Восемью 350-мм вертикальными отрезками вода подается к полу фильтра и питает со середины восемь отдельных магистралей с ответвлениями. На черт. 84 схематически показана магистраль с ответвлениями. Таким образом большой фильтр на 18 950 куб. м состоит как бы из восьми малых фильтров, каждый со своей отдельной магистралью и ответвлениями.



Черт. 84.

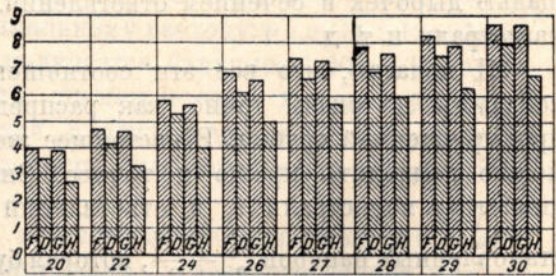


Черт. 85.

Подвал, в котором расположены подводящие трубы, используется как резервуар чистой воды.

В опыте Элмса применена 250-мм магистраль и 90-мм ответвления длиной 4,9 м. На черт. 85 показана вся установка. Опыты производились с разным количеством ответвлений — от 4 до 14 штук. Между осями ответвлений было 247 мм; диаметр дырочек 13 мм; расстояние между их центрами — 197 мм. Площадь фильтра, соответствующая всем 15 ответвлениям, была бы 16,016 кв. м, а на одно ответвление — 1,065 кв. м.

Диаграмма черт. 86, составленная для восьми действующих ответвлений, указывает, что скоростной напор восстанавливается во

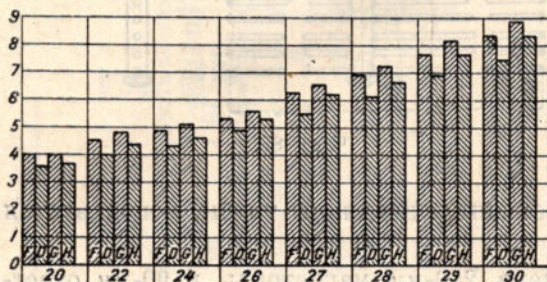


Черт. 86.

всех трубах. В 250-мм магистрали напор в начальной точке H при всех применявшихся скоростях промывки — от 500 до 750 мм — всегда ниже, чем в конечной точке D, точно так же и в ответвлениях напор неизменно повышается к концу. Но точных данных о явлении восстановления скоростного напора из этих опытов получить к сожалению нельзя. Два обстоятельства мешают этому: 1) вода к 250-мм магистрали подводится под прямым углом, поэтому у начала ответвлений явление искажается вихрями, неизбежными при таком крутом

повороте; 2) при небольшом количестве ответвлений (4,6) восстановлению скоростного напора противодействуют потери на вихри, образующиеся благодаря быстрому падению скорости до нуля в 250-мм трубе. Скоростной напор восстанавливается почти целиком только при постепенном убывании скорости, что бывает при большем количестве ответвлений на некоторой длине трубы.

В диаграмме на черт. 87 для четырех действующих ответвлений напор в точке *D* все время остается ниже напора у точки *H*, т. е. никакого восстановления напора в 250-мм магистрали не происходит, а наоборот, наблюдается значительная потеря напора. Эта потеря называется вихрями при быстром уменьшении скорости. В несколько меньшей степени это явление сказывается при шести ответвлениях.



Черт. 87

На высоте напора у *H* (черт. 85) во всех диаграммах сказывается влияние круглого поворота на 90° входной струи, вихри уменьшают напор при повороте, поэтому диаграммы Элмса не дают точной картины напоров в правильно устроенном дренаже.

Для характеристики явления Элмс пользуется четырьмя соотношениями между площадью дырочек и сечением ответвления, суммой сечений и сечением магистрали и т. д.

Я полагаю, что все эти соотношения имели значение тогда, когда мы не знали точно, как распределяется давление по длине продырявленной трубки. В настоящее же время к расчету дренажа можно подходить проще и точнее. Зная скорости при принятых диаметрах магистрали v_1 и ответвлений v_2 , мы находим сумму восстановленных напоров $\frac{v_1^2}{2g} + \frac{v_2^2}{2g}$, которая будет немного больше (до 15%) наибольшей разности напоров в дренажной системе. Если напор у начала магистрали *H*, то отношение $\sqrt{\left(H + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{v_2^2}{2g}\right)} : \sqrt{H}$ даст нам отношение максимального расхода через дырочки к минимальному. Остается теперь на основании опыта с существующими фильтрами установить, какое различие в расходе через крайние дырочки допустимо без вреда для промывки. Повидимому разница до 5% допустима¹.

¹ Предлагаемый автором новый способ расчета напечатан в «J. A. W. W. A.», сентябрь 1928. Математическое исследование этого вопроса американцами см. J. A. W. W. A., май 1929.

В фильтрах Клевеленда скорость в начале $2\frac{1}{2}$ -дюймового ответвления всего лишь около 1 м, следовательно $\frac{v^2}{2g} = \frac{1}{2 \cdot 9,81} = 0,050$ м.

Скорость в начале магистрали около 1,15 м — $\frac{v_1^2}{2g} = 0,067$. Таким образом максимальная разность напоров — 0,117 м.

Как восстановленный напор должен распределяться между магистралью и ответвлением, это дело выбора. Возможно такое положение, как в Клевеленде, где они почти одинаковы. Если же ответвления должны быть длиннее, тогда за счет уменьшения восстановленного напора, т. е. увеличения сечения магистрали, можно допустить большой восстановленный напор в ответвлениях, т. е. большую скорость в них. Для больших фильтров нет никакой надобности устраивать обычную сложную комбинацию с двумя подводящими трубами и восемью магистралями, как в фильтрах Балтимора.

Для промывки этих фильтров с площадью 169 кв. м нужен секундный расход 1,69 куб. м. При диаметре магистрали 1,20 м $v_1 = 1,50$ м, $\frac{v_1^2}{2g} = 0,115$ м. В ответвлении $3\frac{1}{2}$ дюйма длиной 16 футов, обслуживающем площадь 1,065 кв. м, расход равен 10,65 л/сек, $v_2 = 1,69$ м, $\frac{v_2^2}{2g} = 0,146$.

Таким образом неравномерность напора при промывке со скоростью 60 см/мин будет меньше: $0,115 + 0,146 = 0,261$ м. Принимая начальный напор равным 2,12 м, по предыдущей формуле получим отношение максимального к минимальному расходу: $\sqrt{2,38} : \sqrt{2,12} = 1,057$. Диаметр магистрали при этом получается большим 1,20 м. Надо полагать, что можно уменьшить диаметры труб дренажа, допустив большие скорости в них, но для противодействия восстанавливаемому скоростному напору должны быть введены в трубы искусственные сопротивления.

При устройстве в трубах искусственных сопротивлений можно вероятно достигнуть полного погашения скоростного напора и таким образом достигнуть более совершенной равномерности.

Автору за недостатком времени не удалось до сих пор к сожалению проверить это предположение опытом¹.

¹ Можно и другим способом устранить восстановленный скоростной напор. Если сечение продрывленной трубы будет уменьшаться к концу до нуля, тогда скорость по всей длине будет одинаковая, а следовательно почти одинаковым будет и напор. Если дренажная магистраль делается в виде бетонного четырехугольного канала, то уменьшая постепенно к концу его высоту путем поднятия дна почти до нуля, мы легко выполним требуемое условие. Если восстановленный напор будет упразднен совсем, тогда потеря на трение будет уменьшать напор к концу трубы. Можно найти такую форму трубы, когда небольшой восстановленный напор будет весь поглощаться потерей на трение.

Площадь всех отверстий в ответвлениях по принятым нормам должна заключаться в пределах от 0,003 до 0,002 от площади фильтра. На приведенной ниже таблице 23 указаны скорости и напоры, необходимые для образования этих скоростей при разной величине площадей всех дырочек, начиная от 0,01 до 0,001 от площади фильтра. При обычной скорости промывки 0,60 м/мин, или 1 см/сек, скорость в дырочках при площади 0,01 будет в 100 раз больше, т. е. 1 м, а принимая во внимание коэффициент расхода $\mu = 0,62$, действительная скорость будет 1,615 м.

Таблица 23.

Скорости и напоры при разной площади отверстий дырчатых труб.

Площади всех дырочек составляют от площади фильтра в процентах	1	0,5	0,3	0,25	0,2	0,1
Действительные скорости струй в дырочках	1,6511	3,23	5,37	7,55	8,07	16,51
Напоры для образования этих скоростей в метрах	0,133	0,53	1,47	2,12	3,32	13,85

Для достижения равномерности промывки песка необходимо значительное сопротивление в дренажной системе.

Чем больше сопротивление в дренаже, тем меньшее относительное значение имеет неравенство сопротивлений по площади песка и тем следовательно равномернее будет промывка. Практикой размеры необходимого сопротивления в дренаже указаны от 1,5 до 3,3 м. Сопротивление должно выбираться тем больше, чем больше песок обнаруживает стремления к цементации, склеиванию.

§ 67. Расчет напора для промывки фильтра. Рассчитаем, какой напор потребуется для промывки фильтра. Предположим, что площадь дырочек дренажа 0,0025 от площади фильтра, тогда потеря напора в дренаже равна по предыдущей таблице 2,12 м.

Но это потеря не всего дренажа, а потеря только на прохождение воды через дырочки в ответвлениях, при входе же воды в самые ответвления также имеются потери: на образование скорости и на сжатие струи. Если предположим, что скорость в начале ответвления 1,65 м, то потеря на образование этой скорости и на сжатие струи будет:

$$\frac{v^2}{2g} + 0,5 \frac{v^2}{2g} = 0,21 \text{ м.}$$

Потерю напора в слое щебня и гравия и в слое песка возьмем из таблицы, 24, составленной Элмсом на основании его опытов.

Гравий и песок были взяты из реки Огайо. Эффективный размер зерен песка колебался от 0,31 до 0,41 мм и коэффициент однородности от 1,45 до 141. Из последней строки этой таблицы видно, что потеря напора в слое гравия и щебня при скорости промывки 60 см/мин будет около 100 мм, а в слое песка толщиной 75 см около 720 мм. Таким образом все потери, вместе взятые, составят:

$$0,21 + 2,12 + 0,10 + 0,720 = 3,15 \text{ м.}$$

Таблица 24.

Потеря напора в слоях гравия и песка.

Толщина слоя гравия мм	Толщина слоя песка мм	Скорость промывки в минуту мм	Потеря напора:		Подъем песка мм	Примечание
			в гравии	в песке		
190	508	304	0,018	0,392	63,5	
190	508	456	0,027	0,392	124,5	
190	508	608	0,043	0,396	185,8	
190	762	304	0,018	0,591	66,0	
190	762	456	0,027	0,609	167,8	
190	762	608	0,043	0,612	261,0	
355	508	304	0,040	0,430	73,6	
355	508	456	0,061	0,439	144,8	
355	508	608	0,085	0,451	216,0	
355	762	304	0,040	0,646	119,5	
355	762	456	0,061	0,667	234,0	
355	762	608	0,085	0,667	348,0	
457	508	304	0,046	0,466	76,2	
457	508	456	0,067	0,478	158,0	
457	508	608	0,097	0,487	238,8	
457	762	304	0,046	0,680	124,5	
457	762	456	0,067	0,704	260,0	
457	762	608	0,097	0,712	395,0	

К потере напора в фильтре надо прибавить потерю напора в водоводе, подводящем промывную воду.

Эти потери могут достигать очень значительных размеров. Тут нужно учитывать помимо потери на трение на всей длине и потерю на каждом повороте, и на образование скорости при выходе из напорного бака, и на сжатие струи, если нет расширения при входе в трубу. Сумма этих потерь может достигать нескольких метров, так как скорость в подводящих трубах может быть большая — 2 м и выше.

Если площадь отверстий в дренажных трубах будет равна 0,002 площади фильтра, тогда потеря напора на прохождение через отверстия будет 3,32 м и следовательно вся потеря в фильтре возрастет до 4,35 м.

Таковы будут потери при скорости промывки 60 см/мин, если же скорость промывки больше, — а в последнее время стремятся ее увеличить, — тогда все потери возрастут пропорционально квадрату отношения скоростей. Если вместо 60 см скорость промывки будет 90 см, то потеря напора в фильтре возрастет с 4,35 до 10 м.

Новейшие опыты с промывкой фильтров привели к очень важным результатам. Обычная скорость промывки 600 мм в минуту оказывается далеко не всегда дает вполне удовлетворительные результаты. Автору пришлось наблюдать на криворожских фильтрах неравномерное удаление пленки промывкой. В Клевеленде ежегодно летом испытывались затруднения в промывке фильтра. Пробовали применять прехлорирование, более продолжительные промывки, разгребание поверхности граблями, вскапывание ее, промывку песка эжектором для освобождения зерен песка от прилипшего ила, наконец съемку верхнего слоя песка и замену его новым, но все это мало помогало ¹.

Действительное средство для улучшения промывки нашли в увеличении ее скорости. На основании своих опытов Газен дал указания, как менять скорость промывки в зависимости от температуры воды.

Температура воды	Требуемая скорость промывки мм/мин
0—5°	600
5—11°	700
11—17°	800
17—22°	900

Эффективный размер зерен песка был около 0,4 мм.

Гульберт и Геринг на основании опытов с фильтрами гор. Детройта пришли к заключению, что критерием для успешности промывки должна служить не скорость ее, а большая или меньшая степень подъема песка при промывке (percentage of sand expansion).

¹ E. N. — R October 31, 1929. A. New Index for Determining Wash Water Rates in Rapid Filters.

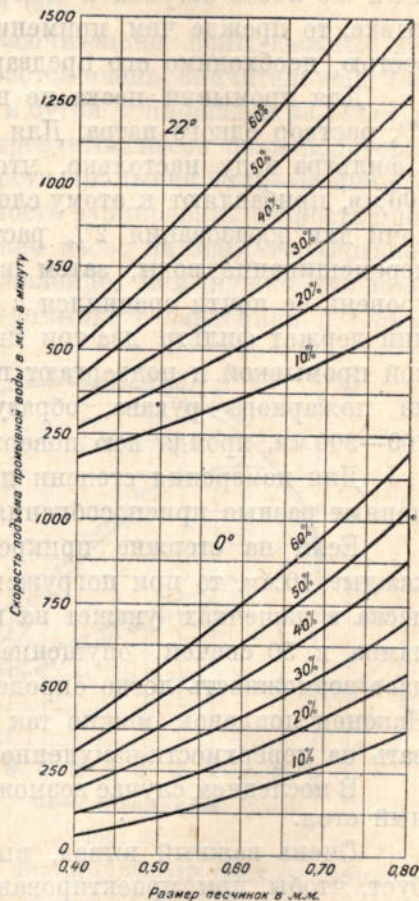
Для успеха промывки слой песка должен подниматься током воды на 50—60% своей толщины. Только при таком энергичном взбалтывании песка происходит хорошая очистка его от прилипшего к зернам ила. Когда переходили от мешалочных фильтров к безмешалочным, то перемешивание песка граблями заменили перемешиванием его усиленным током воды. Очевидно, что сила тока воды должна быть такова, чтобы песчинки приводились в энергичное движение и перетирались в этом движении. Но степень подъема песчинок током воды зависит от температуры воды. Песчинки поддерживаются во взвешенном состоянии трением о воду, сила же трения зависит от вязкости воды — с повышением температуры вязкость воды падает. Таким образом вполне понятно, что летом скорость промывки должна быть больше, чем зимой, чтобы произвести одинаково энергичное взмучивание песка. Кроме того качество органических взвесей в воде, их большая или меньшая способность прилипания к песчинкам может требовать более или менее энергичной промывки песка.

На черт. 87а показана степень расширения (подъема) слоя песка при промывке с разной скоростью при разных размерах песчинок. Нижние кривые составлены при температуре воды 0°, а верхние при 22°C.

Эффективный размер песчинок авторами опытов определялся не десяти, а тридцатипроцентным отсевом. Если песок характеризуется цифрой 0,6 — значит 30% песчинок (по весу) этого образца меньше 0,6 мм, а 70% — больше этой величины.

Из этой таблицы видно, что для того чтобы увеличить объем песка при промывке на 50%, при эффективном размере его 0,6 мм и 0° необходима скорость промывки 625 мм. При 22°C для такого же увеличения объема песка необходима уже скорость около 1000 мм.

Все приведенные выше данные относятся к чистому кварцевому песку удельного веса 2,65. Если песок загрязнен прилипшим к нему



Черт. 87а.

илом, удельный вес его уменьшается, и тогда высота подъема его становится больше. Чистый кварцевый песок обычных размеров не выносится в жолоба, расположенные на обычной высоте 600 мм над уровнем песка, и при усиленной промывке, загрязненный же песок может легко выноситься. При достаточно энергичной промывке песок остается чистым, и опасность выноса его таким образом отпадает. Если же песок загрязнен благодаря предыдущей недостаточной промывке, то прежде чем применить к нему промывку с большой скоростью, необходимо его предварительно промыть особым способом.

Для промывки песка не вынимая его из фильтра рекомендуют 2% раствор едкого натра. Для образования такого раствора спускают с фильтра воду настолько, чтобы над песком оставался слой около 200 мм, прибавляют к этому слою воды едкого натра или другой щелочи для образования 2% раствора, при этом необходимо конечно перемешивание воды, затем воду спускают из фильтра так, чтобы уровень ее почти сравнялся с поверхностью песка, и в таком состоянии держат фильтр два-три дня. Затем удаляют щелочь обыкновенной промывкой и подвергают поверхность песка усиленной промывке из пожарного рукава, образуя струей воды борозды глубиной 200—300 мм, пройдя всю поверхность таким образом раза три.

Для измерения степени подъема песка во время промывки применяют разные приспособления.

Если на стержне прикрепить мелкие медные ложечки через каждые 10 мм, то при погружении такого стержня в воду отложение песка в чашечках укажет на высоту подъема песка. Электрическая лампа в 50 свечей, опущенная в воду на градуированном стержне, дает возможность легко определить поверхность взмученного песка. Наконечник поплавков можно так подобрать по весу, что он будет плавать на поверхности взмученного песка.

В последнем случае возможна передача показания на операционный стол.

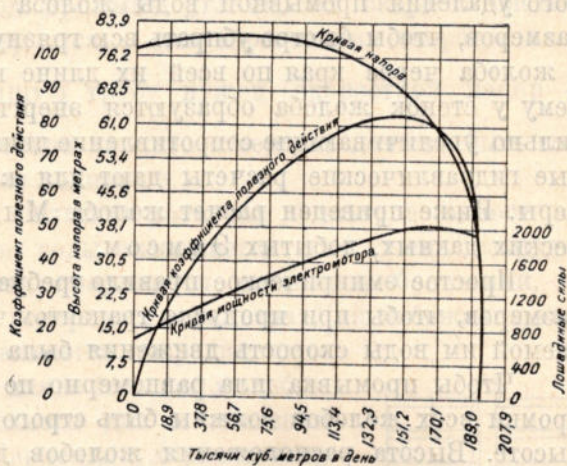
Очень важный вывод, вытекающий из этих исследований, требует, чтобы при проектировании промывных устройств вели расчет не на скорость промывки 600 мм, как это делалось до сих пор, а на гораздо большую скорость 1—1,2 м. Это относится как к дренажу, так и к жолобам, отводящим грязную воду, и к промывным насосам.

Расход воды на промывку с большой скоростью при опытах в Детройте был умеренный — около 4%, а продолжительность промывки всего лишь около 1,5 минуты.

§ 68. Баки и насосы для промывки. Промывка производится иногда прямо из напорного водовода, но это неудобно, так как сопряжено с водяными ударами в сети при выпуске из водовода большого количества воды, необходимого для промывки.

Обыкновенно для промывки применяются или специальные промывные насосы, берущие воду из резервуара чистой воды, или особые напорные резервуары, или башни, откуда вода к фильтрам подается самотеком. Промывные же баки наполняются обыкновенно небольшим специальным насосом. Возможно конечно наполнять промывной бак из напорного трубопровода путем небольшого ответвления, но в этом случае даром теряется большой напор сети.

Для промывки применяются исключительно центробежные насосы, — производительность их оказывается очень значительной. Так для промывки фильтра на 3,785 куб. м в сутки с площадью 33,444 кв. м и при скорости промывки 60 см/мин требуется насос производительностью не менее 334 л/сек, а при скорости промывки 90 см — мощность насоса 500 л/сек; чтобы иметь возможность варьировать скорость промывки, очевидно в данном случае нужен насос на 500 л/сек. Обыкновенно насос рассчитан на большее давление, чем нужно для промывки, положим на 2 атм — тогда при промывке с давлением в 1 атм он подает значительно больше воды: в таком случае можно довольствоваться меньшим насосом. Выбор должен быть сделан по диаграмме насоса. Наши насосы при понижении давления и увеличении подачи обыкновенно поглощают энергии более расчетной величины, поэтому в моторах для этого случая должен быть запас мощности в 10—20%. Американские же насосы так усовершенствованы, что максимальный расход энергии у них совпадает с расчетным расходом, а при увеличении подачи с уменьшением давления потребляемая энергия уменьшается. Обыкновенно применяются одноступенчатые насосы с двухсторонним всасыванием, что уравнивает осевое давление. На черт. 88 изображена диаграмма американского насоса.



При устройстве бака для промывки наполняющий его насос должен быть такой величины, чтобы он успел наполнить бак в промежуток между двумя промывками. Для этого промежутка нужно выбирать не среднее время между промывками, а самое короткое. В самом худшем случае, когда вода в реке будет очень мутна, число промывок фильтра может дойти до 4—5 раз в сутки.

Если имеется, скажем, шесть отдельных единиц фильтров, то общее число промывок достигнет 24—30 в сутки; таким образом для наполнения промывного бака остается не более 40—50 минут.

Объем бака должен быть достаточен по крайней мере для двух промывок, считая каждую по 5 минут. В нашем примере этот объем должен быть не менее $0,334 \times 5 \times 60 \times 2 = 200$ куб. м, или 5,3% от суточной производительности фильтра.

Высота расположения дна промывного бака над жолобами фильтров должна быть выбрана с учетом всех гидравлических потерь напора. Обыкновенно она бывала 6—10 м, лучше делать высоту от 10 и до 20 м. Баки делают не очень высокими, чтобы меньше менялся напор во время промывки. Материалом для баков служит железо и железобетон.

§ 69. Жолоба для отвода промывной воды. Промывная вода, поднимаясь через песок, смывает с него верхнюю илистую пленку и уносит ил через промывные жолоба в канализацию. Для правильного удаления промывной воды жолоба должны быть достаточных размеров, чтобы быстро убирать всю грязную воду. Вода переливается в жолоба через края по всей их длине в виде водопада, благодаря чему у стенок жолоба образуются энергичные вихревые движения, сильно увеличивающие сопротивление движению воды, поэтому обычные гидравлические расчеты дают для жолобов недостаточные размеры. Ниже приведен расчет жолоба Миллером с учетом практических данных, добытых Элмсом.

Простое эмпирическое правило требует для сечения жолоба таких размеров, чтобы при пропуске транзитом через жолоб всей обслуживаемой им воды скорость движения была около 0,6 м/сек.

Чтобы промывка шла равномерно по всей поверхности фильтра, кромки всех жолобов должны быть строго горизонтальны и на одной высоте. Высота расположения жолобов должна быть такова, чтобы муть легко попадала в них, но не попадал песок.

Практическое правило для высоты расположения кромок жолобов гласит: высота расположения кромок жолобов над поверхностью песка должна быть равна скорости вертикального подъема промывной воды в минуту, — если промывка ведется со скоростью 30 см/мин, то и кромки жолобов должны быть на этой высоте от песка, при скорости в 60 см/мин и высота кромок должна быть 60 см¹.

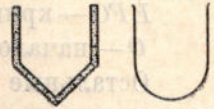
Далее жолоба должны быть расположены достаточно часто, чтобы путь для грязной воды был недлин. Между кромками жолобов расстояние не должно быть больше 2,13 м; обычные размеры — от 1,5 до 2 м, — лучше держаться ближе к низшему пределу.

¹ Повышение скорости промывки летом при теплой воде не требует увеличения высоты расположения жолоба.

Форма жолоба обычно представляет прямоугольное сечение с закругленным или с обеих сторон скошенным дном (черт 89). Форма дна приспособляется к тому, чтобы облегчить вымывание илистой пленки из-под жолоба.

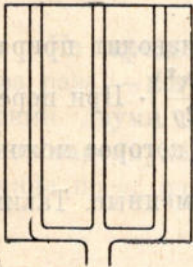
В малых фильтрах два-три параллельных жолоба могут соединяться у передней стены и вливаться в отводящую трубу. Размер отводящей трубы и высота расположения ее приемного отверстия должны быть так рассчитаны, чтобы удаление воды происходило быстро и без подпора.

Так как при промывке приходится иметь дело с очень большими количествами воды, то, чтобы не увеличивать чрезмерно водоводов, приходится допускать значительные скорости — около 2 м и более. А при скорости 2 м/сек уже на образование только скорости требуется высота напора



Черт. 89.

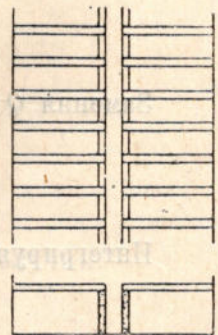
$\frac{v^2}{2g}$ около 200 мм. К выходному отверстию при расположении жолобов по черт. 90 боковые струи подходят под прямыми углами, их скорость следовательно теряется, и для образования скорости входа в отводящую трубу нужен скоростной напор $\frac{v^2}{2g}$, следовательно входное отверстие должно быть соответственно понижено.



Черт. 90.

При больших размерах фильтров односторонний отвод воды оказывается уже очень затруднительным, размеры жолобов получаются настолько большими, что чрезмерно загромождают поверхность фильтра. Для избежания этого в больших фильтрах устраивается посредине площади фильтра по всей его длине большой жолоб, — канал, достигающий до самого дна и делящий фильтр на две половины. Перпендикулярно к этому жолобу в обе стороны и располагаются мелкие жолоба (черт. 91).

Наиболее подходящим материалом для жолобов является сталь или железо, применяется также и железобетон. Стальные жолоба меньше всего загромождают поверхность фильтра, и кромки их легко поддаются исправлениям. Вначале жолоб может быть мелкий и только к концу должен достигнуть расчетной высоты.



Черт. 91.

§ 70. Расчет жолоба. Приведем здесь расчет жолоба, данный Миллером. Предположим, что *ABCD* представляет жолоб прямоу-

гольного сечения. Вода переливается в жолоб через кромку BC , расположенную горизонтально (черт. 92).

Обозначим через Q_1 все количество воды, получаемое жолобом в кубических футах в секунду;

Q — количество, проходящее через сечение F ;

v — горизонтальная скорость в сечении F в футах;

v_2 — » » » в конце жолоба у точки D ;

EFG — кривая поверхности воды в жолобе;

O — начало координат.

Остальные обозначения понятны из чертежа.



Черт. 92.

Количество воды Q , падающее на высоту dy , производит приращение кинетической энергии или живой силы: $\lambda d \left(\frac{Qv^2}{2g} \right)$. При передвижении на dx преодолевается сопротивление трения, которое можно выразить через $\lambda \xi d \left(\frac{Qv^2}{2g} \right)$. Здесь и Q и v — оба переменные. Таким образом можно написать уравнение работы:

$$-\lambda Q dy = \lambda d \left(\frac{Qv^2}{2g} \right) + \lambda \xi d \left(\frac{Qv^2}{2g} \right),$$

или после сокращения на λ :

$$-Q dy = (1 + \xi) d \left(\frac{Qv^2}{2g} \right).$$

Заменяя Q через $Q_1 \frac{x}{l}$, получим:

$$-Q_1 \frac{x}{l} dy = (1 + \xi) d \left(\frac{Q_1 v^2}{2g} \right).$$

Интегрируя это выражение по всей длине корыта, получим:

$$-\int_{(y_1 + 11g\alpha)}^{y_2} Q_1 \frac{x}{l} dy Q_1 \frac{x}{l} dy = (1 + \xi) \frac{Q_1 v^2}{2g}.$$

$\int_{(y_1 + 11g\alpha)}^{y_2} x dx$ представляет собой площадь $EFGH$, которая выра-

жается через $m(y_1 + l \operatorname{tg} \alpha - y_2)l$, причем m будет равно $^{2}/_3$, если кривую поверхности воды примем за параболу. Подставляя в предыдущее интегральное уравнение это выражение, получим:

$$\frac{Q_1}{l} m (y_1 + l \operatorname{tg} \alpha - y_2) l = (1 + \xi) \frac{Q_1 v_2^2}{2g},$$

или

$$y_1 + l \operatorname{tg} \alpha - y_2 = \frac{1 + \xi}{m} \cdot \frac{v_2^2}{2g}.$$

Но так как

$$v_2 = \frac{Q_1}{by_2},$$

получим:

$$y_1 + l \operatorname{tg} \alpha - y_2 = \frac{1 + \xi}{m} \left(\frac{Q_1}{by_2} \right)^2 \frac{1}{2g}.$$

Из предыдущего уравнения видно, что Q_1 становится нулем два раза, — когда $y_2 = y_1 + l \operatorname{tg} \alpha$ и когда $y_2 = 0$. Следовательно между этими двумя значениями y_2 находится такое, при котором Q_1 достигает максимума. Чтобы найти его, дифференцируем предыдущее уравнение по y_2 , считая y_1 постоянным:

$$-1 = \frac{1 + \xi}{2mg} 2 \left(\frac{Q_1}{by_2} \right) \frac{1}{b} \left(\frac{dQ_1}{dy_2} y_2 - Q_1 \right) \frac{1}{y_2^2}.$$

Для получения максимума полагаем производную

$$\frac{dQ_1}{dy_2} = 0,$$

тогда уравнение примет вид:

$$1 = \frac{1 + \xi}{mg} \cdot \frac{Q_1^2}{b^2 y_2^3}.$$

Отсюда

$$Q_1 = \sqrt{\frac{mg}{1 + \xi}} b y_2^{3/2}.$$

Исключая Q_1 из двух предыдущих уравнений, получим:

$$y_2 = ^{2}/_3 (y_1 + l \operatorname{tg} \alpha).$$

Подставляя найденное выражение для y_2 в уравнение для Q_1 , получим:

$$Q_1 = \sqrt{\frac{8}{27} \frac{mg}{1 + \xi}} b (y_1 + l \operatorname{tg} \alpha)^{3/4}.$$

Применяя это выражение к практическим данным, полученным Элмсом на очистной станции в Цинциннати, Миллер нашел для ξ величину 0,75 и заменяя $m = 2/3$, получим:

$$Q_1 = 1,91 (y_1 + l \operatorname{tg} \alpha)^{3/2} b.$$

Для метрических мер это выражение примет вид:

$$Q_1 = 1,05 (y_1 + l \operatorname{tg} \alpha)^{3/2} b = 1,05 bh^{3/2},$$

где h — высота жолоба, равная $y_1 + l \operatorname{tg} \alpha$.

Практическое правило, как мы видели, требует, чтобы скорость в жолобе при пропуске им — полным сечением — всего количества воды была 0,6 м.

Математически выраженное, это правило примет вид:

$$Q = 0,6bh,$$

или

$$Q = \frac{0,6}{\sqrt{h}} bh^{3/2}.$$

Высота жолоба 0,35—0,40 м; если принять 0,36, тогда

$$Q = 1,00 bh^{3/2}.$$

Эта величина близка к найденной вычислением.

Важно отметить, что y_2 при максимальном расходе равняется $2/3$ высоты жолоба. От этого уровня и нужно исходить при определении высоты расположения оси отверстия выпускной трубы. Она должна лежать ниже этого уровня на высоту скоростного напора; сжатие струи при входе в трубу должно быть устранено соответствующим расширением.

Диаметр отводящей трубы и общий уклон ее нужно выбирать с запасом. Если она будет рассчитана на расход воды при скорости промывки 60 см/мин, то уже большей скорости промывки применить нельзя будет, так как в жолобах получится подпор. При эксплуатации же может оказаться, что выгоднее применять большую скорость промывки, поэтому отводящую трубу и ее общий уклон надо проектировать на скорость промывки до 100 см/мин. Такой же запас необходим и для жолобов.

Глава XIV.

РЕГУЛИРУЮЩИЕ И КОНТРОЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ.

§ 71. Регуляторы расхода. При медленной фильтрации применяется еще кое-где ручное регулирование задвижками действия фильтра. При скорой фильтрации ручное регулирование недопустимо вследствие быстрого нарастания сопротивления в фильтре и необходимости поэтому слишком частого поворачивания шпинделя задвижек. Кроме того ручное регулирование привело бы к резким переменам нагрузки, что очень вредно для фильтра. При быстром увеличении скорости фильтрации пленка может быть порвана, и через прорывы пройдет неочищенная вода. При быстром уменьшении скорости фильтрации воздух, выделившийся в фильтре, благодаря образованию вакуума в песке, при новой нагрузке, когда вакуум исчезнет, станет прорываться через пленку фильтра; повреждения пленки поведут к пропуску неочищенной воды.

Всякие перемены в скорости фильтрации должны производиться постепенно. Нормально фильтр должен работать при постоянной нагрузке; постоянство скорости фильтрации поддерживается регуляторами расхода. Лучшие регуляторы допускают колебания в нагрузке не более 2—3%. Потеря напора в самом регуляторе обыкновенно 150—200 мм.

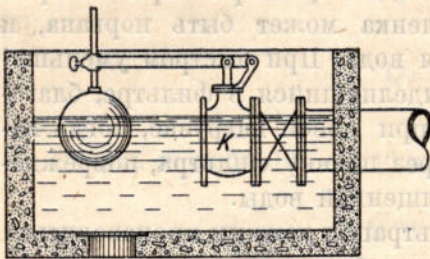
Перестановка регулятора на новую скорость должна производиться без остановки действия фильтра. Если регулятор не калиброван на фабрике, то калибрование его легко произвести на месте, так как резервуар фильтра представляет собой хороший мерный сосуд. Прекратив поступление сырой воды и заметив время, в течение которого уровень в фильтре понизился на 10—20 см, по объему ушедшей воды легко определить скорость фильтрации при разной установке регулятора.

Таким же способом действие регулятора необходимо время от времени проверять при эксплуатации фильтров.

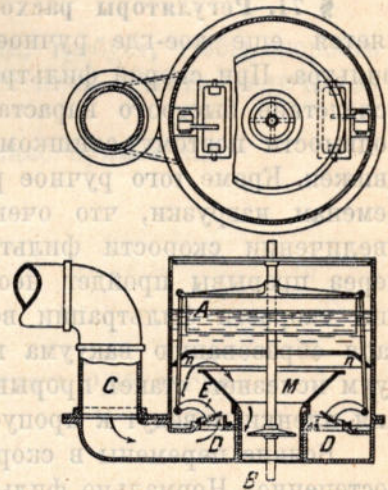
Простейший тип регулятора представляет собой ящик с поплавковым клапаном и калиброванным отверстием в дне (черт. 93). Какой бы ни был напор на фильтре, поплавок *К* не пропустит большого количества воды, так как при подъеме уровня воды в ящике поплавки поднимаются и прикрывают клапан. Изменение

скорости фильтрации можно производить перестановкой поплавка или переменной дисков в донном отверстии. Диски можно сделать наподобие печных вьюшек, так что для перемены скорости надо или вложить новый кольчатый диск и уменьшить сечение, или вынуть один из лежащих и увеличить сечение.

Более точный аппарат представляет собой регулятор Вестона (черт. 94). В круглом резервуаре помещается поплавок *A*, неподвижно соединенный с диском *B*, образующим в спускной трубе кольцевые отверстия определенных размеров, при поднимании и опускании поплавок вследствие изменения уровня воды в резервуаре, расстояние между уровнем воды и сливным кольцевым отверстием остается постоянным: таким образом вода всегда изливается под



Черт. 93.



Черт. 94.

одним и тем же напором. В предыдущем регуляторе высота напора меняется, но эти изменения соответственным устройством рычага могут быть доведены до очень малой величины. При колебании уровня на 60 мм и глубине воды 50 см отношение наибольшего расхода к наименьшему будет: $\sqrt{56} : \sqrt{50} = 7,5 : 7,07 = 1,06$, т. е. точность регулятора 6%.

Труба *C* подводит очищенную воду, поступающую из фильтра в аппарат Вестона, через отверстие *E* с дроссельным клапаном. При усилении притока воды в резервуар поплавок *A* поднимается вверх и посредством тяг *E* прикрывает клапаны и таким образом уменьшает приток. При уменьшении притока поплавок *A* опускается и открывает клапаны. Диафрагма *m* служит для успокоения и направления струи в выпускную трубку через воронку *M*.

Диск *B* можно менять и таким образом увеличивать или уменьшать скорость фильтрации. Однако перемена диска не может быть произведена без остановки фильтра.

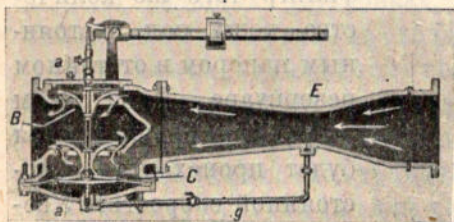
Описанные регуляторы требуют изливания в открытый канал,

где было бы атмосферное давление; их нельзя присоединять к закрытой трубе, в которой может образоваться вакуум.

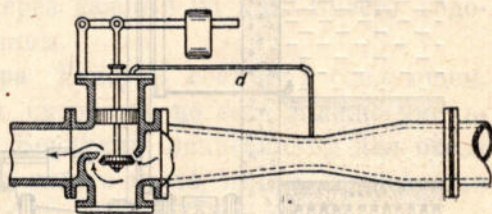
Регуляторы типа Вентури, наоборот, вставляются в водовод, который должен быть всегда наполнен водой. Эти регуляторы не требуют для себя лишнего расхода высоты, в этом их крупное преимущество перед двумя описанными типами.

«Simplex Rate Controller» (черт. 95) представляет собой регулятор типа Вентури.

Труба Вентури вставляется прямо в водовод, отводящий фильтрат в резервуар чистой воды. Расширение на трубе *aa*, представляющее клапанную коробку, включает в себе двойной тарельчатый разгруженный клапан *B*, прикрепленный к эластической диафрагме *cc*. Пространство под диафрагмой соединено трубкой *g* с суженной частью трубы Вентури. При увеличении скорости притока давление в *E* понижается, и это понижение давления передается по трубке *g* под диафрагму *cc* и заставляет ее опуститься и прикрыть клапан *B*. При уменьшении скорости и увеличении давления в *E* про-



Черт. 95.



Черт. 96.

исходит обратное движение диафрагмы и клапана. Клапан *B* устанавливается на определенную скорость фильтрации. Стержень клапана выходит вверх через сальник и соединен рычагом с грузом. Передвижение груза по рычагу с делениями позволяет производить перестановку клапана *B*, не останавливая фильтра. Стержень может быть выпущен вверх через операционную площадку, и управление таким образом может производиться с площадки.

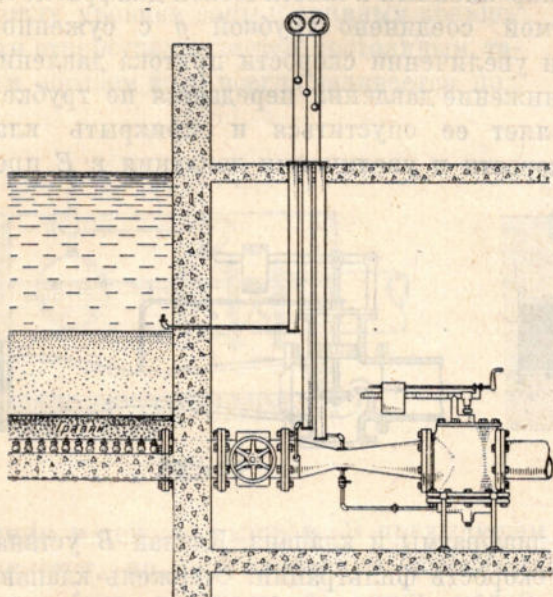
Другая конструкция того же типа регулятора показана на черт. 96. Здесь простой дисковый клапан, а разгружается он поршнем, расположенным над клапаном в особом цилиндре, соединенном с горлом трубы Вентури трубкой *d*. Существует очень много конструкций регуляторов расхода; они описаны в докладе В. Т. Турчиновича I/XIII водопроводному съезду в Баку в 1925 г.

В последнее время регуляторы типа Вентури стали вытеснять все другие благодаря их компактности и большой точности. Они кроме того дают возможность точно измерять расход фильтра и

удобно соединяются с самопишущими приборами, устанавливаемыми на операционном столе.

На черт. 97 изображена схематически установка регулятора Вентури с передачей показаний на операционный стол. Один циферблат показывает скорость фильтрации, а другой — потерю напора в фильтре.

Уровень воды в фильтрах обыкновенно держится на одной высоте. Если допустить переменный уровень, тогда регулирование фильтрации можно устроить очень просто. В трубе, отводящей фильтрат, вставляется такая диафрагма, чтобы при отсутствии пленки на поверхности песка и на низшем уровне воды в фильтре она



Черт. 97.

пропускала требуемое количество воды. В трубу, подающую сырую воду на фильтр, вставляется другая диафрагма, рассчитанная на подачу на фильтр того же количества воды под постоянным напором в отстойном резервуаре. При таком устройстве фильтрация будет происходить с постоянной скоростью. Увеличение сопротивления в фильтре вследствие уплотнения пленки вызовет только повышение уровня воды в фильтре, точно равное расходуемой высоте напора. Начальное сопротивление фильтра до образования пленки обычно — от 0,3 до 0,6 м, а наибольшее допустимое сопротивление — 3—3,6 м. Разность этих двух величин и определит высоту колебания воды в фильтре.

Чтобы избежать регулирования скорости промывки от руки при посредстве задвижки и на промывной трубе от резервуара или насоса, ставится такой же регулятор расхода, как и для регулирования скорости фильтрации. Элмс рекомендует установку диафрагмы в главной промывной трубе, рассчитанной на определенную скорость промывки, но этой цели легче достигнуть, установив для задвижки определенное открытие. Каково должно быть это открытие, легко определить, измеряя скорость подъема промывной воды в фильтре при закрытом спуске грязной воды.

В больших установках иногда ставят еще общий регулятор для всех фильтров, которым можно было бы изменять скорость фильтрации одновременно на всех фильтрах.

§ 72. Измерительные приборы. Водомер Вентури. Показатели потери напора. Показатели уровней воды. Для правильного ведения работы фильтров необходимо точно знать количество воды, проходящее в каждый данный момент через отстойники, фильтры, собирающееся в резервуаре чистой воды и подаваемое в город. Точный количественный учет дает возможность легко уловить утечку, как только она где-либо появится, и таким образом свести до минимума расход на собственные нужды очистной станции.

Для измерения больших количеств воды лучше всего водомер Вентури. При хорошей установке и уходе он дает точность до 1—2%. Для мелких установок можно применять разнообразные водомеры. Водомеры Вентури снабжаются самопишущими приборами. Желательна установка самопишущих приборов и на других водомерах.

В больших установках, где имеется ряд отстойников, важно знать, сколько воды проходит через каждый из них. Вместо водомеров иногда применяются водосливы.

Принцип действия водомера Вентури состоит в следующем. В суженном месте увеличивается скорость, но зато должно уменьшиться давление. По уравнению Бернулли, написанному для входа в сужение Вентури и для самого узкого места, имеем, пренебрегая трением:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}.$$

Но так как ось трубы горизонтальна, то $Z_1 = Z_2$, и уравнение упрощается:

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}.$$

$$V_2 = \frac{Q}{\omega_2}, \quad V_1 = \frac{Q}{\omega_1}.$$

Вставляя эти значения, получим:

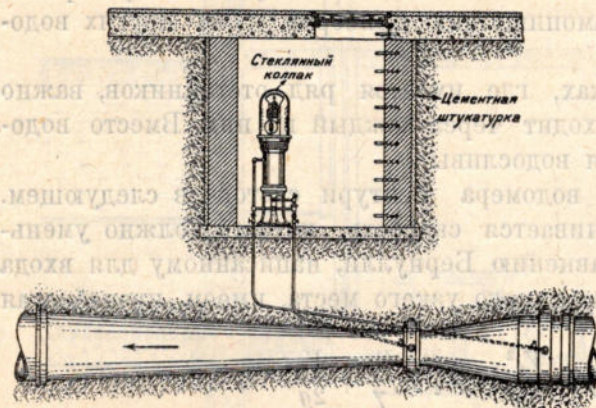
$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{Q^2}{2g} \left(\frac{1}{\omega_2^2} - \frac{1}{\omega_1^2} \right).$$

Так как площади сечений известны, то, обозначая известные величины через K , найдем:

$$Q = K \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{\gamma}} = K \sqrt{h_1 - h_2}.$$

Если регистрирующий аппарат расположен ниже высоты напора в водомере Вентури, то давление воды в трубках, идущих из двух мест водомера (черт. 98), непосредственно приводит в действие самопишущий прибор. Если же давление в водомере не доходит до самопишущего прибора, то употребляются поплавки с противовесами, поднимающиеся и опускающиеся в зависимости от уровней в пьезометрических трубках. Нити от поплавков обвиваются вокруг вала, к которому прикреплен дифференциальный механизм, заключенный в коробку.

При непосредственной передаче давления от водомера в аппарат обыкновенно применяется сообщающийся сосуд с ртутью, соединенный одной частью с широкой трубой Вентури, а другой — с сужением. Поплавки из тяжелого металла плавают в ртути, поднимаясь и опускаясь соответственно переменам давления в пьезометрических трубках; ртуть же в это время переливается из одной



Черт. 98.

части сосуда в другую. Движение поплавков посредством зубчатой рейки и шестерни передается циферблату и перу самопишущего прибора. Тут же обыкновенно находится и интегратор, подсчитывающий все количество пропущенной воды. Внешний вид самопишущего прибора показан на черт. 99. Регулирующий механизм требует смазки и должен содержаться в

чистоте. В пьезометрических трубках может скопиться воздух, — для его выпуска, а также для промывки трубок имеются краны. К регулятору расхода типа Вентури легко приспособить регистрирующий прибор на операционном столе: это дает возможность точнее следить за работой фильтра.

Во время действия фильтра важно наблюдать за потерей напора в нем. Самое простое устройство для этого состоит в постановке стояка на трубе, отводящей фильтрат, с опущенным в этот стояк поплавком с противовесом, движущимся по рейке с делениями. Таким же поплавком с противовесом и на той же рейке показывается уровень в фильтре. Разность показаний и дает потерю напора. С течением времени нити растягиваются, и показания становятся неверными, — необходимо их проверять. Следует применять шелковые шнурки или шнурки из тонкой медной проволоки.

Во время промывки фильтра в стояк может выплескиваться вода благодаря водяному удару, — для избежания этого следует стояк заставить за запорной задвижкой или же помещать задвижку внизу стояка.

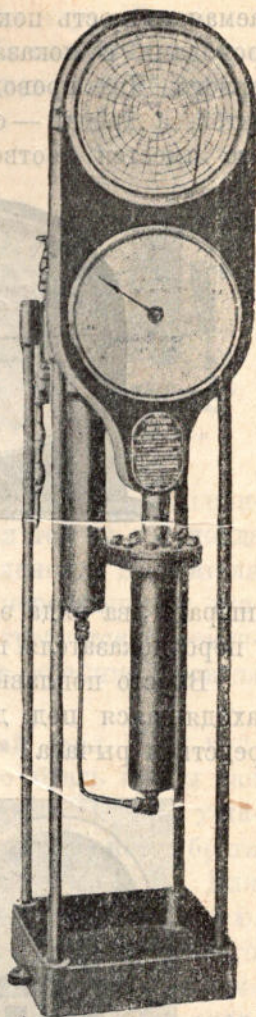
Более совершенное устройство показателя потери напора состоит обыкновенно из циферблата (черт. 100). Оси циферблата движение передается посредством зубчатой передачи от нити, имеющей на одном конце поплавков от уровня воды в фильтре, а на другом поплавков от уровня в стояке на выходной трубе. Вертикальные трубы, сообщающиеся — первая с водой над песком фильтра, а вторая — с выходящей трубой, располагаются рядом.

Для показания разности напоров применяется ртутный манометр. Посредством вакуум-насоса одно колено манометра заполняется водой сверху фильтра, а другие — водой из отводящей трубы; разность высоты ртутных столбов в обоих коленах и показывает потерю напора.

Приборы, показывающие потерю напора, располагаются обыкновенно на операционном столе.

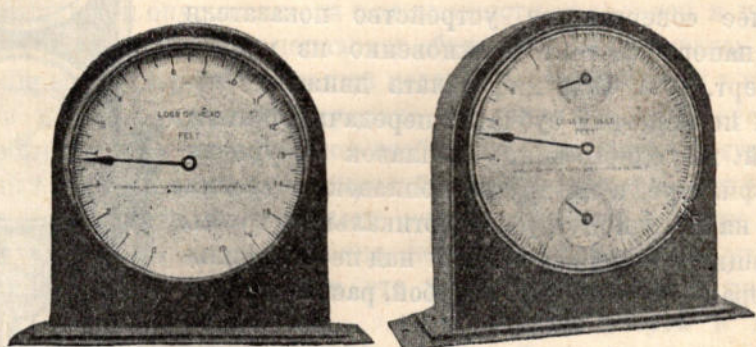
Для ясного представления о работе всей очистной станции необходимо знать уровни воды во всех резервуарах, через которые последовательно проходит вода в процессе очистки. Показатели уровней воды должны быть собраны в одном месте в фильтровальном здании, чтобы вся картина расположения уровней воды была видна с одного взгляда. Желательна установка самопишущих приборов для непрерывной регистрации колебания уровней.

Передача на расстояние показаний уровней воды производится обыкновенно электрическими приборами. Прибор «George E. Winslow Electrical Indicating and Recording Apparatus», хорошо выполняющий свое назначение, состоит из поплавка, помещенного в трубе, сообщающейся с измеряемым уровнем воды. Движение поплавка вверх и вниз передается через шнур и противовес колесу передаточного аппарата, имеющего два ряда контактов. Одни из них замыкаются при подъеме поплавка, а другие — при опускании. Контакты расположены на таком расстоянии один от другого, какого требует же-



Черт. 99.

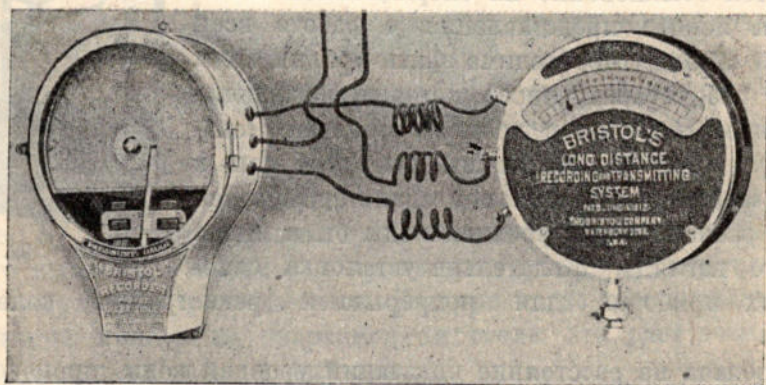
лаемая точность показаний. Передаточный аппарат сообщается тремя проводами с показателем, установленным на любом расстоянии от первого. Два провода сообщаются каждый со своими рядами контактов, а третий — общий обратный провод. В показательном аппарате имеется соответственно двум рядам контактов в передаточном



Черт. 100.

аппарате два ряда электромагнитов. При замыкании контактов стрелка и перо показателя приводятся в соответствующее движение.

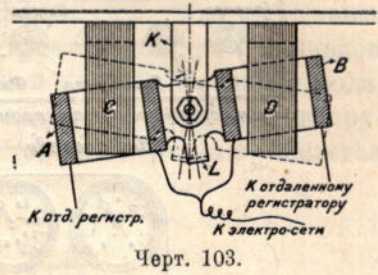
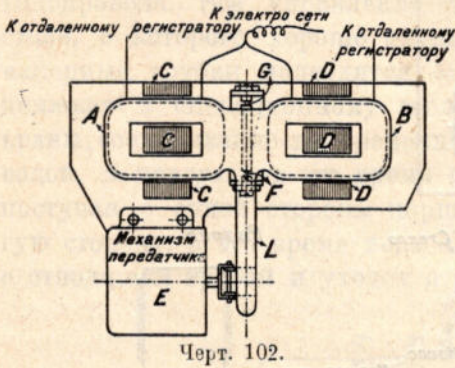
Вместо поплавка применяется также чувствительная диафрагма, находящаяся под давлением воды; она передает свои движения посредством рычага



Черт. 101.

На черт. 101, 102 и 103 показан электрический аппарат для передачи показаний уровней воды на далекое расстояние фирмы Bristol Co. В воду резервуара опущен на определенную глубину эластичный пустотелый шарик. Давление воды на шарик передается через медную трубку передаточному механизму. В этом механизме находится пара соленоидов (фиг. 102), уравновешенных на оси *GF*.

Изменение давления воздуха в шарике передается через *E*, где помещается скрученная напорная трубка, рычагу *L*; соленоид поворачивается (черт. 103). Вследствие изменения положения соленоида



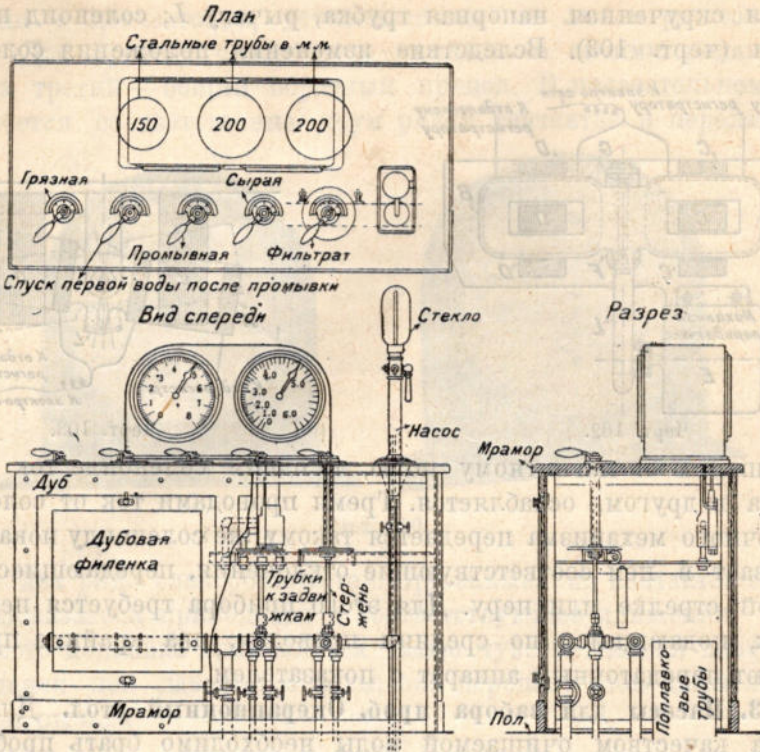
по отношению к магнитному полю, в одном соленоиде ток усиливается, а в другом, ослабляется. Тремя проводами ток от соленоида передаточного механизма передается такому же соленоиду показателя и вызывает в нем соответствующие отклонения, передающиеся указательной стрелке или перу. Для этого прибора требуется переменный ток, подающийся по средним проводам; два крайние провода соединяют передаточный аппарат с показателем.

§ 73. Насосы для забора проб. Операционный стол. Для контроля за качеством очищаемой воды необходимо брать пробы как из резервуара чистой воды, так и из каждого фильтра. Краны, установленные на подающей и отводящей трубах, дают возможность брать образцы поступающей на фильтр и уходящей из него воды. Для забора воды из кранов необходимо спускаться в трубную галерею. Для устранения этого в больших установках обыкновенно у каждого фильтра располагают маленький насос, забирающий воду из отводящей трубы фильтра и подающий ее через кран на операционный стол. Насос приводится в движение гидравлической или электрической силой и пускается и останавливается кнопками, расположенными на столе. На столе должно быть приспособление для отвода воды.

В некоторых случаях сырая вода и фильтрат пропускаются через стеклянные трубки, расположенные рядом, что дает возможность очень удобно наблюдать за работой фильтров. Эти трубки можно расположить на операционном столе, устроив их, как сифонные трубки.

Для управления промывкой фильтра необходимо иметь перед глазами поверхность фильтра, следовательно все приборы, управляющие задвижками фильтра, должны быть расположены вверху на операционной площадке.

В мелких установках, где задвижки открываются и закрываются

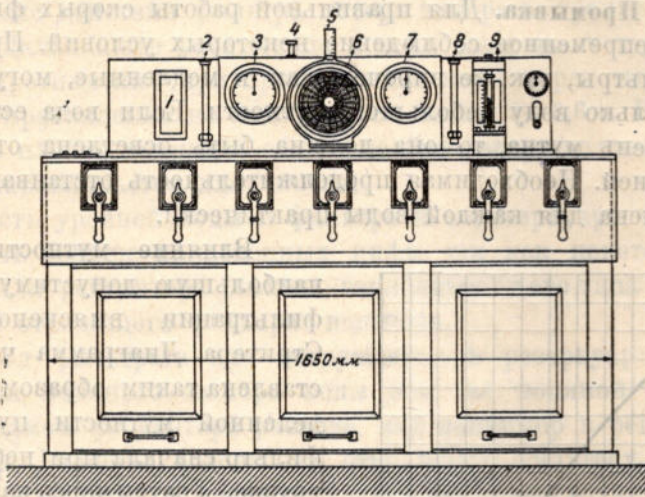


Черт. 104.



Черт. 105. В метких установках, где метки открываются и закрываются

вручную, шпинделя от задвижек поднимаются выше операционной площадки, снабжаются маховичками и помещаются в колонках. В крупных установках задвижками управляют посредством напорного водопровода. Все управление сосредоточивается на операционном столе, с которого хорошо видна вся поверхность фильтра. Водяные напорные трубки подводятся от гидравлических цилиндров на задвижках к операционному столу, где помещаются четырехходовые краны, соединяющие попеременно одну сторону цилиндра с напорной водой, а другую — в это время с отводящей трубой. Напорная вода, поступающая с одной стороны поршня, заставляет его двигаться в другую сторону; в это время вода с другой стороны поршня сообщается с отводящей трубой и уходит в канализацию.



Черт. 106.

На черт. 104 показан план, фасад и разрезы операционного стола. Снизу подходят водяные трубки для гидравлического управления задвижками. Пять рукояток на столе управляют пятью задвижками; первая слева открывает канализационную трубу, вторая — для спуска первых порций плохо очищенной воды после промывки, третья — для промывной воды, четвертая — для сырой воды и пятая — для фильтрата. Рядом с пятой рукояткой помещаются кран на трубе малого насоса и отводящая труба. На столе помещается показатель потери напора. В плане и боковом разрезе видны поплавковые трубы. На столе также часто устанавливаются показатели степени открытия задвижки.

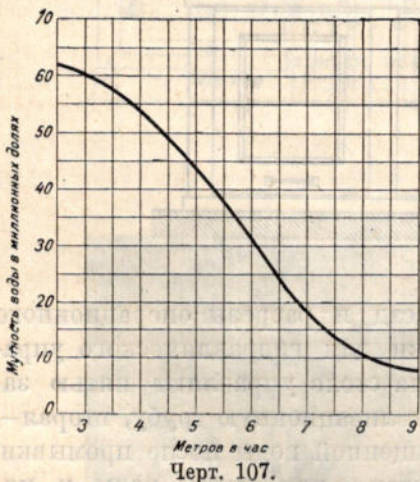
Установка операционных столов на операционной площадке на фильтрах г. Вилкинсбурга показана на черт. 105.

Черт. 106 изображает операционный стол фильтров Индиано-полиса.

ГЛАВА XV.

ДЕЙСТВИЕ ФИЛЬТРОВ.

§ 74. Допустимая мутность воды перед фильтрами. Вакуум в фильтре. Промывка. Для правильной работы скорых фильтров необходимо неперемное соблюдение некоторых условий. Прежде всего скорые фильтры, так же впрочем как и медленные, могут успешно очищать только воду небольшой мутности. Если вода естественного водоема очень мутна, то она должна быть осветлена отстаиванием и коагуляцией. Необходимая продолжительность отстаивания должна быть выяснена для каждой воды практически.



Черт. 107.

Влияние мутности воды на наибольшую допустимую скорость фильтрации выяснено опытами Стритера. Диаграмма черт. 107 составлена таким образом: вода определенной мутности пускалась на фильтр сначала при небольшой нагрузке, а затем через каждые 20 минут нагрузка повышалась примерно на 0,5 м, считая по часовой скорости. Повышение нагрузки продолжалось до тех пор, пока не получался мутный фильтрат. Нагрузка, непосредственно предшествовавшая этой, и считалась наибольшей допустимой. Опыты производились при разных потерях напора, и качество фильтрата определялось только степенью его прозрачности, бактериальных анализов не делалось. Диаграмма дает надежные цифры только ниже 0,000050 мутности, потому что вода выше этой мутности обыкновенно не допускается на фильтры. Эта диаграмма подтверждает правильность требования А. W. W. A., чтобы при обычной скорости фильтрации мутность сырой воды была не выше 0,000040.

Скорость фильтрации чаще всего бывает около 5 м/час. Где нет

запасных резервуаров достаточных размеров, там колебания расхода в городе приходится покрывать изменениями скорости фильтрации, поэтому некоторые установки работают с часто меняющейся скоростью фильтрации. Такие перемены допустимы, но они должны совершаться медленно. Быстрое увеличение нагрузки может вызвать разрыв пленки и, как следствие, ухудшение фильтрата. Быстрое уменьшение нагрузки менее опасно, но и оно может повести к выделению воздушных пузырей, собравшихся благодаря отрицательному давлению в песке и разрыву в пленке.

Эти операции требуют очень осторожного отношения к ним и тщательного изучения их влияния на степень очистки воды.

В начале действия фильтра потеря напора на трение невелика — 0,3—0,6 м. Дальнейшее увеличение потери идет за счет увеличивающегося сопротивления при прохождении воды через пленку. Обычно сопротивление не поднимается выше 3—3,6 м. Когда сопротивление в пленке поднимет общую потерю напора до этой величины, фильтр останавливается для чистки.

Разность уровней воды в фильтре и в резервуаре чистой воды должна быть больше приведенных цифр, так как некоторая высота требуется для регулятора расхода, зависящая от его типа и конструкции, и для отводящего фильтрат водовода.

Водовод фильтрата или погружается в резервуар чистой для образования водяного затвора воды или же водяной затвор образуется в самом регуляторе расхода, как например в регуляторе Вестона и др. Размеры водоотвода, отводящего фильтрат, таковы, что он может пропустить расход, в несколько раз превосходящий нормальную нагрузку фильтра. Регулятор расхода вводит на этом пути искусственное сопротивление прикрытием клапана и таким образом поддерживает постоянство расхода при разных потерях напора в фильтре.

Главное сопротивление при проходе воды через фильтр составляет пленка. Если сопротивление песка, щебня и дренажа в зависимости от конструкции фильтра колеблется от 30 до 60 см, то сопротивление пленки, начинаясь почти с нуля, доходит ко времени промывки до 3 м. Каким образом преодолевается это сопротивление, если высота слоя воды над поверхностью песка примерно метра полтора? Пока сопротивление пленки не больше слоя воды над ней, высота этого слоя достаточна для продавливания воды через пленку. Когда же сопротивление станет больше, очевидно одной высоты слоя воды будет недостаточно. Откуда же получается дополнительная высота напора? Под пленкой должно образоваться отрицательное давление, т. е. некоторый вакуум, чтобы к давлению столба воды присоединилась еще и часть атмосферного давления.

Напишем уравнение Бернулли для поверхности воды фильтра ZZ (черт. 108) и для плоскости $Z'Z'$, проходящей в песке:

$$Z + \frac{P_a}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} = Z' + \frac{P_k}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + \sum \xi \frac{V^2}{2g}.$$

Ввиду незначительности скоростей V и V_1 ими можно пренебречь:

$$\frac{P_k}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} + (Z - Z') - \sum \xi \frac{V^2}{2g}.$$

Давление в плоскости $Z'Z'$ выражается столбом воды $\frac{P_k}{\gamma}$, который равен высоте столба, соответствующего атмосферному давлению $\frac{P_a}{\gamma}$ плюс разность высот $Z - Z'$ минус сумма всех сопротивлений при проходе воды до плоскости $Z'Z'$. Если сумма сопротивлений больше разности высот $Z - Z'$, тогда для $\frac{P_k}{\gamma}$ получается давление менее атмосферного.

Если рядом с фильтром поставить две стеклянные трубки и соединить одну из них через стенку фильтра с пространством над пленкой, а другую с пространством под пленкой, то в первой трубке вода будет на одном уровне с водой в фильтре, во второй же трубке уровень воды будет падать по мере возрастания сопротивления в пленке. Наконец вода совсем исчезнет из трубки, и в песок начнет засасываться воздух, когда давление под пленкой станет отрицательным. Величину отрицательного давления можно определить, если трубку изогнуть вниз, как показано на черт. 108; тогда понижение воды в свободном колене трубки ниже $Z'Z'$ и даст меру вакуума.

Образование некоторого вакуума в фильтрующем песке может повести к выделению воздуха из воды. Мелкие пузырьки воздуха, накапливающиеся между песчинками, могут так затруднить проход воды, что потеря напора очень скоро достигнет предельной величины, и потребуются преждевременная промывка фильтра.

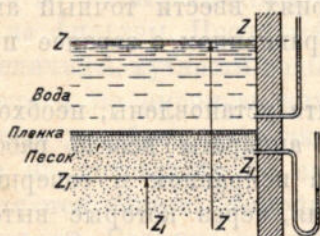
Как меняется потеря напора в фильтре, ясно видно из диаграммы одного из фильтров г. Цинциннати, показанной на черт. 109. Скорость фильтрации была 5 м/час.

Промывка фильтра имеет громадное значение для его правильного действия. Каждая промывка должна восстанавливать первоначальную чистоту песка; если промывка идет плохо, песок начинает засоряться остатками невымытой пленки, и пропускная способность его станет падать, а при неравномерной промывке по площади фильтра некоторые места совсем перестают фильтровать.

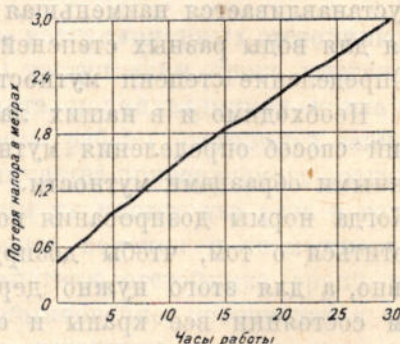
Промежутки между промывками бывают очень различны в зависимости от многих обстоятельств.

От скорости фильтрации находится в прямой зависимости скорость нарастания толщины и сопротивления пленки, а следовательно и продолжительность работы фильтра до промывки.

Степень мутности воды также оказывает большое влияние на срок службы фильтра. Не только большая или меньшая мутность, но и качество взвешенных в воде веществ оказывают влияние на скорость заиливания фильтра. Срок работы фильтра зависит также от крупности песка, от накопления воздуха в песке и от температуры. Как мы видели выше, с понижением температуры сильно увеличивается вязкость воды, и потому потеря напора на трение в песке при 20° вдвое меньше, чем при нуле. Вследствие многочисленности факторов, влияющих на продолжительность действия фильтров, она очень сильно колеблется — от нескольких часов до нескольких дней. Э. м. с. дает пределы колебаний от 1 до 500 часов.



Черт. 108.



Черт. 109.

Летом в открытых водоемах часто развивается богатая микрофлора и микрофауна. Продолжительность жизни этих растений и животных невелика и ограничивается днями и неделями. Попадая в большом количестве на фильтры, микрофлора и микрофауна воды содействуют быстрому образованию пленки, непроницаемой для воды, и вызывают частые чистки фильтров. Кроме того разложение этих организмов ведет к загрязнению песка и ухудшению фильтрата с бактериальной стороны. Для своего развития водоросли требуют солнечного света, поэтому они достигают массового размножения в прозрачной воде.

Количество воды, расходуемой на промывку фильтров, колеблется в зависимости от качества очищаемой воды и ее взвешенных веществ. Средний за 6 лет (1909—1914 гг.) расход воды на промывку фильтров г. Цинциннати составлял 2,8%; минимальный средний месячный —

1,26% и максимальный месячный — 6,42%. В Луисвилле в 1914 г. эти цифры были соответственно 3,16, 1,77, и 5,48%. Чрезвычайно низкие цифры расхода воды на промывку показывает Новый Орлеан — 0,2%.

§ 75. Уход за отстаиванием и коагуляцией. Скорая фильтрация требует тщательного надзора и управления. Правда для этого нет надобности в долгой тренировке: все операции несложны, но нужна добросовестность и здравый смысл со стороны надсмотрщика за очистными сооружениями и компетентное инструктирование его.

Дозировка коагулянта требует наибольшего внимания и хлопот. На каждой фильтровальной станции должна быть составлена таблица, указывающая, при какой мутности воды какая должна применяться доза коагулянта. Для составления такой таблицы производятся опыты коагулирования в стеклянной банке, куда наливается сырая вода в определенном количестве, и к ней пипеткой приливается определенный раствор сернокислого глинозема.

После хорошего взбалтывания воде дают отстояться. Этими опытами устанавливается наименьшая доза коагулянта, дающая хорошие хлопья для воды разных степеней мутности.

Определение степени мутности воды указано в главе «Анализ воды». Необходимо и в наших лабораториях ввести точный американский способ определения мутности сравнением с заранее приготовленными образцами мутности.

Когда нормы дозирования коагулянта установлены, необходимо позаботиться о том, чтобы дозирующие аппараты всегда работали исправно, а для этого нужно держать в исправном и совершенно чистом состоянии все краны и отверстия, через которые вытекает коагулянт, не допуская на них образования каких-либо осадков.

В большинстве американских установок способ приготовления коагулянта в существенном тот же, что и в Москве. При этом способе необходимо особо внимательно следить, чтобы раствор коагулянта, прибавляемый к сырой воде, был всегда одной и той же концентрации. При малой жесткости воды во время весеннего половодья может понадобиться прибавление извести в виде «известкового молока». Гашеная известь малорастворима в воде, поэтому ее необходимо все время поддерживать в чане во взвешенном состоянии посредством непрерывного механического перемешивания.

Известь можно заменить содой, которая растворима в воде, и потому более удобна для прибавления к сырой воде, но она дороже, не для всякой воды хорошо подходит и кроме того выделяет значительное количество CO_2 , нежелательной в воде вследствие разъедающего действия на трубы.

Для химического взаимодействия на 1 кг сернокислого алюминия нужно 0,5 кг извести или соды. В мутной воде часто требуется меньше

этих реактивов; наоборот, некоторые воды требуют больше щелочей для образования хороших хлопьев. В некоторых установках Северной Америки, несмотря на достаточную естественную жесткость воды, при коагулировании к воде прибавляется известь, так как оказалось, что при этом коагулирование идет лучше.

Для удобства контроля за правильностью прибавления коагулянта рекомендуется в баке с раствором нанести по высоте деления через 50—100 мм, тогда по стоянию уровня раствора по отношению к этим делениям легко определить расход коагулянта за какой-нибудь промежуток времени. А количество раствора, соответствующее одному делению, заранее должно быть точно подсчитано. Еще удобнее составить табличку, по которой сразу можно узнать, какому количеству раствора соответствует данное число делений и сколько в этом растворе содержится коагулянта. Трубочки, отводящие коагулянт от дозирующих приборов, не должны быть тоньше 30 мм; их следует промывать водой под давлением, чтобы не допускать засорения, и по возможности укладывать открыто.

Правильное функционирование коагуляционных отстойников требует своевременной их очистки. О наступлении срока чистки легко узнать по старым хлопьям коагулянта, поднимающимся со дна и идущим на фильтры. Продолжительность работы отстойника зависит от его величины, мутности воды и количества прибавляемого коагулянта. В среднем по американским данным их чистят два раза в год. При наличии углубленных в дно грязевых воронок и возможности выпуска из них осадка во время действия отстойника сроки чистки удлиняются. Чистка отстойников обыкновенно производится пожарной струей. Наличие жолоба в дне отстойника и уклон дна к нему 0,05 сильно облегчает промывку.

§ 76. Уход за фильтрами. Нормальной нагрузкой для скожных фильтров считается около 5 куб. м на 1 кв. м в час. Есть установки, работающие успешно и с большей нагрузкой — до 7,5 куб. м. При нормальной нагрузке мутность воды, поступающей на фильтры, не должна превосходить 40 миллионных на литр, а при большой нагрузке она должна быть еще меньше. Допускается временная перегрузка фильтра на 25%, но лучше этого избегать. Чем с меньшей нагрузкой работает фильтр, тем вообще лучше фильтр.

Фильтр должен работать по возможности под постоянной нагрузкой. Особенно вредны резкие колебания нагрузки, могущие повредить пленку и ухудшить фильтрат. Для выравнивания расхода в городе должны быть устроены резервуары чистой воды достаточных размеров. Во время промывки фильтров необходимо медленное выключение и включение промываемого фильтра в работу.

Поверхность фильтра должна быть чистая и ровная; для осмотра

ее необходимо время от времени после промывки спускать воду ниже уровня песка. При образовании на поверхности неровностей и ям необходимо проверить дренаж; для этого нужно удалить сначала весь песок, а потом последовательно все слои щебня. Частичное обнажение дна поведет к порче фильтрующего пласта и поэтому не должно производиться. Если в песке обнаружатся комья склеившегося грязью и коагулянтном песке, что при правильном устройстве фильтра происходит от неправильной промывки, то помочь беде можно только выемкой песка и хорошей промывкой его.

Для исследования состояния песка во время промывки в него погружают шест. Если шест легко опускается до щебня и не встречает нигде препятствий, значит песок находится в исправном состоянии. При засорении нескольких сряду отверстий в дренажных трубах или при недостаточной скорости промывки в некоторых местах песок слеживается и не поднимается во время промывки: такие места потеряны для работы фильтра.

При правильном подборе крупности песка, скорости промывки и высоты расположения жолобов песок не выносится из фильтра, и подсыпки его не требуется. Если же наблюдается вынос песка, значит нет правильного соотношения между тремя названными величинами. Каково должно быть это соотношение, указано выше. С промывкой нельзя запаздывать, потому что при большом увеличении сопротивления фильтрующей пленки под ней образуется значительный вакуум, что ведет к ее прорыву в разных местах и ухудшению фильтра.

Обыкновенно промывка производилась при скорости подъема воды в фильтре 0,60 м/мин. Необходимое для этого давление 6—10 м. Опытом можно установить наивыгоднейшую скорость для данного фильтра, при разных температурах. Промывка производится, когда потеря напора в фильтре, бывшая вначале 30—60 см, поднимается до 3,00—3,50 м. О влиянии температуры на скорость промывки см. § 67.

Скорость промывки и фильтрации легко определить на самом фильтре, и это необходимо делать для проверки измерительных приборов. Фильтр представляет собой очень надежный измерительный прибор. Для определения скорости промывки надо спустить уровень воды в фильтре немного выше песка и затем, закрывши спуск для промывной воды, поставить на край корыта рейку (или нанести деления на стене) с делениями и открыть задвижку на впуске промывной воды. Пока вода поднимается до края корыта, задвижка будет открыта полностью; теперь только остается отметить по рейке, на сколько делений поднимается вода в течение одной минуты, — это и будет искомая скорость промывки.

Для определения скорости фильтрации нужно закрыть приток сырой воды и рейкой же определить понижение уровня в течение одной минуты. При этом необходимо, чтобы все задвижки были плотны и не пропускали воды.

Время промывки длится 3—8 минут. Если на стенах фильтра обнаружатся какие-нибудь осадки, они смываются во время промывки при помощи щеток. Во время промывки весь ил должен быть унесен водой, но часть хлопьев коагулянта остается во взвешенном состоянии в фильтре; после прекращения промывки они идут на образование пленки. До образования пленки фильтрат не следует пускать в сборник чистой воды. В течение 10—20 минут после прекращения промывки должна быть открыта задвижка на спускной трубе, отходящей со дна фильтра. За это время на фильтре успеет образоваться пленка, и тогда фильтрат можно пустить через контроллер в сборник чистой воды, закрывши спускную задвижку. Спускная задвижка должна быть открыта настолько, чтобы потеря напора не была более обычной — 0,3—0,6 м, при только что промытом фильтре, а лучше меньше, иначе пленка не образуется, и вследствие большой скорости коагулянт проникнет в песок.

Правильная работа скорого фильтра немыслима без автоматического регулятора расхода — контроллера, поддерживающего нагрузку фильтра постоянной. Наибольшим распространением в Америке теперь пользуется контроллер типа Вентури, изготовляемый фирмой: «Simplex Valve and Meter Co., Philadelphia race street». Правильность показаний контроллера нужно время от времени проверять указанным способом.

Для контроля за работой фильтров на больших установках ежедневно отбираются пробы для бактериального анализа сырой воды, коагулированной, фильтрованной и хлорированной. На мелких установках анализы делаются реже. Но результатов анализов приходится ждать один-два дня, между тем наблюдающему за фильтрами необходимо сейчас же знать, хорошо ли работает очистная станция. Для быстрого контроля пользуются определением прозрачности воды. Уменьшение числа бактерий в воде обыкновенно идет параллельно с уменьшением мутности, поэтому определение степени мутности дает указание для направления работы очистной установки.

Степень мутности или, что то же, прозрачности воды на всех стадиях ее очистки должна определяться несколько раз в день. На станции должны иметься для этого все приспособления. Лучший способ определения мутности американский — сравнение с образцами мутности.

Забор проб воды для анализов и определения мутности должен быть устроен как можно удобнее. На операционном столе следует

установить два ручных или приводных насосика для подъема на стол коагулированной и фильтрованной воды. Тут же на столе могут быть установлены стеклянные сосуды. Пропуская воду через эти сосуды и освещая ее концентрированным светом, легко наблюдать за ее мутностью. Контроль за хлорированием производится, как будет указано ниже, прибавлением к исследуемой воде капель ортотоледина или других реактивов и наблюдением за окраской. Этот контроль также должен производиться по нескольку раз в день. В настоящее время имеются приборы для непрерывного автоматического контроля за хлорированием.

Глава XVI.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ.

§ 77. Скорые фильтры. Главная задача очистной установки состоит в удалении из воды бактерий. Следующие таблицы указывают, как она выполняется в Гаррисбурге и Цинциннати.

Таблица 25.

Проценты удаления бактерий на Гаррисбургской очистной станции.

Годы	Бактерий в 1 куб. см			Процент удаления		
	Речная вода	Осажл. вода	Фильтрован. вода	Коагуляцион. бассейном	Фильтр.	В сумме
1906	12 372	3 228	94	73,91	97,06	99,24
1907	10 710	4 504	44	57,96	99,03	99,59
1908	4 949	1 662	19	66,43	98,86	99,62
1909	5 762	1 083	17	81,87	98,28	99,70
1910	7 843	62	2	99,02	91,94	99,94
1911	10 357	58	7	99,04	87,93	99,94
1912	5 115	35	2	99,32	94,19	99,97
Среднее .	8 239	1 519	27	82,36	95,34	99,71

Таблица 26.

Количество бактерий в воде очистной станции г. Цинциннати.

	Среднее количество бактерий в 1 куб. см за года						
	1908	1909	1910	1911	1912	1913	1914
Речная вода	7 000	9 300	8 900	13 790	11 130	16 100	16 500
Осажденная вода	3 400	2 500	3 200	3,140	3 945	2 965	3 570
Коагулированная вода	700	475	750	776	898	465	670
Фильтрованная вода	100	75	75	39	26	56	36
Средний процент удаления	98,5	99,2	99,2	99,7	99,8	99,7	99,8

В конце 1909 г. стали прибавлять белильную известь перед осадочным бассейном: этим объясняется резкое падение числа бактерий, начиная с 1910 г.

Дезинфекция фильтрованной воды стала применяться с 1911 г. в течение 3—6 месяцев в году.

Следующая таблица дает результаты анализа на бактерии coli.

Таблица 27. Количество бактерий на фильтрах в г. Цинциннати.

1914 г.	Речная вода						Фильтрованная вода					
	Бактерии coli						Бактерии coli					
	Число испы- таний	В 0,01 куб. см		В 0,1 куб. см		В 1,0 куб. см		Число испы- таний	В 1,0 куб. см		В 20,0 куб. см	
Число находок		В проп.	Число находок	В проп.	Число находок	В проп.	Число находок		В проп.	Число находок	В проп.	
Январь .	31	3	9,68	19	61,29	31	100,00	31	0	0	1	3,23
Февраль	28	3	10,71	15	53,57	28	100,00	28	0	0	1	3,57
Март . .	31	1	3,23	15	48,39	31	100,00	31	0	0	0	0,00
Апрель .	30	3	10,00	16	53,33	30	100,00	30	0	0	0	0,00
Май . . .	31	5	16,13	15	48,39	29	93,55	31	0	0	7	22,58
Июнь . .	30	1	3,33	4	13,33	24	80,00	30	0	0	1	3,33
Июль . .	31	1	3,23	11	35,48	20	65,45	31	0	0	1	3,23
Август .	31	9	29,03	16	51,61	29	93,55	31	1	3,23	6	19,35
Сентябрь	30	3	10,00	12	40,00	26	85,67	30	0	0	6	20,00
Октябрь	31	6	19,35	18	58,06	29	93,55	31	2	6,45	16	51,61
Ноябрь .	30	0	0	1	3,33	20	66,67	30	0	0	6	20,00
Декабрь	31	4	12,90	28	90,32	31	100,00	31	1	3,23	26	87,10
Всего . .	365	39		170		328		365	4		71	
Среднее			10,63		46,43		89,88			1,08		19,50
Проценты	100	10,69		46,58		89,87		100,0	1,10		19,45	

В следующей таблице показан процент находок кишечной палочки бактерии coli в 1 куб. см сырой и фильтрованной воды филь-

тров Гаррисбурга за 7 лет. Дезинфекция коагулированной воды начата в конце 1909 г.

Таблица 28.

% находок бактерий *coli* в сырой и фильтров. воде фильтров г. Гаррисбурга в 1 куб. см

Год	Нефильтро- ванная	Фильтро- ванная	Из крана
1906	71,87	2,73	4,95
1907	64,02	1,02	2,64
1903	65,72	1,07	1,62
1909	63,15	1,00	1,60
1910	55,44	0,17	0,82
1911	77,30	0,61	1,46
1912	46,90	0,81	2,81
Среднее за 7 лет	63,49	1,06	2,27

Очистка воды на фильтрах г. Цинциннати в последние годы дала следующие результаты. Средняя годовая мутность реки Огайо 0,000300, но в течение $\frac{1}{5}$ года мутность гораздо выше. Средние годовые количества кишечной палочки колеблются от 1650 до 3350 экземпляров на 100 куб. см. Средние месячные поднимаются до 10000 на 100 куб. см. Из отстойников простого отстаивания шестидневного объема вода вытекает со средней мутностью 0,000070 и 400 экземпляров кишечной палочки в 100 куб. см. После обработки этой воды железным купоросом 24 мг на литр и известью 13 мг на литр и отстаивания 6—8 часов в резервуаре на фильтры поступает вода с мутностью 0,000017 и 70 экземплярами бактерии *coli* на 100 куб. см.

В течение многих лет в фильтрате содержится в среднем 4 бактерии *coli* на 100 куб. см, но при максимальном загрязнении их среднее месячное количество их повышается до 10, а иногда и до 16. В наихудших случаях число бактерий *coli* доходило до 30 на 100 куб. см в течение 7—10 дней.

Без хлорирования фильтры не могут дать удовлетворительных результатов, т. е. не более 1 бактерии *coli* на 100 куб. см. Хлорирование после фильтров понижало в последние 7 лет среднее годовое количество бактерий *coli* до 0,22—0,70 на 100 куб. см. При очень сильном загрязнении речной воды число их поднимается несколько выше 1. Введение двойного коагулирования вдвое улучшало качество воды,

поступавшей на фильтр, и таким образом сильно облегчало работу фильтров, но отказаться от хлорирования все же оказалось невозможным. При содержании бактерий *coli* около 2 000 в сырой воде фильтрат давал не более 1 на 100 куб. см, но при 12 000 бактерий *coli* в сырой воде число их в фильтрате могло подниматься до 4 (J. A. W. W. A., 1928 г., июль).

В Ростове н/Д. старая очистная станция оборудована отстойниками после коагуляции глиноземом, шестью мешалочными фильтрами Джуэлла и четырьмя Шретера. Результаты очистки воды за 1926/27 отчетный год представлены в следующей таблице:

Таблица 29.
Количество бактерий га фильтрах Ростова 1926 г.

Месяцы	Река Дон		Среднее количество бактерий в 1 куб. см			Процент находок бактерий <i>coli</i> в куб. см					
	Щелочность в французских градусах	Прозрачность	Река Дон	Отстойник	Фильтр Джуэлл	Река Дон				Фильтр	
						0,01	0,1	1,0	10,0	100	200
Январь .	26,8	25,7	2 861	187	25	0	11	77	100	100	100
Февраль	20,0	25,7	1 400	227	43	0	0	18	100	81,8	100
Март . .	16,5	4,8	15 747	264	18	—	16,6	50	100	18,1	18,1
Апрель .	13,7	2,8	17 803	330	22	—	40	40	80	25	—
Май . .	11,88	7,2	7 344	182	8	30	45	100	100	13,6	9,7
Июнь . .	15,7	13,0	3 125	63	45	10	60	85	100	16,4	16
Июль .	19,1	21,7	4 774	118	17	11,1	40,7	81,4	100	3,7	20,1
Август .	19,4	24,10	4 150	44	7	0	16,6	54,1	93,3	8,3	19,9
Сентябрь	19,0	29,0	3 555	29	6	3,8	15,3	38,4	69,2	0	19
Октябрь	20,0	24,1	2 318	34	6	0	3,8	30,8	92,3	0	20,0
Ноябрь .	20,0	22,5	1 546	27	10	—	—	32	100	0	20,0
Декабрь	24,0	34,0	3 054	148	22	—	27,9	57,7	100	15,4	23,4
Среднее.	18,8	19,50	5 639	138	17,2	6,85	25,2	47,0	94,7	23,4	30,6

Хлорная известь прибавляется вместе с коагулянтом.

Таблица 30.
Расход реактивов в г. Ростове (фильтры Джуэлла).
Суммарные данные оп сраций за полугодие 1927 г.

	Сырая вода при поступлении				Фильтрация				Хлорная известь		Промывная вода		Температура воды		
	Среднее количество поступившей воды в сутки в куб. м		Сульфат алюминия		Негашеная известь		Среднее число промывок фильтра в день	Среднее время между промывками	Количество профильтрованной воды в день куб. м	Активного хлора в день в м на литр	В куб. м в день	В процентах профильтрованной воды			
	В день куб. м	В граммах на 1 куб. м	Воздушная сернокислотная соль в 1 куб. м	В кг в день	В кг в день	В кг на куб. м									
Среднее за 1926 г. за 1 полугодие	9 301	1103,5	116,4	35,10	172,6	16,7	04,9	7,73	12,8	9 301	38,2	0,85	339,5	4,48	8,97
Январь	12 669,5	211,3	16,5	4,95	—	—	130,7	8,6	15,2	12 554,4	44,5	0,63	476,5	3,78	0,6
Февраль	17 68,8	181,0	15,4	4,62	—	—	118,5	6,2	19,0	11 642,3	16,4	0,43	343,5	2,95	0,6
Март	11 827,2	1 327,3	112,2	33,66	170,0	14,3	118,7	12,0	9,9	11 713,1	35,0	0,59	664,8	5,67	0,8
Апрель	7 755,0	1 461,7	190,0	57,00	215,1	27,7	71,25	6,0	11,8	7 637,0	40,0	1,00	332,4	4,35	8,6
Май	7 732,0	966,7	125,0	37,50	133,5	18,5	85,6	4,5	19,0	7 618,0	40,0	1,42	249,3	3,27	17,5
Июнь	8 763,2	485,4	55,3	16,60	5,5	0,62	84,3	5,3	15,9	8 647,2	80,0	1,94	293,6	3,39	22,8
Среднее	10,085,9	772,2	85,7	25,72	87,3	10,1	102,5	7,1	15,13	9 968,6	42,65	1,00	393,3	3,90	85,0

Примечание: С 2 апреля 1927 г. были пущены в работу механические фильтры Штеттера, и включен в работу сети родник «Богатый источник» с суточным дебетом в 3 025 куб. м воды.

Скорые фильтры бывшей фильтроозонной станции Ленинграда очищают невскую воду, отличающуюся очень малой жесткостью 1—2°, несмотря на такую жесткость, коагуляция идет хорошо благодаря присутствию органических, гуминовых и других кислот.

Средние данные бактериологического анализа за март 1928 г. таковы:

Таблица 31.

Результаты анализа воды в Ленинграде

	Число бактерий в 1 куб. см	Бактерии соли процент находок в куб. см				
		0,1	1,0	10	100	400
Вода Невы	104	70%	88%	92%	—	—
Фильтр	83,8	—	—	3,8	15,4	5,0
Кран после хлорирования	0,8	—	—	—	—	7,6

Вода Невы содержит мало бактерий, но значительно загрязнена фекалиями. Процент задержания отстойниками и фильтрами—95, хлорированием—82, в сумме 99,1%.

§ 78. Медленные фильтры. В таблице 32 помещены анализы воды медленных фильтров Рублевской станции с отстойниками и префильтрами. Данные относятся к 1912 г.; к сожалению отчеты о работе фильтров за последующие годы до сих пор не напечатаны. Титр бактерий соли в фильтрате обыкновенно 200—300 куб. см¹.

Таблицы 33 и 34 на стр. 200, показывающие действие медленных фильтров Филадельфии, также с префильтрами, но без отстойников, дают сначала изменение мутности, откуда видно, что при большой мутности речной воды и фильтрат получается мутным. Та же картина и с движением числа бактерий.

¹ Большой недостаток в нашей практике отсутствие печатных отчетов о действии наших водопроводов вообще и очистных установок в особенности. Использование накопленного опыта возможно только при его обнаружении, что даст возможность сделать сопоставления многочисленных данных, подвергнуть их обработке и сделать выводы для дальнейшего улучшения процесса работы.

Таблица 32.
Результаты бактериологических анализов москварецкого водопровода за 1912 г.

Место взятия проб	Число проб	Число проб, в которых количество бактерий на 1 куб. см воды колебалось				Количество бактерий в 1 куб. см воды			% задежки бактерий		
		0—25		26—50		Кол-во бактерий	Среднее за отдельные месяцы	Средний за год	Минимум	Максимум	Средний за год
		26—50	51—75	76—100	100						
Москва-река	304	—	—	—	304	190—75 000	416—21 141	3 259	—	—	—
Отстойники (левый правый)	204	—	—	—	204	113—15 000	242—4 545	1 089	6,6	93,9	39,9
	240	—	—	—	240	90—15 500	275—5 116	1 250	8,4	93,7	40,6
Предварительные фильтры (левый правый)	251	20	17	23	167	5—13 000	34—3 901	712	60,5	90,9	53,5
	244	30	27	12	128	5—13 100	35—3 711	553	13,1	92,2	69,8
Английский фильтр 1 » 2	288	208	43	17	11	0—870	2—91	30	74,2	98,5	89,6
	290	194	45	25	14	0—840	3—107	35	62,0	97,9	85,0
» 3 » 4	291	191	57	20	11	0—870	2—114	35	63,1	97,6	85,7
	289	226	34	17	3	0—960	4—124	31	70,8	97,2	89,5
» 5 » 6	287	202	53	10	8	0—790	3—98	31	86,1	97,6	91,6
	286	208	55	8	7	0—840	2—79	25	85,5	98,6	91,6
» 7 » 8	287	206	49	14	8	0—930	4—111	32	85,0	97,8	92,0
	291	213	54	12	3	0—780	3—87	27	74,4	97,7	90,8
» 9 » 10	269	221	34	5	4	1—470	3—39	18	63,1	99,3	89,5
	274	215	32	11	7	0—880	4—114	30	67,7	98,5	89,3
Сборный резервуар	300	227	42	16	6	0—820	7—95	29	76,9	97,8	90,0

Таблица 33.

Исследование мутности воды.
На торресдалских фильтрах Филадельфии.
Таблица мутности 1912 г.

Мутность в миллионных долях	Река Делауэр	Грубый префильтр	Медленный фильтр
0 — 1	—	—	339
2 — 10	154	297	18
11 — 25	146	41	7
26 — 50	38	8	2
51 — 100	9	6	—
101 — 250	9	6	—
251 — 500	3	6	—
501 — 750	4	2	—
751 — 1 050	3	0	—
Выше 1 050	0	—	—

Таблица 34.

Содержание бактерий в фильтрах Филадельфии.

Бактерий в куб. см	Река Делауэр	Грубый префильтр	Бактерий в куб. см	Медленный фильтр.
	дней	дней		дней
0 — 100	0	—	0 — 5	85
101 — 200	0	—	6 — 10	101
201 — 300	0	1	11 — 25	107
301 — 400	0	3	26 — 50	34
401 — 500	0	6	51 — 100	15
501 — 750	1	19	101 — 200	12
751 — 1 000	6	55	201 — 500	4
1 001 — 1 500	16	44	501 — 1 000	5
1 501 — 2 000	36	42	1 001 — 2 100	2
2 001 — 2 500	27	30	Выше 2 100	0
2 501 — 5 000	92	93		—
5 001 — 10 000	86	36		—
10 001 — 25 000	67	28		—
25 001 — 50 000	22	6		—
50 001 — 100 000	10	2		—
Выше 100 000	3	0		—

Глава XVII.

СРАВНЕНИЕ МЕДЛЕННЫХ И СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ И ДВОЙНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ.

§ 79. Сравнительные данные стоимости медленных и скорых фильтров. Главный недостаток медленных фильтров заключается в их большой стоимости и в большой площади, требуемой ими, которую около городов часто невозможно найти. О сравнительной стоимости устройства медленных и скорых фильтров дают представление следующие цифры, заимствованные у Циглера ¹.

Средняя стоимость семи крупнейших медленных фильтров в Северной Америке выразилась в 34 560 немецких марок, а шести больших фильтров и двух средних скорых фильтров в 12 800 марок на каждые 1 000 куб. м суточного расхода. Стоимость же содержания медленных фильтров на 1 000 куб. м — 2,92, а скорых — 4,26 марки. Чтобы получить полную стоимость эксплуатации, необходимо к текущим расходам прибавить процент на затраченный капитал, приняв его за 5; тогда для медленных фильтров получим:

$$\frac{34\,560}{360} 0,05 + 2,92 = 7,72 \text{ м.}$$

для скорых фильтров:

$$\frac{12\,800}{360} 0,05 + 4,26 = 6,03 \text{ м.}$$

Отсюда видно, что скорые фильтры обходятся дешевле ² и для своего устройства требуют втрое меньше затрат. Если процент на капитал будет выше 5, преимущество скорых фильтров станет еще больше.

Приведенные цифры, заимствованные Циглером у Джонсона и переведенные на немецкие марки, относятся к довоенному

¹ Ziegler, Schnellfilter, ihr Bau und Betrieb, Leipzig 1919.

² В книге Черепашинского (Водоснабжение, стр. 167) приводятся старые данные о стоимости скорых и медленных фильтров, из которых видно, что устройство скорых фильтров не дешевле устройства медленных. Эти данные относятся к старой конструкции скорых фильтров. Новая конструкция, как видно из предыдущего, значительно дешевле, — это составляет ее крупное преимущество.

строительству. В настоящее время стоимость фильтров в два с лишним раза выше довоенной цены. Стоимость постройки одного ара медленных фильтров до войны была 1100—1850 долл. Крытые фильтры на 50% дороже открытых.

Вот смета постройки медленных фильтров в Олбани:

	Долларов
1. Земельный участок	8 290
2. Насосная станция и водоприемник	49 745
3. 8 фильтров по 28 аров каждый, осадочный бассейн на 140 000 куб. м сборный резерв	324 217
4. Водоводы и соединение с другой насосной стан- цией	86 638
5. Технический надзор и непредвиденные расходы	31 000
Итого	499 890
Стоимость одного ара фильтра	1 125
» открытого отстойника на 1 000 куб. м объема	1 085
» сборного резервуара на « » »	3 970
» фильтров на 1 000 куб. м суточной произво- дительности	4 010
» всего сооружения на 1 000 куб. м суточной производительности	8 810

Чтобы перейти от долларов к рублям, нужно последнюю цифру увеличить в 2 раза.

Фильтры Вашингтона и Питсбурга на 1 000 куб. м суточной производительности обошлись—11 560 и 11 250 долларов.

Стоимость скорых фильтров, также довоенная, представлена в таблицах 35, 36 и 37.

Таблица 35.

Стоимость скорых фильтров в долларах.

Города	Суточная производи- тельность в тысячах м ³	Стоимость 1 000 м ³ суточной производи- тельности
Литл Фоллс	121	4 050
Нью-Мильфорд	91	2,910
Норрисбург	60,5	2,730
Бингамтон	30,2	2,860
Уотертоун	30,2	2 910
Лорэн	2,3	3 760
Скрантон	2,3	3 530

Таблица 36.

Стоимость постройки скорых фильтров г. Цинциннати в долларах.

	Общая стоимость	Стоимость на 1 000 куб. м суточной производительности
Земляные работы	33 359,67	78,80
Водовод от отстойника до фильтров	55 354,77	130,75
Контора и коагуляционное здание	141 989,85	335,37
Коагуляционный бассейн с оборудованием	304 913,05	720,22
Фильтры	592 112,30	1 398,60
Водоводы и задвижки между фильтрами и сборником чистой воды	29 701,91	70,16
Сборник чистой воды	121 362,29	286,66
Итого	1 278 793,94	3 020,56

Таблица 37.

Стоимость постройки скорых фильтров в послевоенное время.

Города	Год окончания постройки	Производительность в тысячах куб. м	Общая стоимость в долларах	Стоимость на 1 000 куб. м суточной производительности
Детройт	1923	1210	4 600 000	4 870
Кембридж	1923	53	607 000	11 480
Оттава	1924	113,5	1 050 000	7 710
Уиндзор	1924	75,7	800 000	8 820
Сакраменто	1924	181,5	2 700 000	14 880
Бей Сити	1925	75,7	811 000	10 730
Клевеленд	1925	624	6 574 000	10 540

Стоимость постройки скорых фильтров в Рэсине в 1924—1926 гг была следующая:

Сооружения (structures)	182 900
Коагуляционный бассейн	68 660
Оборудование фильтров	67 200
Задвижки	7 927
Разное	7 800
Технадзор и проект	20 000
	354 487
Производительность	45 500 куб. м
Стоимость 1 000 куб. м	7 790 долл.

Очистная установка Колумбуса, построенная в 1910 г., не только фильтрующая, но и смягчающая воду, обошлась 4 700 долл. на 1 000 куб. м суточной производительности. Очистная станция Майами (Флорида) со смягчением воды, постройки 1926 г. обошлась 6 440 долл. на 1 000 куб. м, а общая ее производительность — 75 700 куб. м.

№ по порядку	Наименование сооружений	Емкость в куб. м	Стоимость в рублях	
			сооружения	оборудования
1	Открытый отстойник вроде криворожского, только откосы ограничены вверху стенами из бутовой кладки	3 400	45 390	8 720
2	Коагуляционное здание (черт. 24)	—	38 610	22 450
3	Резервуар смеситель, круглый, железобетонный	250	8 750	3 160
4	Крытый отстойник, прямоугольный, железобетонный	1 300	49 160	10 630
5	Фильтры на 4 отд., железобетонные каждое отделение с полезной площадью 68 кв. м, при скорости фильтрации 4 м/час, 4 отделения пропускают 24 000 куб. м в сутки (черт. 74а, 74б)	—	68 170	46 470
6	Резервуар чистой воды, круглый железобетонный с купольным перекрытием	920	17 640	7 360
7	Резервуар для промывки, круглый железобетонный с купольным перекрытием	612	13 030	4 830
8	Лаборатория, контора и пр.	—	54 340	—
Итого			400 000 руб.	

Стоимость постройки фильтров, как видно из предыдущего, подвержена сильным колебаниям, в зависимости от местных и других условий. АWWP дает приблизительную стоимость очистной установки для смягчения и скорой фильтрации в 10 580 долл. на 1 000 куб. м очищенной воды в сутки. Больше половины этой цифры 7 000—8 000 долл. на 1 000 куб. м воды будут стоить фильтры без добавочных сооружений для смягчения воды.

Строящиеся в настоящее время скорые фильтры в Днепропетровске на 12 500 куб. м в сутки с отстойниками по смете оцениваются в 200 000 руб., т. е. на 1 000 куб. м приходится 16 000 руб., без коагуляционного здания, лаборатории и конторы.

Сметная стоимость первой очереди очистных сооружений Алмазно-марьевского водопровода представлена в таблице на стр. 204.

Номера сооружений расположены по ходу воды.

Стоимость на 1 000 куб. м в сутки — 16 660.

Скорость фильтрации — 4 м в час взята из осторожности ввиду новизны дела. Высокая стоимость оборудования могла бы быть значительно снижена, если заменить трубы нормального сортамента, рассчитанные на 10 атм, тонкостенными трубами примерно на 3—4 атмосферы. (Все сооружения выстроены в 1929 г., оборудование закончится летом 1930 г.)

§ 80. Эксплуатационные расходы. Сравнительные достоинства и недостатки. Крупный расход при работе медленных фильтров состоит в очистке их поверхности от пленки, перевозке и мойке песка: ежегодно приходится передвигать и мыть громадные количества песка. Средняя глубина песка, перемытого в течение года в Веллингтоне была (1905—1912 гг.) 370 мм.

По данным 1827 г. (Филадельфия) стоимость промывки и передвижения песка разными способами следующая:

	1 куб. м долларов
Перевозка тачками	3,19
Передвижение напорной водой	2,06
Чистка аппаратом Николя	0,65
Чистка усовершенствованным аппаратом Николя	0,392
Чистка машиной Брейсделя	0,078

Стоимость перевозки и промывки песка в Питтсбурге показана в таблице 38 на стр. 206. Вся же стоимость содержания фильтров на каждые 1 000 куб. м в Питтсбурге была 0,90 долл., в Олбани — 0,66 и т. д.

Средняя стоимость содержания медленных фильтров около 0,79, а скорых 1,06 долл. на 1 000 куб. м воды в сутки в довоенное время.

При одновременном смягчении воды стоимость содержания фильтров может очень значительно повыситься. В Колумбусе в 1913 г.

Таблица 38.

Стоимость перевозки и промывки песка в Питтсбурге в 1912 г.

(Цена чернорабочего за 8-часовой рабочий день — 2,10 долл.)

Название операции	На	
	1 куб. м долларов	1 000 куб. м фильтрован- ной воды долларов
Стоимость сгребания песка	0,232	0,086
» передвижение эжектором	0,320	0,116
» промывки и передвижения	0,157	0,057
» обратной укладки песка	0,226	0,035
» разгребания граблями	—	0,021
	0,935	0,315

содержание смягчительно-очистной установки на 1 000 куб. м обходилось 4,23 долл. из них 3,0 приходилось на реактивы и 1,23 на рабочую силу. В Новом Орлеане стоимость фильтрации и смягчения 1,45 долл. (1914 г.). В 1924 г. стоимость содержания установки в Новом Орлеане возросла до 2,42 долл. и цена фильтрованной и поднятой воды в 1924 г. была 5,07 вместо 3,40 долл. за 1 000 куб. м в 1914 г. в Сан-Луи фильтрация и смягчение обходились в 1924/25 г. 2,95 долл. при подаче за год 156 000 000 куб. м. Из 2,95 долл. на известь приходится 0,94, железный купорос — 0,23 и глинозем — 0,58, а всего 1,75 долл.

Тонна извести стоит около 9 долл., купороса — 16, глинозема — 23, хлор за килограмм — 0,158 долл.

Приведем несколько цифр, относящихся к последнему времени, для установок без смягчения.

В 1924 г. в Клевеленде содержание очистной станции обходилось 1,32 долл. за 1 000 куб. м.

Управление, рабочая сила и материал	0,33
Коагулянт и дезинфекция	0,47
Ремонт сооружений	0,32
	<hr/> 1,32

Сюда не входят расходы на первый подъем воды, проценты и погашение капитала.

В 1925 г. в Детройте расход на 1 000 куб. м был 1,07 долл. Проценты на капитал и погашение увеличат приведенные цифры на 75—125%.

Стоимость очистки 1 куб. м на Рублевской станции московского водопровода, не учитывая процентов и погашения основного капитала, в 1912 г. была 0,44 коп. при среднем суточном расходе 74 956 куб. м и цене глинозема 1 руб. 10 коп. за 16 кл. Стоимость очистки 1 000 куб. м — 4 руб. 40 коп. Стоимость очистки 1 000 куб. м воды в Клевеленде — кругло — 2 руб. 60 коп.

Преимущество медленных фильтров заключается в большей простоте ухода за ними и при нормальных условиях в большей равномерности их работы. Медленные фильтры очень хорошо справляются с очисткой мало загрязненных вод озер и больших запруд. Там, где период очень мутной воды не превосходит 1—2 месяцев, удерживается кое-где медленная фильтрация с устройством предварительного коагулирования и длительного осаждения. В большинстве же случаев очистка речной воды, в последнее время все более и более загрязняемой спуском канализационных вод, производится в Америке на скорых фильтрах.

В 1914 г. в Америке медленные фильтры обслуживали 5,5 млн. человек с 3 млн. куб. м суточного расхода воды, скорые же фильтры (около 500) обслуживали 12 млн. человек с 6,6 млн. куб. м воды. В 1924 г. 47 установок медленных фильтров обслуживали 5 млн. человек, а 587 скорых — 18,6 млн. У нас в СССР из водопроводов, пользующихся фильтрацией, 75% применяют скорые фильтры старого образца.

Скорая фильтрация отличается большой гибкостью и приспособляемостью к изменяющемуся составу воды, а дополненная хлорированием, она может хорошо справляться с очень сильно загрязненными водами. Хлорирование обязательно применяется в настоящее время в Соединенных штатах и после медленных фильтров и после двойной фильтрации. Этим подчеркивается, что фильтрация, даже двойная, не может дать всегда безукоризненный фильтрат, в особенности при очень мутной воде.

В крупных установках всегда можно иметь хорошо обученный персонал, поэтому для них уход за скорыми фильтрами не представляет затруднений. Иначе дело обстоит в мелких установках: они скорее могут справиться с медленной фильтрацией, уход за скорыми фильтрами им труден. Помочь делу можно организацией хорошего надзора и руководства со стороны центральных органов. В Америке эта роль выполняется с большим успехом органами здравоохранения, которые наделены для этой цели большими полномочиями.

Все проекты устройства, переустройства и расширения водопроводных и канализационных сооружений должны обязательно

представляться на утверждение отделов здравоохранения, и им предоставлено право окончательно решать все эти вопросы.

Все водопроводные сооружения обязаны в определенные сроки доставлять им отчеты, составленные по определенной форме, о своей деятельности. Органы здравоохранения, имеющие в своем составе технические бюро с компетентными специалистами-инженерами, следят непрерывно за работой фильтровальных станций и дают все необходимые указания для правильного ведения дела. Только такая организация может поставить правильно работу мелких фильтровальных установок.

§ 81. Двойная фильтрация. Английская фильтрация в своем чистом виде отживает свой век. В Америке в последнее время строятся почти исключительно быстрые фильтры, и старые установки английских фильтров при расширении очистных сооружений перестраиваются на быстрые фильтры новейшей конструкции. В Европе быстрые фильтры не получили еще широкого распространения как самостоятельные установки, но зато они получают все большее распространение как предварительные фильтры, расположенные между отстойниками и английскими фильтрами. К двойной фильтрации должны были перейти Москва и Днепропетровск, построившие сначала только английские фильтры. В последнее время водопроводы Лондона и многих других городов переходят на тот же путь.

Двойная фильтрация улучшает качество фильтрата, облегчает эксплуатацию английских фильтров удлинняя время между чистками, она позволяет значительно увеличить скорость фильтрации на английских фильтрах; наконец двойная фильтрация с коагулированием дает возможность освобождать воду от окраски, чего английские фильтры не могут сделать. Обычно при двойной фильтрации коагулирование применяется только во время половодья и паводков, в нормальное же время фильтрация идет без коагулирования.

На английских фильтрах без префильтров скорость фильтрации колеблется около 100 м/час. Такой скорости приходится держаться потому, что сколько-нибудь значительное увеличение ее ведет к ухудшению фильтрата. Из этого нужно было бы сделать вывод, что при увеличении скорости фильтрации в два-три десятка раз результаты получаются настолько плохие, что такая фильтрация не будет иметь никакого смысла. Однако действительность опровергла это предположение. В американских фильтрах, работающих с коагуляцией, скорость фильтрации доходит до 5 м/час. Хорошие результаты их работы приписывали исключительно особому характеру их пленки из водной окиси алюминия; казалось, что без такой пленки работа быстрых фильтров невозможна. Быстрые фильтры однако и без коагуляции могут выполнять большую работу; правда, они дают меньшую степень очистки,

чем с коагуляцией, но тем не менее они дают все же очень значительную степень очистки воды.

Вот некоторые данные о работе днепропетровских фильтров.

Таблица 39.

Количество бактерий в днепропетровских фильтрах.

1925 г.	В Днепре	После 8 часов отстоя	После пре-фильтров	После английских фильтров
11/IV . .	1 200	600	190	70
6/IV . . .	2 250	900	210	75
7/V . . .	1 000	400	100	42
26/V . . .	3 000	800	195	60

Предварительные скорые фильтры, работающие без коагуляции со скоростью около 3 м/час, задерживают до 75% попадающих на них бактерий, а вместе с отстойником — более 90% бактерий днепровской воды.

Из таблицы анализов московского водопровода видно также, что префильтры задерживают 54—70% бактерий из проходящей через них воды, а вместе с отстойниками — до 80% бактерий москварецкой воды. Английские фильтры задерживают в среднем 90% бактерий из пропускаемой ими воды, а все вместе фильтры и отстойники задерживают свыше 99% бактерий москварецкой воды.

Днепропетровские медленные фильтры дают гораздо худшие результаты, чем московские; возможно, что имеется какой-нибудь недостаток в конструкции или уходе. Скорость фильтрации на английских фильтрах в Москве в среднем за год — 84 мм/час — очень низка для двойной фильтрации. В Днепропетровске скорость фильтрации на медленных фильтрах раза в два выше московской. Это обстоятельство не должно было бы отразиться на ухудшении работы днепропетровских фильтров, так как в заграничных установках при двойной фильтрации скорость на английских фильтрах увеличивали вдвое и даже втрое против нормы — 100 мм/час — без ухудшения фильтрата.

Город Альтона-Гамбург¹ до 1917 г. очищал воду 18 английскими фильтрами с 18 800 кв. м поверхности. Производительность

¹«Das Gas und Wasserfach», № 4, 1925, «Erfahrungen mit dem Betrieb von Schnellfiltern...» Lichteim.

их — 40 000 куб. м в сутки. В 1917 г. вместо расширения английских фильтров для увеличения производительности станции построили 12 американских фильтров по 32 кв. м, круглых с граблями. Восемь лет эксплуатации дали очень хорошие результаты. Прекратились затруднения в очистке воды во время половодья и во время цветения воды — массового размножения диатомовых водорослей. Количество годичных чисток фильтров уменьшилось с 270 до 85. Фильтры могли работать без очистки от 3 до 5 месяцев, что давало возможность не производить чистку зимой, когда открытые фильтры покрыты льдом. Количество промытого за год песка уменьшилось с 5 500 куб. м до 1 400; соответственно сократился и расход воды на промывку. На промывку 1 куб. м песка идет 3 куб. м воды. Скорые фильтры требовали не более 5 промывок в день (на 12 фильтров). Расход на промывку — 1,7% фильтрованной воды. Во время очень мутной воды в реке промывку фильтров приходится производить иногда через 3—5 часов. Насколько увеличена скорость фильтрации на английских фильтрах — к сожалению не указано.

Опыты двойной фильтрации без коагулирования, производившиеся в последние годы в Лондоне, дали очень хорошие результаты. На основании этих опытов была разрешена постройка префильтров на одном из лондонских водопроводов в Барн-Элмсе на 28 500 куб. м в сутки. Префильтры работали со скоростью 5 куб. м в час, обрабатывая воду реки Темзы после трехнедельного ее отстаивания. Уменьшение числа бактерий после префильтров было свыше 50%.

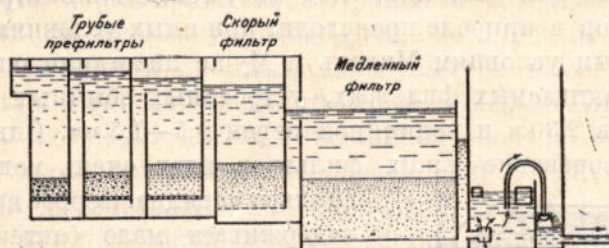
Медленные фильтры работали со скоростью больше обычной, не требовали чистки более 100 дней. В 1923 г. решено строить префильтры и для других станций лондонского водопровода.

При устройстве префильтров подражали конструкциям американских фильтров, но с разными упрощениями и видоизменениями. Дренаж обыкновенно устраивается в виде двойного пола, сделанного из продырявленных железобетонных плит (Москва), медных продырявленных листов (Днепропетровск). На втором полу располагаются два-три слоя гравия, а затем песок. Площадь отверстий во втором полу обыкновенно настолько велика (1—10%), что сопротивление для прохода промывной воды через пол ничтожно, и потому равномерное распределение воды при промывке не обеспечено. Жолоба, отводящие промывную воду, расположены очень редко, секундный расход промывной воды недостаточен.

При проектировании фильтров необходимо полностью использовать все то, что добыто многолетними и обширными опытами со скорыми фильтрами в Америке. Конструкция префильтров должна быть тождественна с конструкцией быстрых фильтров новейшего типа.

В качестве префильтров кое-где применяются предложенные

Пюеш-Шабаль (Puech-Chabal et Cie) грубые фильтры с каскадами. Каскады служат для аэрирования воды, грубые фильтры задерживают взвешенные примеси. Подготовленная таким образом вода очищается далее на скорых фильтрах и наконец на английских фильтрах. Черт. 110 схематически изображает расположение фильтров Пюеш-Шабаля: сначала идут грубые фильтры с зернами, последовательно 15—20 мм, 10—15, 7—10, 4—7 мм, с толщиной слоя от 30 до 40 см. Между фильтрами расположены одинарные и тройные перепады; затем идет скорый фильтр одного из обычных типов и наконец медленный английский фильтр.



Черт. 110.

В Сюрене (Париж) установка Пюеш-Шабаля имеет такие площади фильтров: 1) 146 кв. м 2) 246, 3) 447, 4) 741, префильтр 2 160 и медленный фильтр 12 600 кв. м. Скорость на медленных фильтрах 2,4—3,1 м в день. Промывка грубых фильтров производится обратным током воды, но этого недостаточно, необходимо еще ворошить гравий лопатой вручную. Такого типа фильтры действуют на тифлисском водопроводе. Устроены они кое-где и в других городах (Магдебург, Нанси), но очевидно широкого распространения не получают. Устройство и эксплуатация сложны, а выполняют они только роль отстойников.

Промытый песок, как уже было указано выше, захватывается инжектором и вместе с поступающей коагулированной водой снова идет на фильтр. Так совершается непрерывный круговорот движущегося песка. Часть коагулированной воды поступает на фильтр сбоку по трубе *D*.

Через остающийся в середине конуса неподвижный песок вода фильтруется и через дренаж поступает в водовод чистой воды. Время от времени весь песок промывается обратным током чистой воды. Грязная вода собирается кольцевым жолобом и отводится трубой *K* в канализацию. Потеря напора фильтра от 1,8 вначале до 3,3 м в конце работы перед промывкой. Промывка совершается от 1 до 7 раз в неделю. На промывку фильтра идет до 2% воды и столько же теряется на постоянную промывку движущегося песка.

30 фильтров описанной конструкции обслуживают большой город с 512 000 населения (1920), питающийся водой из озера Онтарио. Очевидно, что этот оригинальный способ фильтрации можно применить к такой сравнительно чистой воде, как вода большого озера Онтарио, но вряд ли такой способ очистки оказался бы пригодным для загрязненной речной воды, по крайней мере без предварительного отстаивания. Стоимость всей установки 1 222 256 долларов.

§ 84. Искусственная фильтрация через естественные грунты.

Очистка речной воды не всегда производится на искусственно устроенных фильтрах. При благоприятных условиях речную воду можно очищать, заставляя ее фильтроваться через песчаные пласты, пересекаемые ею. Многие водопроводы пользуются этим способом фильтрации и получают очищенную речную воду без устройства фильтров.

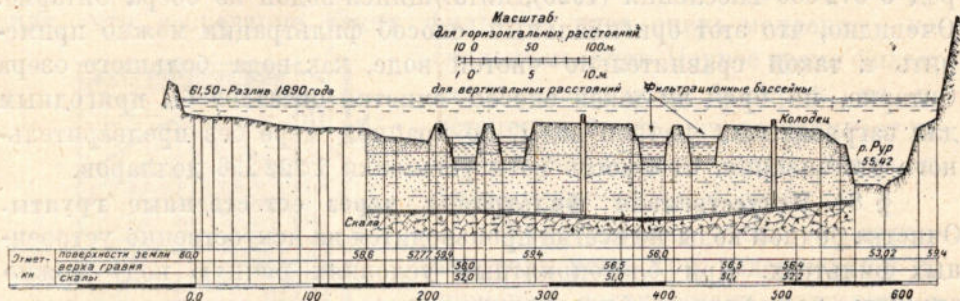
Сооружения для естественной фильтрации речной воды состоят из инфильтрационных труб и галерей или из буровых колодцев. И те и другие сооружения располагаются вдоль берега реки на небольшом расстоянии от уреза воды. Понижение уровня воды в галереях и колодцах путем откачки создает разность напоров в реке и галерее, под влиянием которой речная вода и просачивается через песок в водоприемное сооружение.

Самое грандиозное в мире применение этого способа забора и очистки речной и зарудной воды представляет водоснабжение Рурского бассейна из реки Рура. Через Рурский каменноугольный и промышленный бассейн проходят четыре притока Рейна. Три из них — Липпе, Емшер и Вуппер — превращены частью или полностью в сточные каналы для удаления канализационных вод, а четвертая, более обильная водой — Рур, тщательно предохраняется от загрязнений и служит для питьевых целей. Расход реки Рура однако недостаточен для современных потребностей бассейна, поэтому на ней и ее притоках сооружено 12 заград. общей емкостью 271 000 000 куб. м и стоимостью 42 500 000 марок.

Ложе реки Рура состоит из крупного песка, это обстоятельство дает возможность легко фильтровать рурскую воду через грунт, откачивая ее из водосборных галерей и буровых колодцев. И те и другие располагаются вдоль берега реки в расстоянии 50 м от воды.

Очень большие размеры рурского водоснабжения — 1,5 млн. куб. м в сутки — заставили увеличить искусственно площадь фильтрации путем устройства многочисленных бассейнов-фильтров в долине реки Рура. На черт. 112 изображены в разрезе 4 фильтрационных бассейна около реки Рура. Тут же видно положение сборных инфильтрационных галерей и смотровых колодцев.

Размеры фильтрационных бассейнов 300—400 м длины, 20 м ширины внизу по дну, верхняя же ширина определяется одинарными откосами (вымощенными); глубина воды 2,25 м. На дне уложен слой песка толщиной 0,5 м. Песок служит фильтрационным материа-



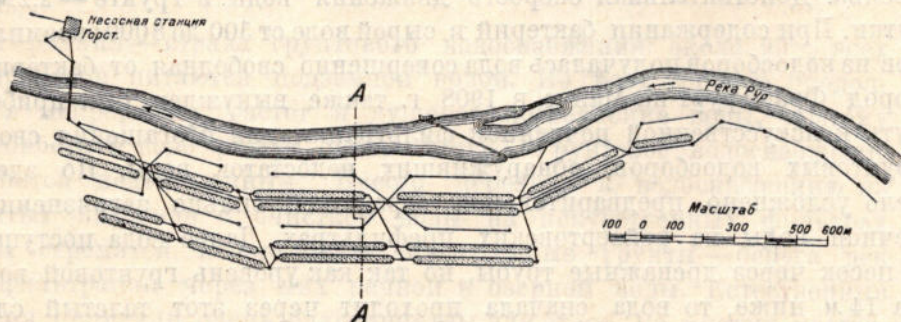
лом, который в случае загрязнения может быть возобновлен. Бассейны располагают в два ряда, чтобы не прекращать движения воды в земле и регулировать таким образом горизонт воды в грунте во время чистки одного ряда. Замечено, что сильное нарушение обычного режима движения воды ухудшает качество воды.

На черт. 113 изображен план расположения фильтрационных бассейнов при одной из насосных станций рурского водоснабжения, именно при станции Нарст. Разрез на черт. 112 сделан по линии АА. Скорость фильтрации приблизительно 2,4 м в сутки, т. е. 2,4 куб. м на 1 квадратный метр поверхности песка. Вода в фильтрационные бассейны подводится самотеком из вышележащей запруды.

Вода реки Рура мягка, жесткость ее 3—6°, сухой остаток около 150 мг, число бактерий колеблется от 3 000 до 30 000 в 1 куб. см. Чистая вода, забираемая из колодцев и дренажных труб, профильтрованная через гравий, обыкновенно показывает число бактерий меньше 100. Вода, прошедшая через фильтрационные бассейны, содержит меньше бактерий, чем профильтрованная только через гравий. Скорость фильт-

рации через гравий 12—20 часов при расстоянии колодца 50 м реки. Колебания уровней воды во время половодья сказываются увеличением числа бактерий в забираемой воде до нескольких сотен. Колодцы при запрудах, где уровень постояннее, не дают таких колебаний числа бактерий.

Вода берется из Рура в 5—6 местах. Насосная станция Мюльгейм-Струм забирает воду из 282 колодцев глубиной 5 м, растянутых на протяжении 5 км. Гельсенкирхенский водопровод, самый крупный в Германии, имеет 3 станции: 1) при Лангеншейде с 56 колодцами в расстоянии от Рура 25—32 м и взаимном расстоянии 13 м и 13 фильтрационными бассейнами с соответствующим количеством колодцев при них, 2) при Виттене с 12 фильтрационными бассейнами и 3) при Штееле с 32 бассейнами. Полезная площадь всех фильтрационных бассейнов — 320 820 кв. м. При фильтрации воды через дно реки Рура,



Черт. 113.

на нем образуется конечно илистая пленка. Естественное смывание ее происходит во время быстрого течения в половодье. Пленка в фильтрационных бассейнах снимается раза 4 в год. Перед бассейнами располагаются иногда отстойники, вообще же вода отстаивается в запрудах.

Фильтрационные бассейны представляют собою упрощенные дешевые медленные фильтры. Благодаря старательному и умелому уходу водоприемные и очистные в то же время сооружения рурского водоснабжения дают воду удовлетворительную в санитарном отношении. Для еще большей гарантии качества воды применяется кроме того еще хлорирование.

Грандиозному развитию описанной системы очистки рурской воды предшествовали довольно многочисленные в Германии более мелкие водопроводные сооружения. Хемницкая установка такого типа — самая старая — существует уже свыше 50 лет. Водоприемные сооружения состоят из каменных колодцев 5 м глубиной, расположенных вдоль реки Цвениг, и питаются грунтовой водой. При недостатке

грунтовой воды из реки Цвениг подается вода в широкий фильтрационный канал, расположенный в расстоянии 40 м от колодцев параллельно реке. Канал выкопан до гравия, и на дне его уложен слой песка толщиной 0,4 м. Вода, поднятая в реке небольшой запрудой, подводится самотеком к каналу и фильтруется через песок. Кроме того для обогащения грунтовой воды вся площадь луга, усаженного фруктовыми деревьями, 28 га, по временам орошается из реки Цвениг. Производительность всей установки — 9 000 куб. м в сутки.

Для города Готенбурга Рихерт построил в 1898 г. подобное же водосборное сооружение. Вода из реки подавалась в два инфильтрационных бассейна общей площадью 5 600 кв. м и непосредственно питала грунтовую воду. Водосборные колодцы расположены в расстоянии 150—250 м от бассейнов и доставляют ежедневно 6 000 куб. м. Путь от бассейна до водосборных колодцев вода проделывает в три месяца. Действительная скорость движения воды в грунте — 2,2 м в сутки. При содержании бактерий в сырой воде от 500 до 8000 экземпляров из водосборов получалась вода совершенно свободная от бактерий. Город Франкфурт-на-Майне в 1908 г. также вынужден был прибегнуть к искусственной почвенной фильтрации для обогащения своих грунтовых водосборов, обнаруживших недостаток воды. Но здесь дело усложнено предварительной обработкой сильно загрязненной речной воды на рейзертовских префильтрах. Далее вода поступает в песок через дренажные трубы, но так как уровень грунтовой воды на 14 м ниже, то вода сначала проходит через этот толстый слой безводного песка, прежде чем соединиться с грунтовой водой. Водосборные сооружения расположены в расстоянии 300 м параллельно оросительному дренажу. Скорость движения воды 0,5 м в сутки при падении уровня грунтовой воды 1:210. Для прохождения в сухом песке 14 м вертикального расстояния требуется 3 недели.

Примеры искусственной фильтрации через естественные грунты встречаются и у нас. Один из водопроводов Рутченковского рудоуправления (Донбасс) питается водой из запруды в балке Бабаковой. На берегу пруда в скале песчаника высечен глубокий шахтный колодец. Вода из запруды просачивается через наносы балки и песчаник в колодец, откуда насосами и подается в Рутченково.

Насосная станция Голубовского рудоуправления берет воду также из шахтного колодца, высеченного в песчанике на берегу реки Лугани, и питается как грунтовой водой песчаника, так и просачивающейся речной водой.

Источники сталинского водопровода — две скважины в долине реки Кальмиуса — питаются главным образом грунтовой водой долины и фильтрующейся водой Кальмиуса. Фильтрация происходит через чернозем и подстилающие его илестые наносы. Для усиления сталин-

ского водоснабжения автором было предложено устройство плотины в долине Кальмиуса ниже расположения скважин таким образом, что скважины оказались бы в воде. Просачиванием прудовой воды через дно и была бы обеспечена необходимая производительность скважин. Титр *bas. coli* в сталинских скважинах обычно бывает 100 и выше. Только во время поволоды условия фильтрации сильно меняются и качество воды ухудшается.

В некоторых местах искусственной фильтрации через естественные грунты пользуется само население, в то время как наша техника не уделяет этому вопросу своего внимания. «Во многих местах Николаевщины приходится устраивать пруды (ставки), использовать атмосферную воду... Колодцы, устраиваемые ниже ставок, обильны водой. Этого способа придерживаются на николаевщине многие хозяйства». (Николаевщина, Краеведческий сборник, Николаев 1926 г., стр. 35.)

Германия — страна грунтового водоснабжения: около 90% всех водопроводов питаются подземной водой. Но рост городов продолжается непрерывно, растет и душевое потребление воды, поэтому потребности в воде растут очень быстро. Грунтовое водоснабжение становится недостаточным. Вместо перехода к водоснабжению из открытых водоемов с очисткой воды на искусственных фильтрах немцы стремятся использовать естественные грунты — берега рек для фильтрации через них речной и озерной воды. Естественные условия Германии очень благоприятны для этого. Во многих местах, как и в долине Рура, речное ложе состоит из крупного песка и гравия, легко фильтрующих воду. Рурское водоснабжение представляет интереснейший образчик применения этих методов добывания и очистки воды.

Интересна история берлинского водоснабжения. До середины прошлого столетия Берлин питался из грунтовых колодцев. Первый водопровод построен в 1856 г. Вода забиралась из реки Шпрее и очищалась на песочных фильтрах. В 1867 г. средний суточный расход был 25 000 куб. м; в 1876 г. — 48 000 куб. м при душевом расходе 90 л в день.

При расширении водопровода в 1878 г. новый водопровод при озере Тегель был основан уже на грунтовой воде. Водосборы состояли из колодцев, соединенных сифоном, секундная подача 0,5 куб. м, но в грунтовой воде оказалось железо, освободиться от него не умели, поэтому в 1883 г. переделали Тегельскую станцию на забор озерной воды с очисткой ее на медленных фильтрах. Ввиду недостатка воды в городе в 1888 г. расширили вдвое Тегельскую станцию, построили еще новые фильтры.

В это время все попытки очистить воду от железа оказались

неудачными, поэтому решено было навсегда отказаться от проектов грунтового водоснабжения, и проект нового расширения водоснабжения намечал забор воды в озере Мюггелзее и очистку ее на английских фильтрах. К 1896 г. станция на Мюггелзее была уже развита до подачи 1,5 куб. м в секунду. На этом развитие водоснабжения из открытых водоемов остановилось, так как дальнейшими изысканиями по обезжелезиванию воды, производившимися в разных местах Германии, был найден наконец простой и дешевый способ освобождения воды от железа: аэрация с последующей фильтрацией. Гидрологические же изыскания показали, что в окрестностях Берлина можно получить большие количества подземной воды с глубины 50 м из пластов крупного песка и гравия. Вода же озер стала сильно загрязняться спуском канализационных вод соседних пригородов. Все эти обстоятельства заставили снова перейти к грунтовому водоснабжению. С 1900 г. начинается перестройка Тегельской станции, а позднее и станции при Мюггелзее на грунтовое водоснабжение.

К 1907 г. закончилась перестройка станции Мюггелзее, и Берлин целиком перешел на подземное водоснабжение. На Мюггелзее устроено 350 буровых колодцев 40—50 м глубиной, 230 мм в диаметре, соединенных тремя сифонными линиями с водоприемником насосной станции. Общая длина сифонных водоводов 9 км. Вода обезжелезивается аэрацией и фильтрацией на фильтрах, служивших ранее для очистки озерной воды.

Производительность станции Мюггелзее 190 000 куб. м.

Производительность станции Тегель 86 000 » »

Вместе 275 000 куб. м.

Дальнейший рост города и потребления воды заставили искать грунтовую воду еще в других местах. Но даже те мощные потоки грунтовой воды, которые имеются вокруг Берлина, оказываются недостаточными, и Берлину приходится снова обращаться к озерной воде. Но теперь озерная вода подвергается фильтрации через естественный грунт — крупный песок своего дна и берегов. Станция на озере Ванзее берет воду из колодцев, расположенных на самом берегу, но с глубины 25 м фильтрование через такой слой песка и гравия дает хорошо очищенную воду.

ГЛАВА XIX.

ДЕЗИНФЕКЦИЯ ВОДЫ.

А. ХЛОРИРОВАНИЕ.

§ 85. Хлорирование воды белильной известью. Дезинфицирующие свойства белильной извести известны давно. Уже в 1854 г. она употреблялась некоторыми английскими исследователями для дезинфекции сточных вод. В 1885 г. Американская ассоциация здравоохранения рекомендовала ее как самое дешевое и действительное дезинфицирующее средство. Лабораторные работы по дезинфекции белильной известью воды относятся к 90-м годам прошлого столетия. В 1897 г. в Мэдстоне, а в 1904/05 г. в Линкольне (Англия) она впервые применяется в широком масштабе для дезинфекции водопроводной сети во время тифозной эпидемии. В 1908 г. начинается успешное применение белильной извести для дезинфекции питьевой воды в Джерси-Сити и Чикаго, и с этого времени хлорирование в несколько лет распространяется по всем Соединенным штатам.

У нас хлорирование впервые, насколько мне известно, применено для нижегородского ярмарочного водопровода в 1910 г.¹, где оно дало хорошие результаты и оценено было инженером И. Ф. Войткевичем по достоинству. Однако такая правильная оценка не получила тогда общего признания ни у нас, ни в Западной Европе. Причиной этого было повидимому то обстоятельство, что от хлорирования ожидали полной стерилизации воды, между тем как в дозах, наиболее удобных для практики, оно не дает полной стерилизации.

Интересно здесь отметить, что этот недостаток хлорирования присущ всем остальным способам очистки и стерилизации воды. Все способы фильтрования и стерилизации — озоном, ультрафиолетовыми лучами и пр. удаляют из воды громадное количество бактерий, но достижение полной стерилизации оказывается трудным. Однако сведение количества бактерий к нескольким единицам в 1 см³ воды практически, т. е. по санитарным результатам, равносильно полной стерилизации.

¹ И. Ф. Войткевич, Очистка питьевой воды хлором, 1915 г.

Непризнанное вначале в Европе хлорирование получило широкое распространение в Америке, и уже после этого только начинает распространяться в Европе.

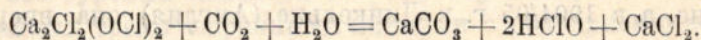
Вначале хлорирование производилось хлорной или белильной известью, получаемой насыщением гашеной извести хлором и представляющей собой смесь гашеной извести, хлористого кальция и хлорноватистокислого кальция (гипохлорита).



этот состав дает 39% активного хлора. Активным веществом белильной извести является гипохлорит кальция Ca(OCl)_2 . Хлор же, потраченный на образование CaCl_2 , бесполезен для стерилизации.

Под влиянием воды Ca(OCl)_2 выделяет O_2 . Кислород в состоянии выделения действует как сильный окислитель—озон. Таким образом хлорирование действует как озонирование.

Реакция белильной извести с водой приблизительно может быть представлена в следующем виде:



Хлорноватистая кислота, разлагаясь, выделяет 2HCl и O_2 .

Однако действие хлора не ограничивается выделением из воды кислорода, хлор вступает также в соединение с белковым веществом бактерий и таким образом убивает их. Кроме того хлор может и разлагать некоторые вещества: например с фенолом хлор образует хлорофенол, а дальнейшее прибавление хлора разлагает хлорофенол; с аммиаком хлор образует хлорамид и т. д.

Для стерилизации воды обыкновенно применяется количество активного хлора 0,2—1 м на литр. 1 м Cl выделяет 0,75 м озона O_3 . Если бы выделяемый хлором кислород одинаково действовал на все органические примеси воды, тогда его стерилизующее действие в такой дозе было бы ничтожно.

На окисление органических веществ речной воды требуется около 2—5 м и более кислорода; при дозе хлора в 0,3—0,5 м была бы окислена только 0,1 этих веществ, а следовательно и такая же ничтожная часть бактерий была бы убита, если бы хлор одинаково действовал на все органические вещества. В действительности же хлор действует прежде всего на живые организмы, убивая их. Вот почему оказывается достаточно таких небольших доз хлора для получения почти полной стерилизации.

Действие хлора на бактерии иллюстрируется следующими опытами. К воде, содержащей 232 000 бактерий в 1 куб. см воды, прибав-

лялись разные дозы хлора (белильной извести), и получились следующие результаты:

Таблица 40.
Действие хлора на бактерии.

	Доза активного хлора в миллиграммах на литр		
	0,5	1,0	2,0
	Количество бактерий в 1 куб. см		
До опыта	232 000	232 000	232 000
Через 0,5 часа	65 000	2 300	50
» 1 »	44 000	180	36
» 2 »	29 000	111	23
» 4 »	37 000	85	—

Стерилизация мутной воды происходит труднее. В каждом комочке ила заключается масса бактерий, кислород действует прежде всего на поверхность комочка, и тут он может быть израсходован весь; а внутри комочка останутся нетронутые бактерии. Для успеха стерилизации воды малыми дозами хлора, воду необходимо осветлить фильтрованием или коагуляцией. Можно стерилизовать и грязные воды, но тогда доза хлора должна быть значительно увеличена. Для хлорирования канализационных вод применяют 5—20 мг активного хлора на литр.

Следующая таблица представляет результаты хлорирования белильной известью волжской воды после фильтров Джуэлла в 1914 г. на Нижегородской ярмарке.

Таблица 41.

Результаты хлорирования белильной известью волжской воды.

Дозы хлора	Даты	Всего дней	Средняя температура	Число бактерий в реке			В 1 куб. см воды в сети		
				от	до	среднее	от	до	среднее
0,27	25/VIII—5/IX	12	8,6	760	5 400	2 550	0	27	12
0,3	3/VIII—20/VIII	16	13,8	170	17 660	3 070	0	22	5,4
1,3	6/IX—10/IX	5	9,6	490	1 450	320	0	23	5,2
1,7—2,0	21/VIII—24/VIII	4	9,6	1 240	1 700	1 480	0	3	1,25

При хлорировании воды в отстойниках с последующей фильтрацией в предыдущие годы требовалось для достижения такого же результата вводить хлор в количествах 2—4 мг на литр.

Хлорная известь, при хранении в сухом состоянии, самопроизвольно разлагается с выделением кислорода. Теплота и свет ускоряют разложение. Для предупреждения взрыва хранить ее необходимо в сухом месте, хорошо вентилируемом. Перед применением извести для стерилизации необходимо определить содержание активного хлора в ней. В полежавшей белильной извести его бывает около 25%.

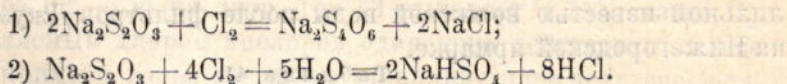
На практике хлорную известь удобно применять в растворе не крепче 0,5—1%, чтобы избежать отложения осадков в трубках. Растворимость же белильной извести в воде равна 1:20 частей воды по весу.

Хотя хлорная известь и быстро убивает бактерии, но хлорированную воду лучше употреблять спустя некоторое время, чтобы дать возможность израсходоваться всему хлору. Если доза хлора взята слишком большая, в воде появляется неприятный привкус.

Порча вкуса воды большими дозами хлора заставляет применять хлорирование в возможно меньших дозах. В этом и заключается трудность хлорирования. Для данного образца воды должна быть подобрана такая доза, которая давала бы хорошие бактериологические результаты и в то же время не оставляла в воде неприятного вкуса.

Избыточный хлор можно удалить из воды дехлораторами: серноватистокислым натром (гипосульфитом) или сернистокислым натром.

Действие серноватистокислого натра выражается следующими реакциями:



Соединения, получаемые в результате этих реакций, на вкус различимы и для здоровья безвредны, но избыток $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ портит вкус воды, поэтому дехлорирование требует точной дозировки реактива в зависимости от содержания свободного хлора в воде. Трудность непрерывного контроля за дозировкой реактивов делает этот способ практически трудно применимым. Для дехлорирования воды применяется с успехом также марганцовокислый калий.

В некоторых местах (Франция) вместо белильной извести для стерилизации воды применяется хлорноватистонатриевая соль (железная вода NaClO). Действие ее аналогично действию $\text{Ca}(\text{OCl})_2$; с водой NaOCl дает HOCl , которая выделяет HCl и O ,

Вследствие недостатка белильной извести во время войны в Ленинграде на водопроводе добывали NaOCl из поваренной соли посредством электролиза и применяли ее для хлорирования невиской воды.

§ 86. Хлорирование газообразным хлором. В последние годы белильная известь стала вытесняться жидким хлором. Действие чистого хлора на воду энергичнее белильной извести, потому что из извести хлор выделяется не сразу.

Процесс стерилизации хлором совершается очень быстро—в течение нескольких минут.

Хлор в виде газа добывается посредством электролиза из поваренной соли; применяется он на содовых заводах для производства белильной извести. В последнее время в процессах беления хлор стал заменять белильную известь, а также находит все более широкое применение на водопроводах. Полученный электролизом хлор высушивается, очищается и сгущается в жидкость.

Табл. 42 дает давление паров жидкого хлора при разных температурах.

Таблица 42.

Давление паров хлора при разных температурах.

Температура	Давление в атмосферах	Температура	Давление в атмосферах	Температура	Давление в атмосферах
-20	1,90	+15	5,95	+60	19,25
-15	2,31	20	6,85	70	23,80
-10	2,72	25	7,88	80	29,40
- 5	3,25	30	9,05	90	35,70
0	3,8	35	10,03	100	43,00
+ 5	4,4	40	11,90		
+10	5,12	50	15,20		

При 0° и 760 мм давления один объем жидкого хлора дает 460 объемов газа. Удельный вес жидкого хлора—1,3, а газа—35,5 по отношению к водороду.

Растворимость хлора в воде при разных температурах и атмосферном давлении указана в табл. 43.

Хлор ядовит при вдыхании, поэтому при обращении с ним надо соблюдать большую осторожность и всегда иметь наготове противогазные маски. Хлор почти в 2,5 раза тяжелее воздуха, поэтому при утечке он скопляется внизу, в подвалах и пр.

Таблица 43.
Растворимость хлора.

Температура	Количество жидкого хлора в кг на 1 000 кг воды
0	14,6
10	9,8
20	7,16
30	5,72
40	4,59
50	3,93
60	3,29
70	2,79
80	2,23
90	1,27
100	0

Жидкий хлор в стальных баллонах с давлением 4—8 атмосфер в зависимости от температуры воздуха получается с химических заводов. При атмосферном давлении он превращается в газ и в таком виде или непосредственно смешивается с водой, подлежащей стерилизации, или сначала готовится хлорная вода, которая потом уже и подмешивается к водопроводной воде.

В настоящее время существует много автоматически действующих аппаратов для прибавления хлора к воде в определенных дозах. В Америке наиболее распространены аппараты фирмы Уоллес и Тирнан (Wallace and Tiernan).

Хлоратор состоит обыкновенно из редукционного вентиля, понижающего давление хлора, приспособления для дозировки хлора, т. е. газомера и смесителя. Хлоратор занимает очень мало места и работает автоматически. Преимущества стерилизации чистым хлором настолько велики, что применение белильной извести для этой цели отживает свой век.

В Северной Америке хлор необыкновенно быстро вытеснил белильную известь. Первая установка для хлорирования чистым хлором была устроена в г. Ниагара-Фолл летом 1912 г. с аппаратом Орнштейна. В следующем году Уоллес и Тирнан усовершенствовали

вали хлоратор и выпустили его в продажу. В 1913 г. хлорировалось белильной известью 6 400 000 *куб. м* в день.

В 1915 г. из 7 500 000 *куб. м* хлорируемой воды половина приходилась уже на чистый хлор, а к концу 1917 г. только 1 800 000 *куб. м* обрабатывалось белильной известью, а чистым хлором хлорировалось уже 13 000 000 *куб. м* в день. В 1924 г. белильной известью обрабатывалось не более 180 000 *куб. м*. Считают, что 70% населения Северной Америки пьет в настоящее время воду, хлорируемую на 6 000 установках.

Стоимость хлорирования на душу в год считается в один цент, т. е. две копейки.

При переменных расходах водопроводной воды необходима и переменная подача хлора. Это достигается автоматическими аппаратами, соединенными с водомером Вентури и регулирующими расход хлора пропорционально расходу водопроводной воды. Полной автоматичности однако достигнуть нельзя, так как доза хлора для одного и того же секундного расхода водопроводной воды должна меняться в зависимости от перемен в загрязнении воды и содержании бактерий.

Хлорирование жидким хлором дает лучшие результаты, чем белильной известью, но все же при обычных дозах, не требующих дехлорирования, хлор не дает полной стерилизации воды. Несмотря на это, хлорирование начинает играть большую роль в очистке питьевой воды. При фильтрации оно служит дополнительной мерой, улучшающей результат фильтрации. Значение этой меры в Соединенных штатах ценится настолько высоко, что в настоящее время все фильтрованные воды должны по закону подвергаться еще и хлорированию. При водоснабжении же из больших озер и запруд со сравнительно чистой водой (100—300 бактерий в 1 *куб. см*) ограничиваются одним хлорированием. Санитарное благополучие таких колоссальных городов, как Нью-Йорк, Чикаго, основано на хлорировании. Устройство фильтров для таких громадных расходов, как в Нью-Йорке и Чикаго—свыше 3 000 000 *куб. м* в сутки, стоило бы громадных денежных затрат. Хлорирование сделало ненужными такие затраты и обеспечило этим городам высокое санитарное состояние.

Хлорирование—самый простой и самый дешевый способ очистки воды, ему несомненно принадлежит большая будущность и в других странах. Для получения полной стерилизации необходимы однако большие дозы хлора. Если бы удалось изобрести аппарат, автоматически дехлорирующий воду, это дало бы возможность довести стерилизацию до совершенства.

Доза хлора, необходимая для успешного хлорирования воды, неодинакова для разных вод и зависит от степени загрязнения воды

органическими и некоторыми неорганическими веществами, кроме того хлоропоглощательная способность воды меняется вместе с температурой: при более высокой температуре вода поглощает и больше хлора, так как повышенная температура благоприятствует реакциям хлора с органическими и прочими веществами воды ¹. Оказывает влияние также и освещение.

Хлор действует неодинаково убийственно на всех бактерий: бактерии типа *coli* и тифозной палочки легче других убиваются хлором. Динер в своих опытах установил, что искусственно разведенные бактерии *coli*, в количестве сотен тысяч экземпляров на 1 куб. см дистиллированной воды легко убиваются дозами хлора 0,1 мг на литр.

Бактерии *coli*, свежевыделенные из фекалий, оказываются более живучими, чем прожившие некоторое время в воде, и требуют уже 0,2 мг хлора.

При прибавлении к воде пептона в количестве 1 мг на литр для уничтожения бактерий уже нужно около 0,2 мг, а при примеси пептона в количестве 10 мг нужно уже более 1 мг хлора. Этот опыт наглядно показывает, как сильно повышается хлоропоглощательная способность воды вместе с увеличением ее органического загрязнения.

Результаты стерилизации воды реки Марны даны в таблице 44.

Таблица 44.

Результаты стерилизации воды реки Марны.

	Число бактерий в 1 см	Число бактерий <i>coli</i> в 1 куб. см
Необработанная вода	13 000	3 000
Обработанная дозами хлора 0,2 мг	790	50
» » » 0,4 »	230	20
» » » 0,5 »	110	0
» » » 1,0 »	80	0
» » » 2,0 »	30	0
» » » 3,0 »	20	0

¹ В декабре 1927 г. вода г. Эльбы при температуре ниже 1° имела хлоропоглощательную способность меньше 0,1 мг на литр, при 6° — уже 0,2 мг и при 240° — 0,45 мг на литр.

Бактерии *coli* погибают уже при дозе 0,5, более же живучие виды бактерий и *Protozoa* остаются еще в количестве 20 штук и при 3 м хлора на литр.

Контроль за действием хлора производится посредством ортотоледина. Ортотоледин с хлором дает лимонно-желтую окраску.

Образец воды для испытания берется из водовода, к которому прибавляется хлор, на таком расстоянии от места хлорирования, чтобы хлор успел хорошо перемешаться с водой. Кран для взятия проб устраивается с трубкой, входящей внутрь на $\frac{1}{3}$ диаметра трубы. Перед взятием пробы вода спускается из крана в течение нескольких секунд, а потом набирается в бутылку или колбу.

После взбалтывания воде дают постоять в бутылке столько времени, чтобы с момента прибавления хлора прошло 10 минут. Затем испытываемую воду наливают в пробирку и на каждые 10 куб. см приливают одну каплю ортотоледина. Через две минуты наблюдают окраску смеси. Лимонно-желтый цвет указывает, что доза хлора достаточна. Оранжево-желтый цвет указывает на избыток хлора. Доза должна быть понижена.

Отсутствие окраски или слабая лимонная окраска свидетельствуют о недостаточности дозы хлора.

Вместо того чтобы определять на-глаз содержание хлора, лучше приготовить колориметр. Для этого достать три совершенно одинаковых бутылки или пробирки — № 1, 2 и 3. В № 1 готовится раствор хлора 0,1 м, а в № 2 — 0,2 м в литре и окрашиваются ортотоледином. Эти два номера и служат для сравнения испытуемого образца воды, наливаемой в № 3. Нормальная доза хлора должна давать окраску среднюю между № 1 и 2. Часто количество остаточного хлора держат ниже 0,1 м/литр.

Кроме ортотоледина применяется для определения остаточного хлора бензидин, диметилпарафенилендиамин и раствор крахмала с иодистым калием; последний реактив менее чувствителен. Первыми реактивами можно открыть 0,03 м хлора на литр.

Ольшевский (Германия) предложил аппарат, автоматически через каждые 10 минут показывающий остаточный хлор. К хлорированной воде автоматически прибавляется бензидин; по синей окраске, образуемой им с хлором, легко контролировать дозу хлорирования. По сообщению Брунса аппарат с успехом применяется на многих установках.

§ 87. Однократное и двойное хлорирование. Чаще всего хлор прибавляется к фильтрованной воде, но во многих местах производится хлорирование сырой воды. Такая практика хлорирования применяется с полным успехом в Лондоне к воде реки Темзы с 1916 г. для 2 000 000 жителей и реки Нью-Ривер с 1920 г. в течение зимних месяцев. Жалобы на плохой вкус появились только однажды в 1926 г. и быстро исчезли.

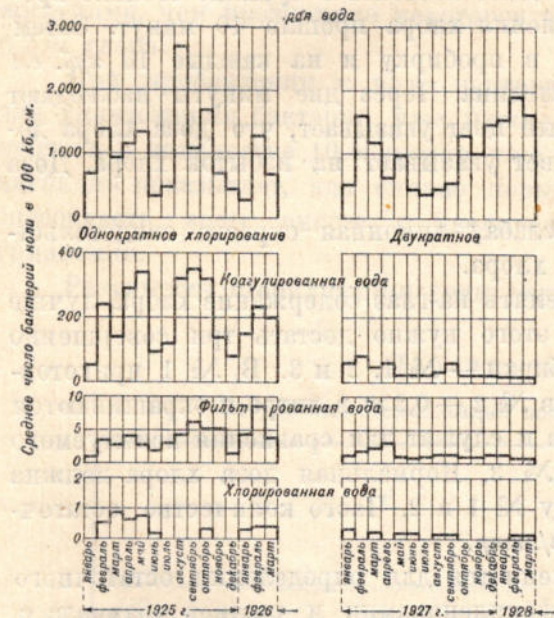
Для устранения привкуса применяются хлористый аммоний и марганцевокислый кальций. В Ростове на Дону хлорирование также применяется к сырой воде просто потому, что по конструкции установки трудно хлорировать фильтрованную воду. С января 1928 г. там работают хлораторы Орнштейна и Парадона. Дозы хлора — от 0,5 до 2,5 мг на литр — меньше зимой, больше летом.

Вместимость отстойника равна 40—50-минутному расходу. Зимой хлор вводят в начале отстойника. Во время оттепелей и помутнения воды и во время весеннего половодья в воде часто появляется аптечный привкус. Для устранения привкуса место прибавления хлора меняется и переносится на середину отстойника, а летом — и

на самый конец. Дозирование хлора ведется таким образом, чтобы в начале водопроводной сети свободного хлора было не более 0,1 мг.

Хлорирование белильной известью на водопроводах Рура производилось раньше дозами около 1 мг активного хлора; с введением же хлораторов с жидким хлором доза понижена до 0,5—0,3 мг и даже менее. Жалобы на привкус воды появлялись только в исключительных случаях, когда в воду попадали посторонние примеси, вроде фенола.

В самое последнее время



Черт. 114.

пробуют применять хлорирование дважды: в первый раз прибавляя хлор к сырой или коагулированной воде и второй раз — к фильтрованной воде. Растущее загрязнение воды в реках вынуждает усиливать обычные приемы очистки воды. Двойное хлорирование оказалось очень действительным средством для повышения степени очистки воды. Хлорирование сырой воды облегчает работу фильтров; после него хлорирование фильтрата производится очень малыми дозами, и количество остающегося свободного хлора после вторичного хлорирования сводится к минимуму, — этим устраняется возможность появления привкуса от избытка хлора.

Хлорирование сырой воды сильно понижает развитие водорослей

в открытых отстойниках и увеличивает продолжительность работы фильтров без промывки, уменьшает образование слизи на песчинках фильтра и склеивание песчинок в грязные шары (mud balls).

Прехлорирование задерживает также разложение осадка в отстойниках и вынос его хлопьев на фильтры, что дает возможность удлинить периоды между чистками отстойника.

В некоторых местах прехлорирование вело к уменьшению расхода коагулянта.

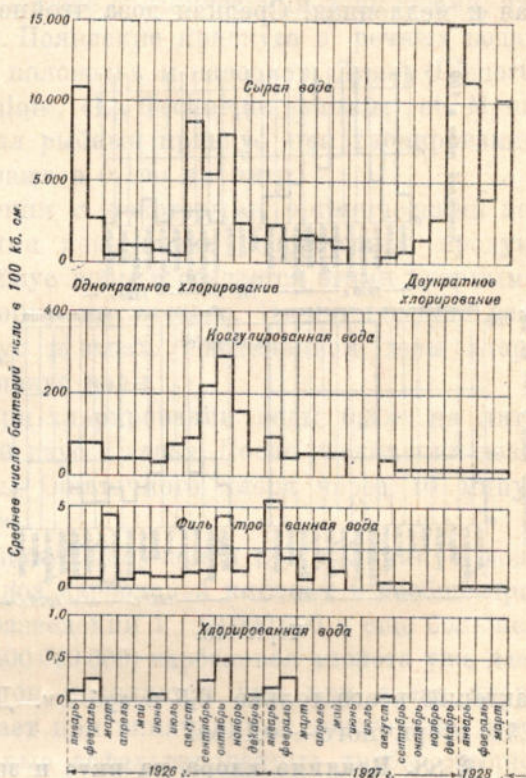
На диаграммах черт. 114 изображены результаты двойного хлорирования, введенного в Сандуски в 1927 г. с разрешения отдела здравоохранения штата Огайо. Левая диаграмма относится к времени однократного хлорирования, а правая — к времени двукратного хлорирования.

Двукратное хлорирование на всех стадиях очистки дает резкое уменьшение содержания бактерий coli в 100 куб. см.

Доза хлора, применявшаяся к сырой воде, была в среднем 0,37, к фильтрованной — 0,32, а всего — 0,69 м на литр.

Еще более благоприятные результаты дало введение двойного хлорирования в г. Уоррене (черт. 115). Доза хлора для сырой воды в среднем была 0,75, а после фильтров — 0,23 м. До двойного хлорирования доза хлора после фильтрации была 0,35. Коагулированная вода, поступавшая на фильтры, содержала от следов до 0,1 м остаточного хлора. Прехлорирование вызвало понижение расхода коагулянта на 33% и увеличило продолжительность работы фильтров на 20%.

Очистные сооружения должны давать не только хорошие средние результаты, но и временные отклонения от средних должны быть невелики, — в этом отношении двойное хлорирование дает еще лучшие результаты.



Черт. 115.

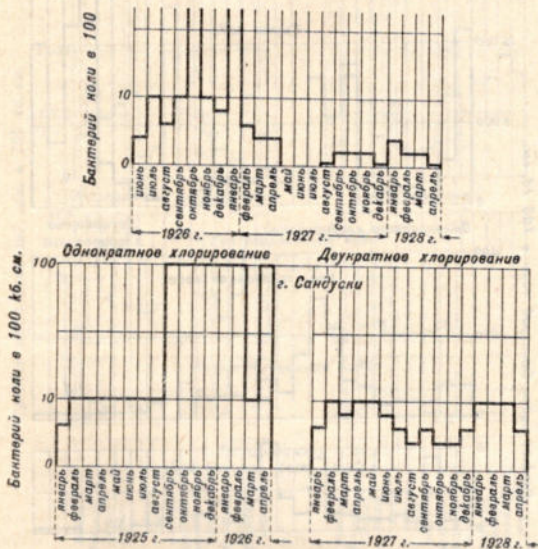
На черт. 116 показаны максимальные количества бактерий *coli*, попадавшие в очищенной воде. При однократном хлорировании в обоих городах число бактерий *coli* иногда повышается до громадной цифры 100 в 100 куб. см, тогда как при двойном хлорировании этот максимум не превосходил 10 в Сандуски и 4 в Уоррене.

Такие же благоприятные результаты получены применением двойного хлорирования в Канзас-Сити, Гогуэлле, Ниагара-Фолл и других городах.

Двойное хлорирование применяется и в Паукипси (Poughkeepsie. New York) для очистки очень загрязненной воды реки Гудзона. Кроме двойного хлорирования там применяется и двойная фильтрация, скорая и медленная. Средняя доза двойного хлорирования — 0,8¹.

В другом городе на реке Гудзоне — Ренсилере (Rensselaer) применяются дозы, необычные для Америки: 1,4—1,9 для сырой воды и 0,4—0,6 для фильтра та скорых фильтров. На фильтры вода поступает с избыточным хлором 0,5 мг на литр.

В Ралей (Raleigh N. C.) прехлорирование применяется не к сырой, а к коагулированной воде, — в результате работа фильтров без промывки удлинилась на 60%. В фильтрате не обнаруживается бактерий *coli*, а общее количество



Черт. 116.

бактерий всего только 0,5 в куб. см. Доза первого хлорирования — 0,32, вторичного — 0,16 мг.

§ 88. Влияние хлора на вкус и запах воды. При введении хлорирования во многих местах появились жалобы на плохой вкус воды. Привкус в воде при избытке хлора — явление общее. Средний человек способен различать привкус при дозах свободного хлора 0,4—0,5 мг на литр. Некоторые лица с особенно тонким вкусом различают и меньшие дозы. Хлорирование ведется таким образом, чтобы свободного хлора после 15 минут оставалось 0,05—0,2 мг, поэтому каза-

¹ «J. A. W. W. A.», декабрь, 1928. Progress in Chlorination of Water 1927—1928 by Enslow.

лось бы, что при правильной дозировке хлора привкуса в воде не должно быть, однако некоторые воды дают привкус и при слабых дозах хлора, причем вкус появляется не сразу, а спустя некоторое время. Вкус хлорированной воды бывает различен; то его характеризуют, как аптечный, рыбный, то — хлорный, подоформенный и наконец неопределенный. Если сырая вода обладает уже привкусом, то хлорирование его обыкновенно увеличивает.

Вкус, происходящий от избытка хлора, устраняется дехлорированием. Но привкусы, появляющиеся при небольших дозах хлора, очень упорны. Воды, бедные растворенными органическими веществами, обыкновенно не дают никакого привкуса при умеренных дозах хлора; наоборот, воды, сильно загрязненные органическими веществами, часто дают неприятный привкус. Появление привкуса в речных водах бывает обыкновенно во время половодья и паводков. Динер (Dienert, *Stérilisation des eaux par le chlore*, «La Technique sanitaire et Municipale», апрель 1928 г.) получал рыбный привкус при хлорировании речной воды дозами в 0,5 и даже в 0,1 м на литр.

Хлор вступает в соединения с некоторыми органическими веществами, жирами, выделяемыми некоторыми водорослями, продуктами разложения и пр., — привкус воды и создается этими хлорными соединениями. Хлорируя настойку из листьев, Элмс получал резкий и очень неприятный вкус и запах. Увеличением дозы хлора иногда можно уничтожить привкус воды.

В 1921 г. в Нью-Йорке при хлорировании воды 0,3 м на литр внезапно появился неприятный вкус и запах. После увеличения дозы до 0,7 вода сразу улучшилась. Остаточного хлора через 10 минут после прибавления было 0,28 м.

Особенно неприятный привкус получается при наличии в воде в растворе самых небольших доз карболовой кислоты и вообще продуктов перегонки смол. При разведении 1 : 20 000 000 и еще большем (Брунс указывает даже 1 : 500 000 000) карболовая кислота уже дает с хлором привкус подоформа, он появляется уже при дозах хлора 0,1 м на литр. Вкус не исчезает при кипячении и чувствуется даже сильнее в чае, супе и пр. Новые асфальтированные трубы обыкновенно тоже дают при хлорировании привкус воде. В одном из городов Рурского бассейна весной 1928 г. появился сильный привкус подоформа в воде. Оказалось, что крыша нового барака на водопроводной станции была смазана смолой. Перед появлением запаха был дождь, стоки с крыши попали на землю и через нее проникли в водосборные буровые колодцы водопровода. Фенол, крезол, бензол, ксилол, нафталин и другие продукты перегонки смол являются причиной самых неприятных привкусов и запахов в хлорированной воде. Они дают с хлором соединения (хлорофенол и др.), имеющие противный

вкус и запах. Фенол в небольших дозах поддается разложению бактериями на фильтрах. На песчаных фильтрах при фильтрации воды с небольшой примесью фенола развиваются различные микробы (*Bacterium lignefaciens*, *Bacterium phenolic*), которые переводят фенол в триоксицианаминовую кислоту, не дающую с хлором запаха. Если фенольная вода попадает на фильтры впервые, фенол проходит через фильтр, но если фильтр питается непрерывно фенольной водой, на нем развиваются бактерии и начинают разлагать фенол.

На опытном фильтре парижского водопровода Динер фильтровал воду, к которой прибавлял до 3 мг на литр фенола (карболовой кислоты). Первые шесть дней хлорирование фильтрованной воды сопровождалось появлением привкуса иодоформа, но затем вкус начал ослабевать и на десятый день исчез совсем. Если сразу увеличить дозу фенола, вкус появляется снова, так как фильтр приспособляется к определенной дозе фенола, поступающей на него постоянно («Technique sanitaire», апрель 1928 г.). Фенол, примешанный к сточным водам, разрушается биологическими фильтрами или активированным илом (Bach. «Zeitschrift für angewandte Chemie», 29, 1093—1098).

Хлорирование фенольной воды перед фильтрами будет сопровождаться привкусом иодоформа, поэтому для таких вод хлорирование нужно вести только после фильтров.

Путем увеличения дозы хлора—перехлорирования—можно разрушать хлорофенол и подобные соединения и таким образом избавить воду от неприятного вкуса и запаха. К этой мере прибегают часто, но при больших дозах хлора требуется последующее дехлорирование.

Кроме перехлорирования для борьбы с неприятными привкусами в воде применяются соли аммония, хлорамины и марганцевокислый калий $KMnO_4$. Привожу здесь дословно заключение А. Хаустина по этому вопросу:

«Условия, при которых применяется хлорирование, очень разнообразны, поэтому невозможно заранее точно сказать, какое из указанных средств окажется наилучшим для данного случая.

1. При применении аммиака или солей аммония необходимо, чтобы аммоний был прибавлен к воде и тщательно с ней перемешан до прибавления хлора.

2. Употребление хлорамина имеет то преимущество, что прибавление реактива производится в одном месте, но хлора расходует больше. Дихлорамины предупреждает появление вкуса и стерилизует воду так же хорошо, как одинаковая доза хлора или даже еще лучше.

Опыты в Гамптоне (Лондон) показали, что образование хлорамина можно достигать путем простого смешения растворов хлористого аммония NH_4Cl и хлора в отношениях, соответствующих их

молекулярному весу. В тех слабых растворах, какие применяют при простом хлорировании, можно рассчитывать на получение из реактивов 75% хлорамина.

3. KMnO_4 можно прибавлять к воде перед хлорированием, одновременно и после хлорирования — в этом его преимущество. Некоторые опыты требовали сравнительно больших доз KMnO_4 , но вообще говоря, он оказался хорошо действующим в дозах 0,27—0,96 мг на литр. Недостаток KMnO_4 — некоторое окрашивание воды, поэтому его не следует применять для вод с очень слабой органической загрязненностью.

4. Перехлорирование и дехлорирование представляет может быть самое действительное средство для предупреждения привкуса и быстрой и хорошей стерилизации. Этот процесс наиболее применим для вод высокой органической чистоты,» J. A. W. W. A. декабрь 1928, стр. 837).

По двадцатому отчету лондонского водопровода за 1925/26 г. хлористый аммоний и марганцевокислый калий применялись при хлорировании реки Нью-Ривер. При средней дозе хлора 0,283 мг на литр средняя доза NH_4Cl была 0,747 мг.

Прибавление аммония к хлорируемой воде замедляет процесс стерилизации, поэтому обработанная таким образом вода должна поступать к потребителю не ранее, как через 4 часа. Увеличением дозы хлора можно ускорить стерелизацию.

С января 1927 г. KMnO_4 начал применяться с полным успехом для уничтожения привкусов при хлорировании воды озера Онтарио в г. Рочестере. С января 1928 г. ту же меру начал применять г. Буффало с очень малыми дозами KMnO_4 — 0,03 мг на литр.

В южных штатах (Техас, Виргиния) хлорирование оказалось очень успешным в борьбе с водорослями в открытых резервуарах чистой воды и с быстрым загниванием осадка.

Аммоний, как указано, должен прибавляться непременно перед хлором. Если вода хлорирована и получила привкус, то последующее прибавление аммония не даст никаких результатов. Марганцевокислый калий уничтожает и уже образовавшийся привкус.

Рекомендуемая доза аммиака по отношению к хлору колеблется от 1:2 до 1:4.

В Лондоне марганцевокислый калий широко применяется во время половодья. Когда речная вода несильно загрязнена, прибавляют один хлор в дозе около 0,2. С увеличением мутности воды доза хлора увеличивается до наибольшей величины — 0,5. С увеличением дозы хлора начинается прибавление марганцевокислого калия от 0,2 до 0,9 мг на литр.

С успехом применяют марганцевокислый калий к воде реки Марны в Париже во время половодья и паводков.

Перекись хлора ClO_2 представляет собой более сильное дезинфекционное средство, чем хлор, и не дает привкуса к воде. К сожалению это вещество очень нестойко, легко разлагается на хлор и кислород; сжатый ClO_2 взрывает. Его надо готовить на месте и с большой осторожностью.

§ 89. Угольные фильтры для удаления запаха. Древесный уголь как известно обладает способностью поглощать газы и запахи. Этой способностью угля воспользовались для освобождения питьевой воды от хлорофенольных и других запахов и привкусов. Лондонское общество Канди Фильтры применяло с успехом уже около 20 лет назад активный уголь для удаления из воды запаха хлора.

В Германии недавно Адлер применил уголь для этой цели, а у нас Виноградов в 1926 г. производил опыты дехлорирования углем¹ вслед за ними в большом масштабе Рурским союзом произведен опыт освобождения от запахов и привкусов питьевой воды целого города с суточным потреблением 25 000 м³. Водоснабжение этого города сильно страдало от запаха фенола, потому что выше города расположены заводы по производству древесного угля.

Предварительные лабораторные опыты показали, что наиболее благоприятная величина зерна угольного фильтра 2 мм. Чем мельче угольное зерно, тем больше его поверхность, а вместе с нею и абсорбционная способность угля, но слишком мелкий уголь представляет большое сопротивление при фильтрации.

При пропуске через опытный фильтр высотой 1,5 м воды, к которой был прибавлен фенол 1 г на 1 м³ и столько же хлора запах в профильтрованной воде был обнаружен только после того, как фильтр задержал фенол в количестве 1—1,5% своего веса. В другом опыте фильтр объемом 20 м³ стал пропускать запах только после прохождения через него 2 500 м³ воды. На 1 м угля нагрузка 125 м³ воды.

Когда фильтр истощается и уголь теряет свою активность производится сначала промывка фильтра, а потом выпаривание. Промывкой удаляется вся грязь, собравшаяся на поверхности угля. Выпаривание надо начинать обыкновенным паром, а потом повышать давление и температуру пара. При применении сразу высокой температуры органические вещества прикипают к углю и портят его. Выпаривание надо вести до тех пор, пока конденсирующаяся вода не обнаружит никакого запаха.

Иногда для этого достаточно четверть часа, иногда больше. Во время процесса фильтрации развиваются также и биологические процессы разложения фенола, поэтому иногда бывает достаточно

¹ «Врачебное дело», 1926 г., № 14.

одной промывки без выпаривания. После первого регенерирования абсорбционная способность угля несколько понижается, но при следующих промывках дальнейшего понижения не происходит.

Очень важно установить скорость фильтрации. При опытах Сирпа (Sierp) скорость в 40 мм в секунду давала удовлетворительные результаты, в час это составляет 144 м. При таких больших скоростях фильтрации поверхность фильтра выходит очень малой.

Для расхода 25 000 м³ в сутки был построен фильтр напорного типа диаметром 3 м и высотой 2,5 м. Фильтр помещен в железном котле, выдерживающем водопроводный напор. Чтобы избежать перетирания частичек угля во время движения воды, вся масса угля сдавлена сверху и снизу двумя железными решетками, на которые положены еще медные сетки. Непосредственно на решетке с обеих сторон лежит слой угля в 50 мм из зерен в 4 мм, следующие 50 мм из зерен в 3 мм. Остальная масса угля из зерен в 2 мм.

В верхнюю и нижнюю выпуклые крышки котла введены водоводы и паропроводы для выпаривания. Для струй воды и пара имеются струенаправляющие для равномерного распределения их. Фильтр может работать как сверху вниз, так и наоборот. Если фильтр работал снизу вверх, то выпаривание происходит через верхний паропровод. При таком способе легче удалить все загрязняющее фильтр, так как загрязнения идут снизу и накапливаются больше внизу.

Для контроля за давлением имеются два манометра после двенадцати недель работы разность давлений была 6—7 м водяного способа.

Внизу и вверху фильтра имеются глазки, позволяющие осмотреть фильтр в действии. За 12 недель работы фильтр дал вполне удовлетворительные результаты. Фильтр поглощал не только хлорофенол, но и все другие запахи и привкусы. Вода, имевшая перед фильтром затхлый запах, совершенно освободилась от него после фильтрации и приобрела вкус ключевой воды. Стоимость фильтра около 15 000 марок. В эксплуатационные расходы надо ввести расход на энергию для преодоления сопротивления в фильтре, на ремонт, добавку угля в фильтр, воду для промывки и пар для выпаривания. Во всяком случае ввиду малых размеров фильтра и отсутствия за ним постоянного ухода все эти расходы малы. Фильтр вставлен в напорный водовод, подающий в город профильтрованную воду.

В опытах Виноградова скорости фильтрации были ничтожны и только при таких скоростях уголь поглощал все 5 мг хлора из литра воды. В немецких опытах поразительны колоссальные скорости фильтрации¹.

¹ «Technisches Gemeindeblatt», 1929 № 11 и 12. Verbesserung des Geruchs von Trinkwasser von Sierp.

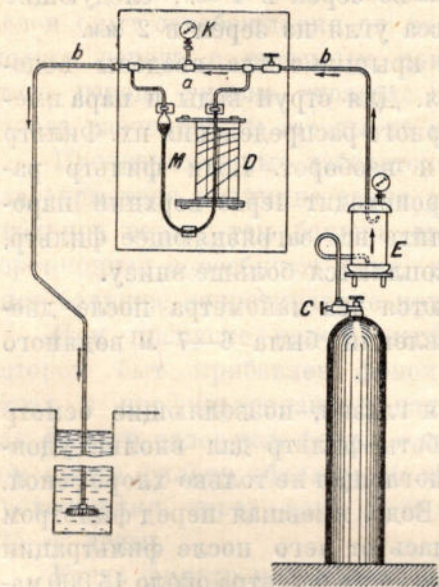
В. ХЛОРАТОРЫ.

§ 90. Простейший хлоратор. Техника дозирования и прибавления к очищаемой воде газообразного хлора достигла за 20 лет большого совершенства. В настоящее время существует много конструкций хлораторов, работающих вполне успешно. Основная часть хлоратора представляет собой диафрагмовый газомер, а редукционные и простые вентили служат только для регулирования работы газомера. Отмеренный газомером хлор некоторыми аппаратами прямо направляется в очищаемую воду, где и растворяется посредством особых насадок. Но растворение хлора в воде совершается не легко, поэтому большинство аппаратов имеют смесители, где газообразный хлор сначала хорошо перемешивается с небольшим количеством воды и подается к очищаемой воде уже в виде хлорной воды, благодаря чему облегчается равномерное распределение хлора в сырой воде.

На черт. 117 показан простейший хлоратор, описанный в «Engineering News-Record», апрель 1925 г. Аппарат представляет собой диафрагмовый газомер. В *a* установлена диафрагма, суживающая сечение трубки; в трубке *b* благодаря этому перед диафрагмой *a* и за ней будет разное давление, измеряемое ртутным манометром *M*. Эта разность давления определяет скорость движения газа. $V = \sqrt{2gh}$, где

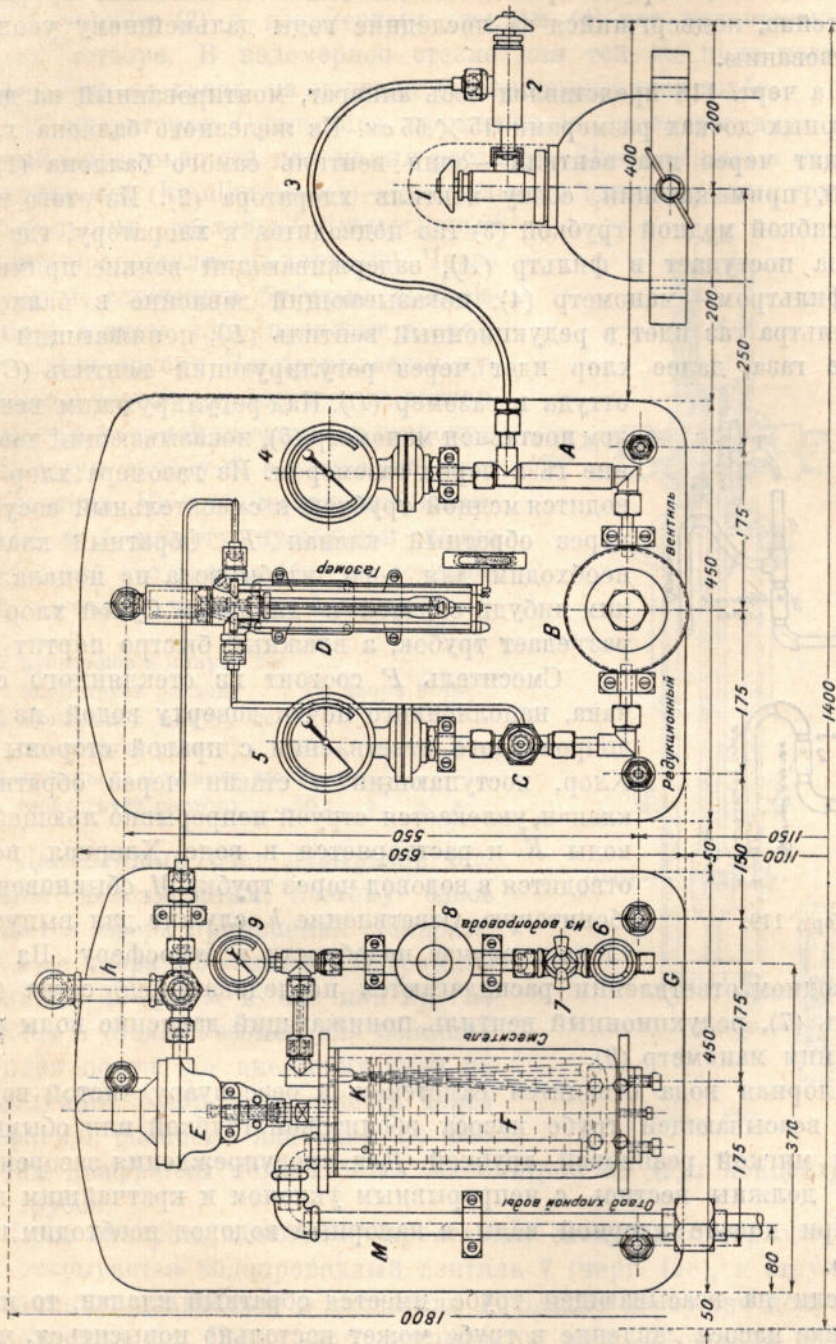
$H = \frac{P_1 - P_2}{\gamma}$ (разности давлений, деленной на плотность газа). Зная

сечение диафрагмы, можно определить объем протекающего в единицу времени газа. Манометр *K* дает давление газа. По давлению находим плотность; умножая плотность на объем газа, получим его вес. Все эти подсчеты сделаны заранее для разных скоростей и давлений и по ним составлена диаграмма *D*, по которой сразу можно определить расход газа по разности столбов ртути и давлению у диафрагмы, указываемому манометром *K*. Вентиль *C* можно регулировать таким образом, что расход газа будет требуемой величины. Коробка *E* служит для задержания всяких примесей к хлору. Расширение на ртутной трубке сделано для того, чтобы уровень в одном колене был почти постоянным. Такой аппарат установлен в



Черт. 117.

г. Олбани в 1924 г. и по словам изобретателя работает удовлетворительно.

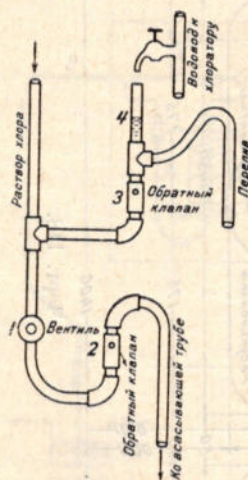


Черт. 118.

§ 91. Хлоратор Орнштейна. 1. Устройство хлоратра. Одним из первых изобретателей аппарата для дозирования газообразного

хлора был немец Орнштейн, живший тогда в Америке. В Германии в настоящее время применяется почти исключительно хлоратор Орнштейна, подвергшийся за последние годы дальнейшему усовершенствованию.

На черт. 118 представлен весь аппарат, смонтированный на двух мраморных досках размерами 45×65 см. Из железного баллона хлор проходит через два вентиля — один вентиль самого баллона (1), а другой, примыкающий, сбоку вентиль хлоратора (2). Из этого вентиля гибкой медной трубкой (3) газ подводится к хлоратору, где он сначала поступает в фильтр (А), задерживающий всякие примеси. Над фильтром — манометр (4), показывающий давление в баллоне. Из фильтра газ идет в редукционный вентиль (В), понижающий давление газа, далее хлор идет через регулирующий вентиль (С), а отсюда в газомер (D). Над регулирующим вентиляем поставлен манометр (5), показывающий давление газа перед газомером. Из газомера хлор отводится медной трубкой в смесительный сосуд F через обратный клапан E. Обратный клапан необходим для того, чтобы вода не попала каким-нибудь образом в хлоратор. Сухой хлор не разъедает трубок, а влажный быстро портит их.



Черт. 119.

Смеситель F состоит из стеклянного стакана, наполненного почти доверху водой из водопроводного ответвления с правой стороны G. Хлор, поступающий в стакан через обратный клапан, увлекается струей непрерывно льющейся воды K и растворяется в воде. Хлорная вода отводится в водовод через трубку M, обыкновенно эбонитовую. Ответвление h служит для выпуска хлора в случае надобности в атмосферу. На водопроводном ответвлении располагаются последовательно сетка (6), вентиль (7), редукционный вентиль, понижающий давление воды (8), и над ним манометр (9).

Хлорная вода отводится самотеком к резервуару чистой воды или к всасывающей трубе насоса эбонитовой трубкой или обыкновенной мягкой резиновой трубкой. Для предупреждения засорения трубки должны вестись с непрерывным уклоном и кратчайшим путем. При подаче хлорной воды в напорный водовод необходим инжектор.

Если на всасывающей трубе имеется обратный клапан, то при остановке насоса давление в трубе может настолько повыситься, что вода попадает в хлоратор. Для предупреждения этого на отводящей хлорную воду трубке ставится запорный (1) и обратный (2) клапаны

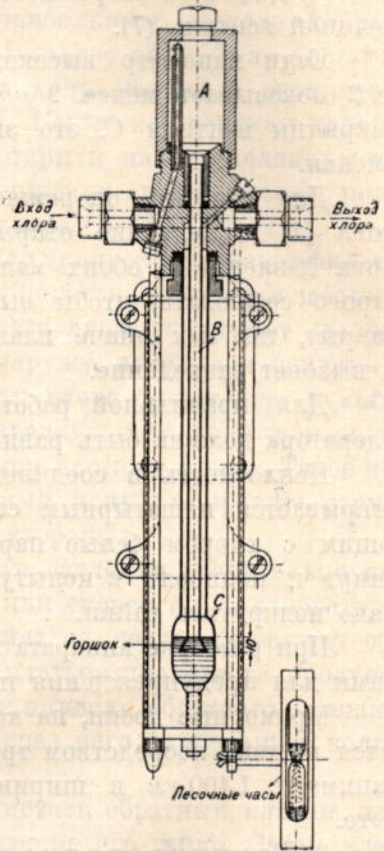
(черт. 119). Когда подпором из насоса клапан (2) закроется, хлорная вода станет вытекать через переливную трубку, снабженную обратным клапаном (3) и водомерным стеклом (4) для поддержания водяного затвора. В водомерное стекло для той же цели постоянно капает вода из крана, на подводящей водопроводной трубе.

В хлораторах Орнштейна применяются газомеры двух типов: первый—пузырьковый для малых расходов (Blasenmesser) и второй—капиллярный (Kapillarmesser) — диафрагма с капиллярными трубками для больших расходов. Пузырьковый газомер представлен на черт. 120. Через камеру *A*, служащую буфером, сглаживающим толчки, хлор проходит в среднюю узкую трубку *B* и прорывается пузырьками через гидравлический затвор, образуемый серной кислотой, в широкую стеклянную трубку *C*, а из нее уже идет в смеситель. По количеству прорывающихся в 1 минуту пузырьков хлора определяют его расход (тут же помещаются песочные часы для 1 минуты):

19 пузырьков в минуту со-	ответствует расходу . . 1 г хлора в час
194 пузырька в минуту со-	ответствует расходу . . 10 г » » »
296 пузырьков в минуту со-	ответствует расходу . . 20 г » » »

Дальнейший счет пузырьков становится невозможным, поэтому здесь кончается сфера применения аппарата. При дозе хлора 0,5 м на литр 20 граммов хватит на 40 куб. м в час или кругло 960 000 м в сутки. Газомер для больших расходов похож по внешнему виду на предыдущий. Хлор пропускается через диафрагму; разность давлений по обе стороны диафрагмы показывается манометром из двух концентрических трубок.

Пуск аппарата в действие происходит следующим образом. Сначала открывается водопроводный вентиль 7 (черт. 118), и струя воды начинает изливаться в смеситель *F*, однако не нужно допускать переполнения его. После этого открывается на 1—2 оборота вентиль хлорного баллона (1), а за ним вентиль хлоратора (2). Далее медленно открывается регулирующий вентиль *C*. Открытие должно быть



Черт. 120.

медленное и осторожное, чтобы толчок не выплеснул далеко жидкость из газомера. Открытие вентиля продолжается до тех пор, пока не будет достигнут желаемый расход хлора.

Приток воды к смесителю надо регулировать так, чтобы притекающий одновременно сюда хлор не понижал уровня воды более чем на 10—20 мм ниже крышки.

При остановке аппарата закрывают сначала вентиль хлоратора (1), затем, после понижения давления в манометре высокого давления (4) до 1 атм закрывается регулирующий вентиль *C*, а за ним — водяной вентиль (7).

Если манометр высокого давления при открытых вентилях 1 и 2 показывает менее 2 атм и давление не поднимается даже при закрытии вентиля *C*, это значит, что баллон пуст и должен быть сменен.

Для полного опорожнения аппарата закрывают вентиль баллона (1) и медленно открывают выпускной вентиль на трубке *h*, пока давление в обоих манометрах не упадет до нуля. Необходимо строго соблюдать, чтобы выпускной вентиль сейчас же снова был закрыт, так как иначе влажность воздуха попадет внутрь аппарата и вызовет разъедание.

Для правильной работы аппарата температура в помещении хлоратора должна быть равномерной и не ниже 12°.

Неплотность в соединениях трубочек, проводящих хлор, легко открывается нашатырным спиртом (раствором аммиака NH_3), образующим с хлором белые пары (обмакивают лучину в нашатырный спирт и подносят к испытываемому соединению). В неплотных местах надо подкрутить гайки.

При разборке аппарата все отверстия необходимо затыкать пробками для предупреждения попадания влажности.

Мраморные доски, на которых монтирован аппарат, прикрепляются к стене посредством трех винтов. Один аппарат и баллон хлора занимают 1400 мм в ширину, 400 мм — в глубину и 1800 по высоте.

2. Регулирование хлоратора. Обратный клапан *E* перед смесителем устанорлен на давление в 1 атм. При таком давлении на манометре низкого давления клапан открывается, и хлор поступает в смесительный стакан. При закрытии вентиля на хлорном баллоне газ продолжает еще выходить из аппарата, пока давление на манометре низкого давления не опустится ниже 1 атм. Если газ продолжает поступать в смеситель и при значительно меньших давлениях на манометре, например 0,9 или еще меньшем, то обратный клапан необходимо отрегулировать. Для этого отвинчивается круглая шапочка и путем движения шпинделя вверх или вниз протиеодав-

ление обратного клапана устанавливается на 1 атм. Для повышения давления шпindelь надо поворачивать по часовой стрелке, для понижения — обратно.

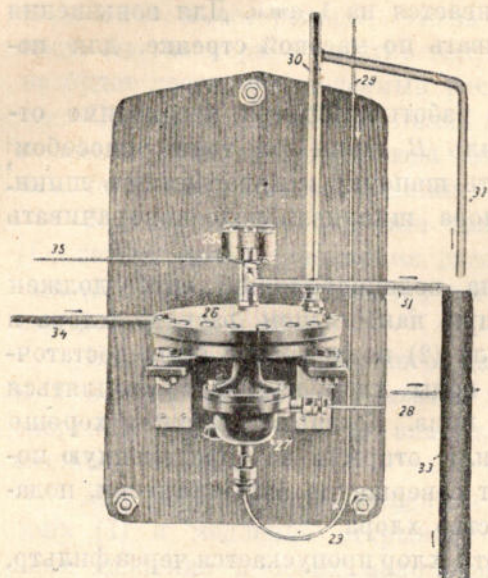
Для достижения правильной работы газомера необходимо отрегулировать редукционный вентиль В таким же точно способом, как и обратный клапан, т. е. снять шапочку и поворачивать шпindelь. Для увеличения подачи хлора шпindelь надо поворачивать по часовой стрелке.

Редукционный вентиль (8) на водоподводящей трубе должен быть так отрегулирован, чтобы при наибольшем расходе хлора и полном открытии запорного вентиля (2) подача воды была достаточной. При недостаточной подаче воды хлор начинает скопляться вверху стакана и вытеснять воду вниз. Когда все вентили хорошо отрегулированы и запорные вентили открыты на определенную подачу газа и воды, аппарат работает совершенно автоматически, подавая непрерывно требуемое количество хлора.

3. Засорение трубок. Хотя хлор пропускается через фильтр, однако очень мелкие загрязнения могут попасть в аппарат и засорить трубки. Для исследования загрязненности хлора поступают следующим образом. Выносят баллон хлора наружу, открывают вентиль и выпускают хлор в воздух. Поперек струи хлора ставят лист бумаги, лучше фильтровальной, или чистую тарелку; если хлор грязен, то через короткое время на бумаге отложатся частицы грязи. Такое исследование надо производить в ветреный день — направить струю хлора по ветру и стать с подветренной стороны.

Если давление в манометре низкого давления значительно повышается, это значит, что в трубочках или скорее всего в обратном клапане перед смесителем начала скопляться грязь. Прочистку обратного клапана прежде всего нужно попытаться произвести продуванием хлором, для этого поворачивают шпindelь обратного клапана по снятии шапочки, чтобы пропустить через него наибольшее количество хлора.

Если продуванием не удастся прочистить обратный клапан, необходимо его снять, отвинтив прикрепляющие его гайки. Затем клапан зажимается в тиски, шпindelь вывинчивается высоко, чтобы разгрузить регулируемую пружину, фланцевые болты отвинчиваются и после снятия верхних частей вынимается пружина и мембрана с прикрепленным к ней шпindelем клапана. После этого вычищается внутренность обратного клапана. Весь вентиль можно положить в воду не выше 50° для растворения грязи, а затем чисто вытереть, снова промыть горячей водой и хорошо высушить. Необходимо делать все это осторожно, чтобы не повредить точно притертые поверхности. Таким же способом в случае надобности производится чистка и

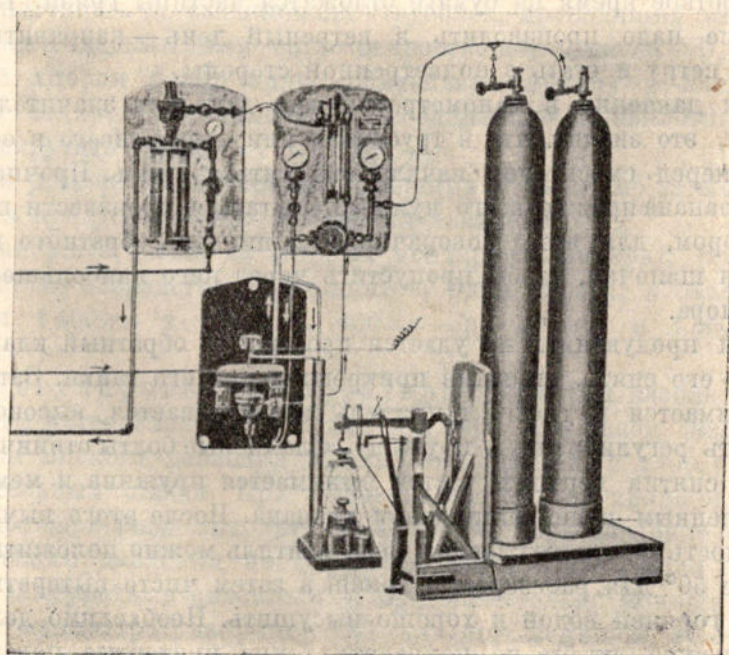


Черт. 121.

и автоматическая остановка и пуск хлораторов. Орнштейн изобрел для этой цели аппарат, показанный на черт. 121 («реле-вентиль»).

других частей аппарата. Хлораторы Орнштейна установлены в Ленинграде, Москве, Ростове-на-Дону, Кривом Роге, Сталине и других городах.

4. Автоматическое регулирование расхода хлора. Автоматическая остановка и пуск аппарата. В последнее время в Германии входят в практику автоматические насосные станции. Насосы приводятся в действие и останавливаются под влиянием понижения или повышения давления в сети или в зависимости от уровня воды в запасном резервуаре. При автоматической работе насосов необходима

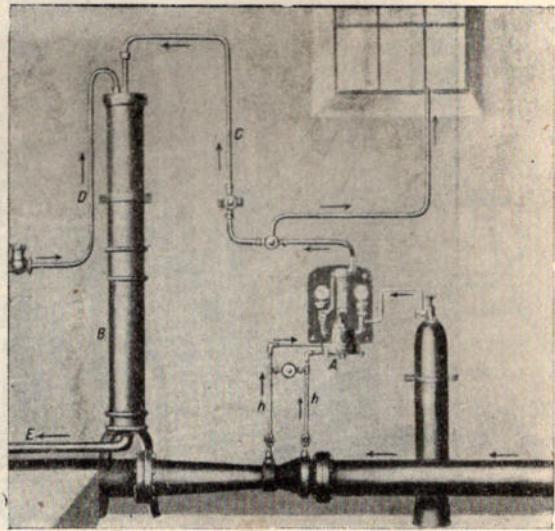


Черт. 122.

Хлор подходит по трубке (29), а уходит по трубке (28), пройдя через запорный вентиль (27). Шпиндель хлорного вентиля соединен с диафрагмой, помещающейся в коробке (26). Через верхнюю часть этой коробки проходит небольшая струя воды, ответвленная от напорного трубопровода трубкой (34); пока электрический клапан (25) открыт, вода проходит в трубку (31) и выливается в отвод (33). Клапан (25) управляется тем же током, что и электромоторы: пока ток идет в моторы, клапан открыт, как только ток прекращается, клапан (25) закрывается; тогда вода не может уже истекать через трубку (31), поднимается по трубке (30) и изливается через отвод (32). Давление в коробке (26) повышается, и диафрагма, передвигаясь, закрывает хлорный вентиль.

Установка автоматического включателя с хлоратором показана на черт. 122.

При неравномерной подаче воды дозы хлора должны меняться пропорционально расходу, и для этой цели Орнштейн приспособил особый аппарат, регулирующий подачу хлора в зависимости от расхода воды. Этот аппарат приспособляется к трубе Вентури, через которую пропускается вся вода (черт. 123). Меняющееся в зависимости от расхода



Черт. 123.

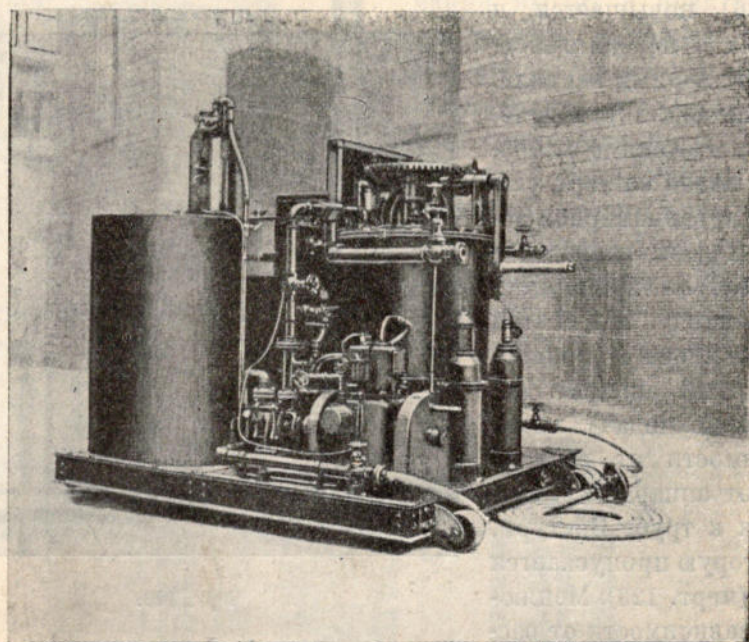
давление воды в узком и широком месте трубы Вентури, передается двумя трубками *m* особому прибору *A*, помещенному при хлораторе; этот прибор пропускает большее или меньшее количество хлора в газомер в прямой зависимости от расхода воды в трубе Вентури.

Здесь для смешения воды с хлором применена коксовая башня *B*. Хлор подводится ко дну башни трубкой *C*, а вода наверх башни — трубкой *D*. Сливаясь по коксу вниз, вода насыщается хлором, поднимающимся вверх, и выходит через трубку *E*. При применении башни давление хлора при выходе из аппарата чуть выше атмосферного, тогда как в струйном смесителе хлор поступает в стакан с давлением в 1 атм.

На черт. 124 изображена изготовляемая Chlorator Gesellschaft Berlin S. 14 подвижная водоочистная установка. На платформе

помещаются насос с двигателем внутреннего сгорания, приборы для растворения коагулянта, скорый фильтр с обратной промывкой и грабельным аппаратом, хлоратор и резервуар чистой воды на 1 куб. м.

§ 92. Хлоратор Ремесницкого. 1. Общее описание. По типу орнштейновского хлоратора сконструирован хлоратор инженера Ремесницкого. Установленный недавно на Рублевской станции этот хлоратор по отзывам администрации станции работает вполне удовлетворительно, то же и в Ростове-на-Дону.



Черт. 124.

На черт. 125 изображен в трех проекциях хлоратор Ремесницкого¹. Приводится описание хлоратора, сделанное самим изобретателем.

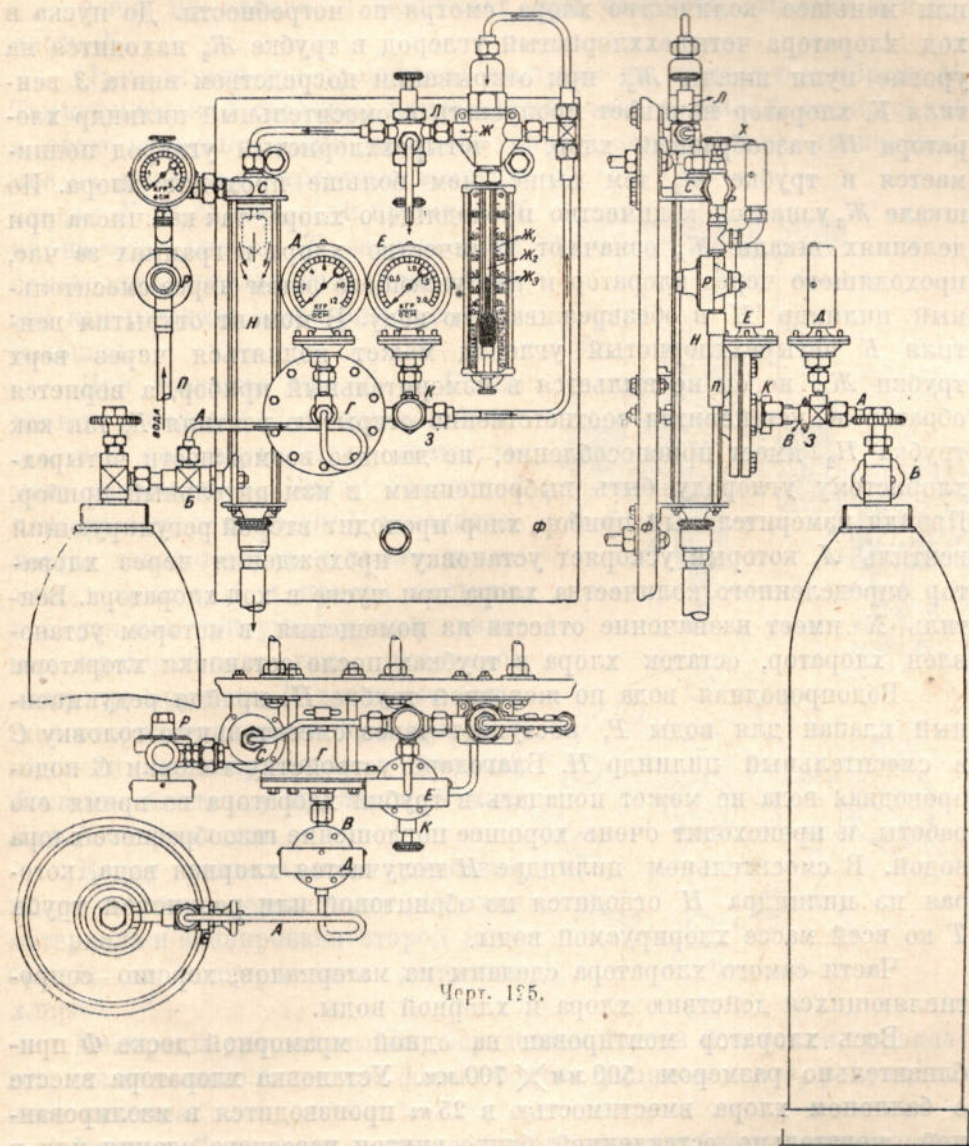
В трубку *Ж* измерительного прибора (газомера) хлоратора налит четыреххлористый углерод до уровня нуля шкалы *Ж*₃. К хлоратору посредством трубки *А* присоединяется баллон с жидким хлором.

Редукционный клапан хлоратора для воды *Р* соединен трубой в 12,5 или 19,0 мм с водопроводной линией, подведенной к помещению, в котором установлен хлоратор. Если водопровода в помещении не

¹ Цена хлоратора с монтажом — 2 000 руб.

имеется, то смесительный цилиндр хлоратора *H* соединяется с установленным в помещении водяным баком.

По открытии вентиля на баллоне с жидким хлором и вентиля *B* хлор, превратившись при выходе из баллона в газообразное со-



Черт. 155.

стояние, поступает через фильтр *В* в редукционный клапан *Г*, где хлор снижает свое давление. Это пониженное давление остается во время работы хлоратора постоянным, несмотря на расходование хлора из баллона и уменьшающееся давление в последнем. Манометр *Д* показывает давление в баллоне, манометр *Е* показывает давление

хлора, поступающего в измерительный прибор *Ж*. Посредством вращения винта *З* вентиля *К*, регулирующего или совсем прекращающего (при закрывании его) доступ хлора в смесительный цилиндр *Н* хлоратора, имеется возможность пропустить через хлоратор большее или меньшее количество хлора, смотря по потребности. До пуска в ход хлоратора четыреххлористый углерод в трубке *Ж₂* находится на уровне нуля шкалы *Ж₃*; при открывании посредством винта *З* вентиля *К*, хлоратор начинает пропускать в смесительный цилиндр хлоратора *Н* газообразный хлор, и четыреххлористый углерод поднимается в трубке *Ж₂* тем выше, чем больше проходит хлора. По шкале *Ж₃* узнается количество проходящего хлора, так как числа при делениях шкалы *Ж₃* означают количество хлора в граммах за час, проходящего через хлоратор и поступающего затем через смесительный цилиндр *Н* в обезвреживаемую воду. В момент открытия вентиля *К* четыреххлористый углерод может подняться через верх трубки *Ж₂*, но он не выльется в измерительный прибор, а вернется обратно и установится соответственно открытию вентиля *К*, так как трубка *Н₂* имеет приспособление, не дающее возможности четыреххлористому углероду быть выброшенным в измерительный прибор. Пройдя измерительный прибор, хлор проходит второй регулирующий вентиль *Л*, который ускоряет установку прохождения через хлоратор определенного количества хлора при пуске в ход хлоратора. Вентиль *Х* имеет назначение отвести из помещения, в котором установлен хлоратор, остаток хлора в трубках после остановки хлоратора.

Водопроводная вода по железной трубке *И*, пройдя редукционный клапан для воды *Р*, поступает через смесительную головку *С* в смесительный цилиндр *Н*. Благодаря устройству головки *С* водопроводная вода не может попадать в трубки хлоратора во время его работы, и происходит очень хорошее поглощение газообразного хлора водой. В смесительном цилиндре *Н* получается хлорная вода, которая из цилиндра *Н* отводится по эбонитовой или резиновой трубе *Т* ко всей массе хлорируемой воды.

Части самого хлоратора сделаны из материалов, хорошо сопротивляющихся действию хлора и хлорной воды.

Весь хлоратор смонтирован на одной мраморной доске Φ приблизительно размером $500 \text{ мм} \times 700 \text{ мм}$. Установка хлоратора вместе с баллоном хлора вместимостью в 25 кг производится в изолированной, желателно остекленной будке внутри насосного здания или в другом месте. Размеры этой будки могут быть $2 \text{ м} \times 1\frac{1}{2} \text{ м}$. Температура в этой будке должна быть постоянной — $15 - 20^\circ$. При недостатке места можно ограничиться меньшим местом, а также можно установить хлоратор с баллоном в шкапу ($1,1 \times 0,5 \times 1,8$) с герметически закрывающейся остекленной дверцей.

2. Редукционный и регулирующий клапаны. Клапан *К* (черт. 126) имеет форму гвоздя трехугольного поперечного сечения с конической шляпкой круглого поперечного сечения. Коническая шляпка клапана притерта к гнезду.

Хлор из канала *А* поступает при открытом клапане *К* в полость *Б*.

Проходящий газ производит давление на круговую мембрану *М*. Так как клапан *К* соединен винтовой нарезкой с гайкой, соединенной в свою очередь с мембраной, то всякое давление газа, произведенное на мембрану, стремится закрыть клапан *К*. В случае, если пружина *П* не нажата, клапан *К* закроется от самого незначительного давления газа, так как площадь мембраны довольно большая.

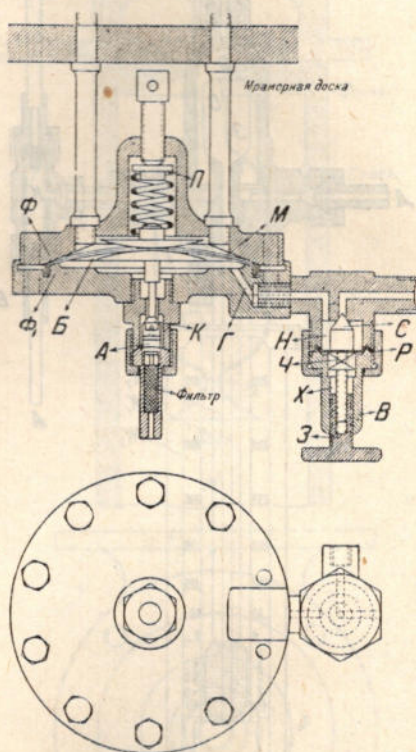
При нажатии пружины *П* давление в полости *Б* становится больше, так как пружина не дает клапану закрываться. Ввиду описанной конструкции в полости *Б* устанавливается давление газа меньше давления в канале *А* и притом постоянное, так как при уменьшении давления протекающего газа постоянное давление пружины *П* вызывает большее открытие клапана *К*, а при увеличении давления газа в полости *Б* свыше давления пружины *П* клапан *К* закрывается.

Ввиду разъедающего действия хлора, мембрана сделана из упругого материала и изолирована второй мембраной, не подверженной действию хлора.

Мембраны удерживаются посредством болтов без всяких прокладок, что возможно благодаря форме болтов фланцев Φ и Φ_1 редукционного клапана.

Клапан *К* в своей головке имеет пропи́л, благодаря которому посредством отвертки можно устанавливать клапан на большую или меньшую пропускную способность.

Из редукционного клапана хлор по каналу *Г* поступает в полость *Н* регулирующего клапана. По открытии конуса *С* хлор поступает к манометру и к измерительному прибору. Конус *С* соединен

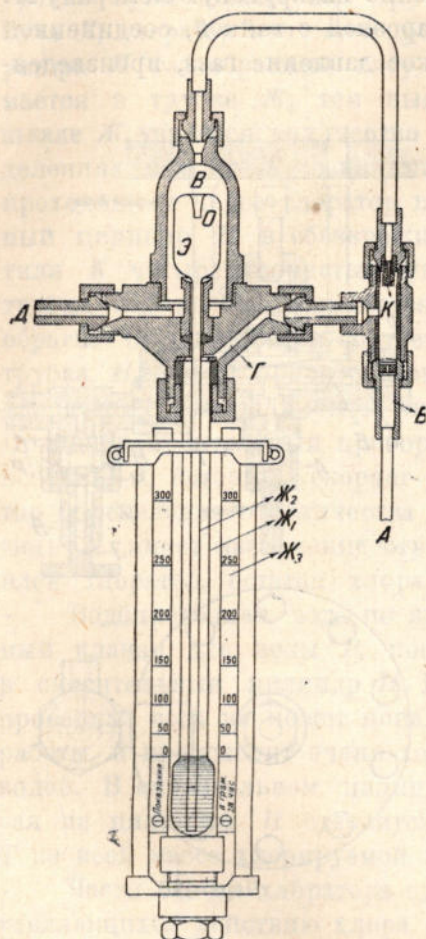


Черт. 126.

с упругой пластинкой *P*, изолирующей полость *H* от наружного воздуха, а также с четырехугольной призмой *Ч*, служащей направляющей при открывании и закрывании конусов *С*. Четырехугольная призма *Ч* имеет хвостовик *X* с нарезкой.

Винт *З* имеет наружную и внутреннюю нарезку. Наружной нарезкой винт *З* передвигается во втулке *Б*, а внутренней нарезкой он передвигает соединенный с ним этой нарезкой хвостовик *X*.

Такое устройство дает возможность очень незначительно передвигать конус *С* и этим легко устанавливать желаемый приток хлора к измерительному прибору хлоратора.



Черт. 127.

3. Газомер. Газообразный хлор по каналу *A*, черт. 127 (V), поступает в измерительный прибор; пройдя капилляр *K*, хлор заполняет полость *B* измерительного прибора и выходит по каналу *Д* по направлению к смесительному цилиндру хлоратора. Канал *A* соединен косым каналом *Г* с наружной трубкой *Ж₁* измерительного прибора.

По этому каналу *Г* хлор передается на поверхность жидкости (серная кислота или четыреххлористый углерод), налитой в наружную трубочку *Ж₁*, давление, которым он обладает до его прохода через капилляр *K* (диафрагма).

Давление хлора в полости *B* после прохода через капилляр *K* передается на поверхность жидкости во внутренней трубке *Ж₂* измерительного прибора через отверстие *O* в шарике *Э*.

Полость *B* вполне изолирована от давления в канале *Г* и давления в наружной трубке *Ж₁*.

Вследствие потери давления при проходе через капилляр *K* получается разность давления на поверхность жидкости в трубках *Ж₁* *Ж₂* и происходит подъем жидкости в трубке *Ж₂*, этот подъем будет тем больше, чем больше потеря давления при проходе через капилляр.

Эта потеря зависит от скорости прохода хлора, а следовательно при постоянном сечении капилляра — от количества проходящего хлора. Таким образом подъем жидкости в трубке $Ж_2$ характеризует количество проходящего газа. Градуировка шкалы $Ж_3$ прибора производится посредством установки баллона с жидким хлором на весы. Определяется расход хлора за известное время соответственным подъемом жидкости в трубке $Ж_2$ над уровнем жидкости в трубке $Ж_1$.

Потеря давления при проходе через капилляр может быть настолько большой, что подъем жидкости в трубке $Ж_2$ может быть больше высоты этой трубки, что влечет за собой изливание жидкости в полость B и канал D , вследствие чего может быть порча частей хлоратора.

Этот излишний подъем жидкости в трубке $Ж_2$ может иметь место при пуске в ход хлоратора от толчка при быстром открытии вентилей.

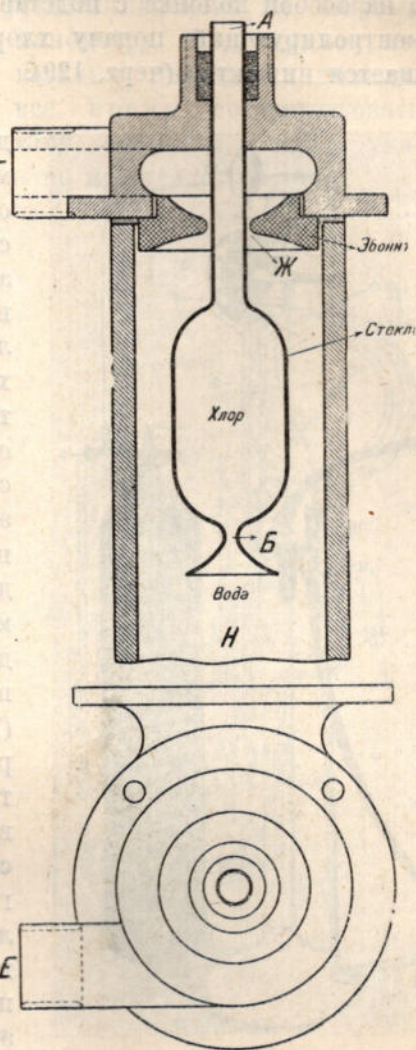
Для устранения выбрасывания жидкости в полость B и трубки хлоратора устроен шарик $Э$ на внутренней трубке $Ж_2$. Такая конструкция вполне предохраняет от изливания жидкости, в полость B , так как вместимость шарика $Э$ больше количества жидкости, налитой в трубку $Ж_1$.

При быстром открытии вентиля жидкость может перелиться в шарик $Э$, но сейчас же возвращается назад.

4. Смеситель. Газообразный хлор поступает из A (черт. 128) в смесительный цилиндр H .

Вода, поступающая из водопровода по штуцеру E , получает благодаря тангенциальному расположению штуцера E вращательное движение и по кольцевой щели $Ж$ поступает в смесительный цилиндр H .

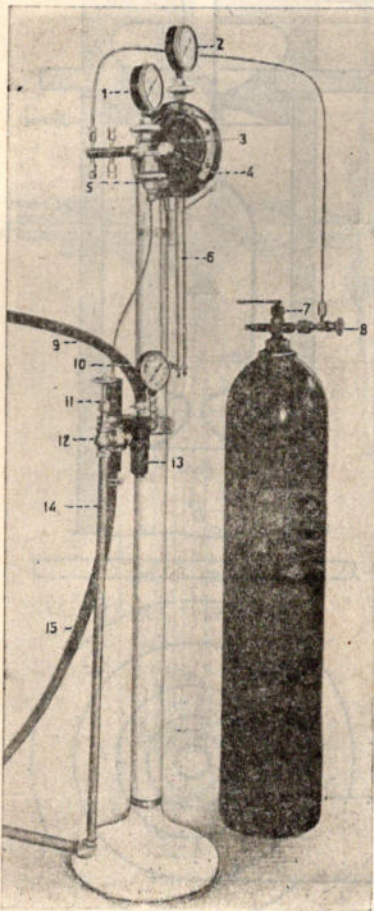
Благодаря вращательному движению воды происходит очень хорошее перемешивание хлора с водой и получается хлорная вода, идущая затем для обезвреживания общей массы водопроводной воды.



Черт. 128.

Во время же действия хлоратора не может быть попадания воды в трубку хлоратора *A* благодаря засасывающему действию воды при выходе под водопроводным напором из кольцевой щели *Ж*.

§ 93. Хлоратор Парадон. Американский хлоратор системы Парадон (Paradon Manufacturing Co Arlington) монтируется не на доске, а на особой колонке с подставкой, в верхней части укреплен аппарат, контролирующий подачу хлорного газа, а в средней части помещается инжектор (черт. 129).

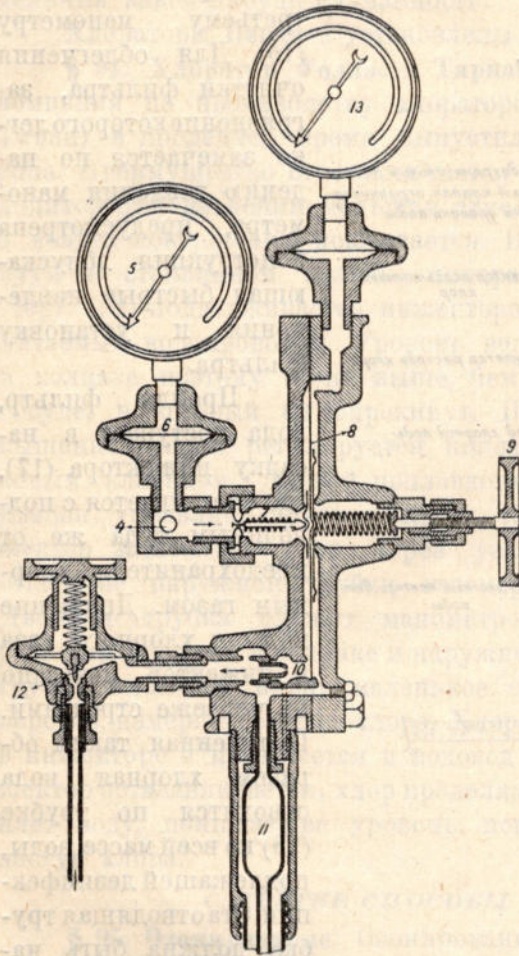


Черт. 129.

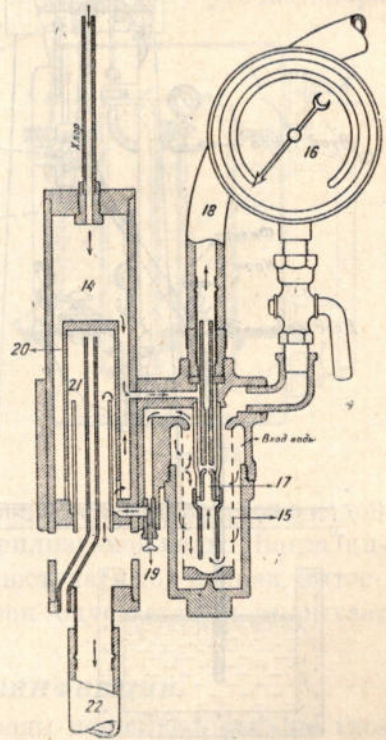
Выпуск газа из баллонов производится помощью основного (1) и вспомогательного (2) кранов. Последний облегчает смену баллонов и препятствует проникновению в контрольный аппарат вредной для его частей влаги воздуха в период разъединения с баллоном. От вспомогательного крана (2) хлорный газ направляется по гибкой трубке (3), которая прикрепляется к одному из отростков горизонтальной сборной трубки (4). Давление газа в этом месте определяется помощью манометра (5) (черт. 130), снабженного диафрагмой (6) на которой помещается масло, служащее средой для передачи давления. После сборной трубки газ проходит через редукционный клапан (7) с диафрагмой (8), которая регулируется рукояткой (9) посредством винта, пружины и латунного диска. Минимум регулируемый клапан, газ проходит сопло (10), служащее для измерения газового потока. Это сопло представляет собой маленькое, точно калиброванное отверстие в стекле, чем предупреждается возможность расширения этого отверстия от прочисток или разъедания газом.

Давление газа у сопла определяется посредством газомера (11), состоящего из вставленных одна в другую стеклянных трубок, содержащих четыреххлористый углерод. Колебания уровня этой жидкости отмечаются по делениям шкалы, точно соответствующей выбранному типу сопла, которое отмечается во избежание ошибок одинаковым номером со шка-

лой. Деления шкалы указывают для различных горизонтов жидкости в газомере то количество хлорного газа, которое при определенном его давлении, также указанном на шкале, должно быть пропущено хлоратором в течение 24 часов. Регулировка давления газа за соплом производится помощью так называемого вентиля постоянного давления (12), устанавливаемого по второму манометру (13), причем показания последнего должны все время соответствовать тому давлению, которое указано на шкале газомера.



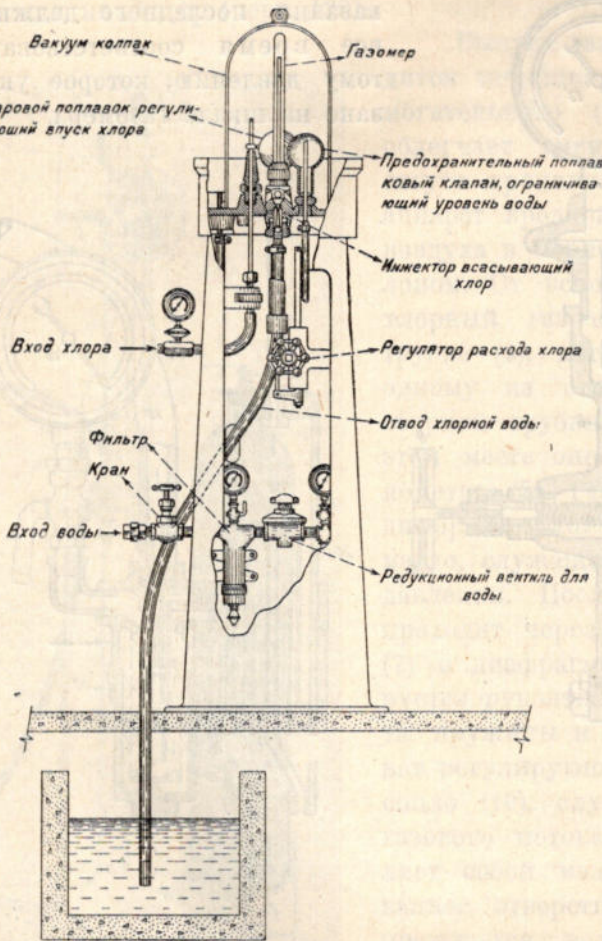
Черт. 130.



Черт. 131.

Пройдя вентиль постоянного давления, газ направляется по трубке из контрольного аппарата в инжектор (черт. 131), где получается хлорная вода. Для этого газ поступает первоначально в помещаемый между контрольным аппаратом и инжектором вакуумный предохранительный прибор (14), назначение которого — предупредить проникновение воды в контрольный аппарат в момент

прекращения поступления газа. Вода подается к инжектору по 12-мм трубке (не показанной на чертеже) под давлением 1,5—2 атм. В случае если хлорная вода должна быть подана при наличии противодействия в дезинфицируемой жидкости, то напор воды, проходящей через инжектор, должен превосходить противодействие по меньшей мере в три раза. Вода в инжекторе пропускается через фильтр (15), а напор ее определяется по третьему манометру (16). Для облегчения очистки фильтра, загрязнение которого легко замечается по падению давления манометра, предусмотрена конструкция, допускающая быстрое извлечение и установку фильтра.



Черт. 132.

Для предупреждения засасывания воздуха через предохранитель и выделение его в дальнейшем с частью нерастворенного хлора на свободной поверхности воды предусмотрено устройство, состоящее из игольчатого клапана (19), колпака с боковыми отверстиями (20) и водослива (21), через который переливается кашлями часть воды из инжектора, стекая затем в холостую трубу (22).

Для облегчения очистки фильтра, загрязнение которого легко замечается по падению давления манометра, предусмотрена конструкция, допускающая быстрое извлечение и установку фильтра.

Пройдя фильтр, вода поступает в насадку инжектора (17), где смешивается с подводимым туда же от предохранителя хлорным газом. Движение воды и хлорного газа в инжектор показано на чертеже стрелками. Полученная таким образом хлорная вода отводится по трубке (18) ко всей массе воды, подлежащей дезинфекции. Эта отводящая трубка должна быть насколько возможно прямой и короткой.

Все части хлоратора, соприкасающиеся с хлором, делаются из специальных материалов — эбонита, серебра, платины.

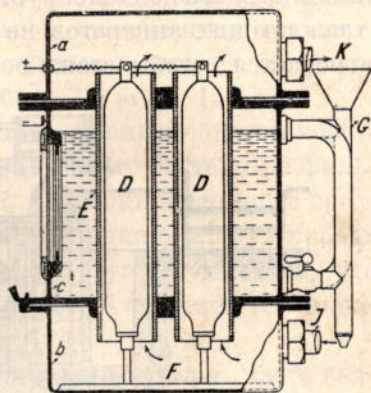
Баллоны с хлором снабжаются особыми пробками, которые плавятся при температуре около 70° , ввиду чего их надлежит защищать от высокой температуры.

Каждая установка должна быть снабжена хлорным противогазом, который обычно не используется, но абсолютно необходим при наличии какой-нибудь случайности.

Хлораторы Парадон установлены в Ленинграде и Ростове-на-Дону.

§ 94. Хлоратор Уоллэс и Тирнан. Самая крупная американская компания по производству хлораторов Уоллэс и Тирнан (Wallés and Tirnan) в последнее время выпустила хлоратор нового вакуумного типа. Преимущество его заключается в том, что в аппарате хлор находится при давлении меньшем атмосферного, поэтому утечка хлора в воздух совершенно исключается. Ва-

куум в стеклянном колпаке аппарата (черт. 132) поддерживается инжектором, питаемым водопроводом. Уровень воды в колпаке поэтому стоит выше, чем в сосуде, в который он опрокинут. Повышение уровня регулируется поплавковым клапаном. Другой поплавковый клапан управляет впуском хлора. Инжектор засасывает хлор через узкое отверстие наружной трубки газомера. Двойная трубка служит манометром, разность уровней в колпаке и наружной трубке, имеющей внизу маленькое отверстие, измеряет расход хлора. Хлор хорошо перемешивается с водой в инжекторе и нагнетается в водовод стерилизуемой воды. Когда инжектор останавливается, хлор продолжает поступать под колпак, вытесняет воду, понижает ее уровень, поплавок опускается и закрывает доступ хлора.



Черт. 133.

Хлор хорошо перемешивается с водой в инжекторе и нагнетается в водовод стерилизуемой воды. Когда инжектор останавливается, хлор продолжает поступать под колпак, вытесняет воду, понижает ее уровень, поплавок опускается и закрывает доступ хлора.

С. ДРУГИЕ СПОСОБЫ ДЕЗИНФЕКЦИИ.

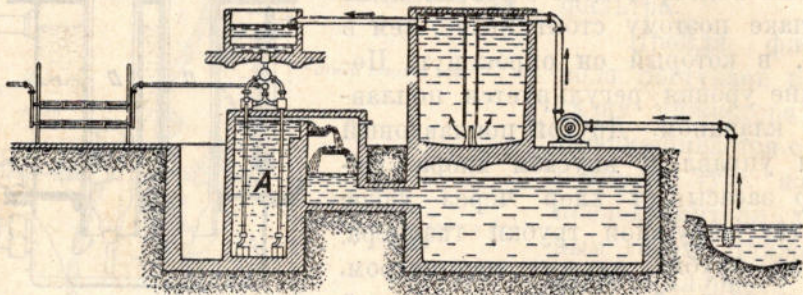
§ 95. Озонирование. Озонирование воды появилось раньше хлорирования, но не получило широкого распространения, так как хлорирование, представляя по существу то же озонирование, обходится во много раз дешевле, и потому отеснило озонирование на задний план. Для успеха озонирования нужна чистая вода, поэтому озонированию обычно предшествует скорая фильтрация. Очищенная на фильтрах вода подвергается воздействию озонированного воздуха.

Приборы для озонирования воздуха носят название озонаторов и имеют разную конструкцию. На черт. 133 изображен озонатор

системы Симменса и Гальске. Он состоит из чугунного ящика с двумя горизонтальными перегородками; вверху и внизу находится озонируемый воздух, а посередине охлаждающая вода, так как для успеха озонирования воздуха температура не должна подниматься выше 30° .

Самое озонирование происходит между трубками алюминиевой *Д*, и стеклянной *Е*. Стеклянная трубка окружена охлаждающей водой и через воду и чугунный ящик заземлена. Алюминиевые же трубки соединяются все параллельно с плюсом трансформатора напряжения 7 000—8 000 V, а другой полюс—земля. Между алюминиевым цилиндром и водой происходит тихий разряд через прослойку воздуха и стекло; воздух при этом озонируется.

Свежий воздух продувается сначала через ряд бумагаежных фильтров для очистки от пыли, затем пропускается через холодильник для осушения, ибо влажность мешает образованию озона. В холодильнике влага конденсируется в снег, так как там температура до -15° . Охлаждающих аппаратов не менее двух: пока один работает, другой нагревается, чтобы стаял осевший на стенках снег.



Черт. 134.

Из холодильника воздух поступает в озонатор снизу через трубку *I*, и, озонированный, выходит вверху через трубку *K*.

Во время разряда между цилиндрами *Д* и *Е* часть кислорода воздуха — 1—4% на 1 куб. м воздуха — превращается в озон, так что озон составляет менее 1% воздуха по объему.

Озонированный воздух далее идет в стерилизатор для смешения с очищаемой водой. Стерилизаторы бывают или типа оросителей, как при обезжелезивании воды в виде башни, наполненной хрящом и орошаемой сверху водой, а снизу продуваемой озонированным воздухом, или типа эмульсера *А* (фиг. 134). Вода под давлением проходит через эжектор и засасывает подведенный к эжектору озонированный воздух, опускается вместе с ним на дно круглого резервуара и здесь, выходя по направлению, перпендикулярному к радиусу, вызывает в бассейне винтовое движение воды и воздуха, способствующее их тесному смешению. В одном стерилизаторе ставят несколько эжекторов.

После стерилизатора вода освобождается от избытка озона падением через каскады и поступает в сборник чистой воды.

На черт. 134 изображена схема одной из самых крупных фильтроозонных станций в Ленинграде — на 56 000 куб. м. Насосом вода забирается из Невы и подается в отстойник, откуда переходит на скорый фильтр. Из фильтра вода под давлением проходит через инжектор, засасывает озонированный воздух справа, проходит далее через стерилизатор А каскады и собирается в резервуары чистой воды.

Озонирование применяется кое-где в Европе (Висбаден, Падерборн, Ницца, Шартр, Флоренция), но широкого распространения не получило из-за сложности и дороговизны по сравнению с хлорированием, между тем как и по сходству процесса стерилизации и по результатам они очень близки.

По данным 1911—1912 гг.¹ нельская вода, обрабатываемая фильтроозонной станцией, освобождалась от всех взвешенных веществ, теряя 85% своей цветности, окисляемость уменьшалась на 66%, количество сернокислых солей увеличивалось с 1,8 м до 15,5 м.

Эти результаты очистки надо приписать главным образом коагулированию и фильтрации на скорых фильтрах. Число бактерий в фильтрованной воде бывало 8—176 экземпляров, а в озонированной в среднем 2,5 в 1 куб. см. Процент находок кишечной палочки был: 16 в пробах по 100 куб. см и 30,5% в пробах по 400 куб. см. Нужно заметить, что вода с содержанием 1 кишечной палочки в 100 куб. см считается вполне пригодной для питья.

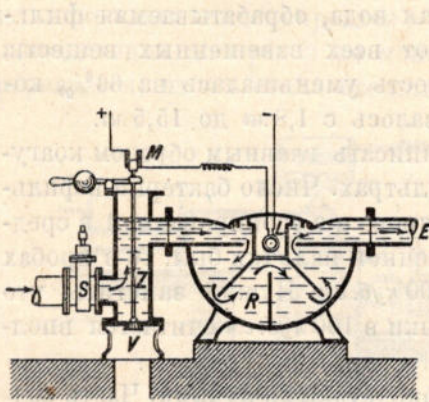
§ 96. Стерилизация воды ультрафиолетовыми лучами. Часть солнечных невидимых лучей, лежащая в спектре за фиолетовыми лучами, называется ультрафиолетовыми. Ультрафиолетовые лучи разделяются по длине волны на 3 группы. Средние из них, с длиной волны от 0,00003 до 0,000022 мм, действуют губительно на все живое и потому применяются для стерилизации воды. Они легко проходят через кварц, но задерживаются стеклом и воздухом. Благодаря последнему обстоятельству на земле только и возможна жизнь, иначе вся жизнь на земле была бы уничтожена ультрафиолетовыми лучами солнца.

Искусственным источником ультрафиолетовых лучей для стерилизации воды служит кварцевая электрическая лампа с парами ртути. При пропускании постоянного тока через пары ртути, они начинают светиться бледным холодным светом. Первый прибор для стерилизации воды был устроен Ножье, и им установлены условия для успешной стерилизации, выражающейся в следующем: вода должна

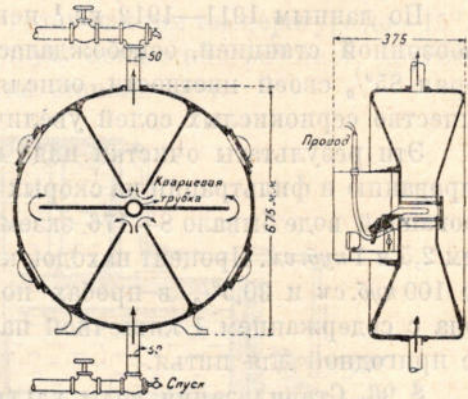
¹ Хлопин, Основы гигиены, т. I, вып. 2, стр. 170.

быть совершенно прозрачной и бедной коллоидными веществами. Толщина слоя воды, подверженной действию лучей, не должна превышать 300 м.м. Температура воды от нуля и выше не оказывает влияния на процесс стерилизации, и совершается он очень быстро — в несколько секунд. При пропускании определенного количества воды через прибор Ножье достигал полной стерилизации воды с 1 800 000 бактерий в 1 куб. см.

Черт. 135 изображает аппарат для стерилизации ультрафиолетовыми лучами об-ва Вестингауз. Прошедшая через фильтры вода подводится к аппарату через задвижку *S* и попадает в эмалированный чугунный полуцилиндр с перегородками. Благодаря перегородкам вода перемешивается и трижды подвергается действию четырех кварцевых ламп, помещенных по оси полуцилиндра. Четыре лампы при 200 V расходуют 3 А.



Черт. 135.



Черт. 136.

В случае перерыва тока магнит *M* отпускает стержень *L*, открывает клапан *V*, и подача воды в аппарат автоматически прекращается. Производительность аппарата — до 125 куб. м в час. Контролировать силу лучей аппарата можно светочувствительной бумагой.

Опыты с этим аппаратом давали не всегда согласные результаты. Очевидно, что при совершенно прозрачной воде и определенной нагрузке аппарата можно достигнуть полной стерилизации, но стоимость стерилизации ультрафиолетовыми лучами настолько высока, что не может выдерживать конкуренции с другими способами очистки воды¹.

На черт. 136 показан аппарат для стерилизации под напором.

Стерилизация воды ультрафиолетовыми лучами получила довольно широкое распространение в Америке, где имеется несколько сотен установок. Большинство из них обрабатывает воду искусствен-

¹ Lüger Weyrath, Wasserversorgung der Städte, Bd. II 1916, S. 188.

ных бассейнов для плавания. Около 60 установок работает на парсходах, курсирующих на больших озерах, и некоторые мелкие установки обслуживают гостиницы и промышленные заведения.

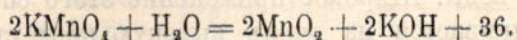
Установок для обслуживания городских водоснабжений очень мало: Ортон, Бере (Horton, Beret)—производительность каждой из них — около 2 000 куб. м в сутки. На самой крупной установке в Гендерсоне стерилизовалось ежедневно до 10 000 куб. м, но из-за трудности поддерживать лампы в исправном состоянии стерилизация ультрафиолетовыми лучами оставлена, и введено хлорирование.

В американских установках кварцевые лампы расположены последовательно одна за другой. Очищаемая вода подвергается последовательно действию каждой из них. Глубина проникновения ультрафиолетовых лучей — по американской практике только 125 мм.

Очистке может подвергаться вода, мутность которой не превосходит 0,000015.

При установке 6 ламп последовательно (220 V и 3,5 A на каждую) можно стерилизовать от 1 000 до 2 000 куб. м в сутки. Уменьшение числа бактерий после каждой лампы приблизительно выразится в 30, 45, 60, 70, 90 и 99%.

§ 97. Очистка воды марганцевокислым кали. В Александрии был проделан большой опыт применения марганцевокислого калия для очистки воды. KMnO_4 легко выделяет кислород и окисляет органическую материю, кроме того он действует как коагулянт.



Перекись марганца совершенно нерастворима в воде и выпадает в осадок, увлекая за собой, подобно $\text{Al}(\text{OH})_3$, взвешенные примеси из воды. Но KMnO_4 действует гораздо медленнее $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, поэтому продолжительность отстаивания — от 12 до 24 часов.

KMnO_4 применяется в ничтожных дозах — 1—2 мг на литр. После обработки воды KMnO_4 и отстаивания нагрузка медленных фильтров могла быть доведена до 200 мм в час.

При очень грязной воде возможна двойная последовательная обработка ее: сначала сернокислым алюминием, а потом марганцевокислым калием. В Александрии с успехом применяли и этот прием. На окислительной способности KMnO_4 основано удаление из воды растворенных органических веществ.

§ 97а. Стерилизация серебром. В 1893 г. была опубликована работа Негели о бактерицидном действии очень слабых растворов серебра и других металлов (медь, ртуть и др.). Негели назвал это действие очень слабых растворов олигодинамическим. Г. Краузе в самое последнее время воспользовался этим явлением для

стерилизации питьевой воды. Он выяснил условия, при которых серебро действует наиболее активно и назвал такое активное состояние серебра катадином. Серебро растворяется в воде пропорционально своей поверхности, поэтому для увеличения растворимости, необходимо привести серебро в такую форму, чтобы поверхность его была очень велика. Кроме того необходимо еще привести серебро в особое структурное состояние, тогда его олигодинамическое действие значительно увеличивается. Количество серебра, переходящее в раствор при коротком времени растворения—15—30 микрограммов (т. е. 10^{-6} —2 миллионных долей ϵ) в литре, при продолжительном контакте, а также при встряхивании это количество может увеличиться в несколько раз. Бактериубийственное действие растворов серебра пропорционально крепости раствора. Более слабые растворы требуют более продолжительного действия.

Для стерилизации воды Краузе prepares маленькие фарфоровые цилиндрики, покрытые с поверхности серебром. Эти цилиндрики могут служить фильтрующим материалом для фильтра, через который пропускается стерилизуемая вода. Süddeutsche Serum-Institut, München поставляет аппараты для стерилизации серебром. Один из таких аппаратов представляет глиняную бутылку, наполненную посеребренными цилиндриками. Два литра воды, размещенные в промежутках между цилиндриками, стерилизуются в течении двух часов. Запас серебра в бутылки достаточен для стерилизации свыше миллиона литров воды. Широкое применение этого способа стерилизации воды наталкивается на очень высокую цену стерилизующего материала—посеребренных цилиндриков—2—3 000 марок за один кубический метр.

Время стерилизации зависит от количества бактерий в воде: чем больше бактерий тем дольше должна продолжаться стерилизация.

Стерилизованная вода сама становится стерилизатором, так как долгое время сохраняет бактериубийственные свойства и может стерилизовать посуду.

На вопрос, не оказывает ли стерилизованная серебром вода вредного действия на человеческий организм при длительном ее употреблении, ответить пока нельзя в виду новости этого дела¹.

¹ Gesundheits Ingenieur, 1929, Heft 27.

Oligodinamische Wassersterilisierung durch Katadynsilber v. n Georg Krause.

ГЛАВА XX.

ЗАКОНЫ ОЧИСТКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

§ 98. Первый закон. Давно уже делались попытки найти зависимость между количеством бактерий в сырой воде и в фильтрате, но они оказывались безуспешными. Замечено было, что нет постоянного отношения между этими двумя количествами и что при уменьшении бактерий в сырой воде процент оставшихся в фильтрате увеличился. Американцы в лице Стритера (Streeter) пошли дальше и установили математическую зависимость между количеством бактерий в сырой воде R и очищенной E в форме уравнения:

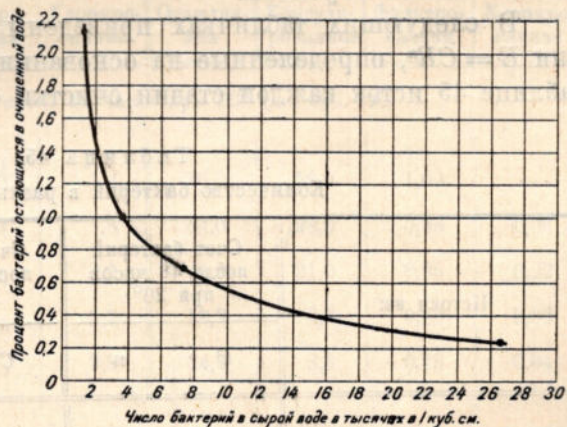
$$E = CR^n,$$

где C и n — постоянные величины, характерные для данного источника водоснабжения.

Зависимость в форме уравнения $E = CR^n$ имеет место не только для фильтров, но и для других способов очистки: простого отстаивания, отстаивания с коагулированием и хлорирования, причем для разных способов очистки установлены разные значения постоянных C и n .

Счет бактерий может производиться разными способами: 1) при разведении на желатине при 20° , 2) на агаре при 37° (температура, наиболее благоприятная для кишечных бактерий) и 3) счет только одного вида бактерий *coli* (кишечная палочка) при 37° . Инженером Стритером установлены значения C и n для разных способов подсчета из данных за один год двух хорошо работающих фильтровальных установок на реке Огайо.

Черт. 137 изображает кривую, построенную по данным подсчета



Черт. 137.

бактерий на желатине для воды, прошедшей все стадии очистки. По оси абсцисс отложены количества бактерий в сырой воде в тысячах в 1 см^3 , а по оси ординат — процент остающихся в очищенной воде.

Чем больше бактерий в сырой воде, тем больший процент их задерживается очистными сооружениями, и наоборот. Однако абсолютное количество остающихся в фильтрате бактерий растет с увеличением их количества в сырой воде: так например при 20 000 бактерий в 1 см^3 сырой воды в очищенную воду пройдет всего лишь 0,3%, т. е. 60 экземпляров; при 2 000 бактерий в сырой воде в очищенную воду перейдет 1,4%, т. е. 28 экземпляров. Эти данные относятся к воде профильтрованной и хлорированной.

Коэффициенты C и n , определенные на основании результатов работы фильтров Цинциннати и Луисвилля в 1916 г., были проверены Стритером в 1923/24 г. на десяти следующих фильтровальных станциях, расположенных по реке Огайо на протяжении 1 200 км ее течения: Ист Ливерпуль, Стеубенвилль, Гентинг, Ашланд, Айронтон, Портсмут, Цинциннати, Луисвилль, Эвансвилль и Гендерсон.

Результаты очистки в 1923/24 г. оказались значительно лучше, чем в 1916 г., не только в 8 новых городах, но и в обследованных в 1916 г. Цинциннати и Луисвилле. За 8 лет практика фильтрации сделала большие успехи.

В следующих табличках приведены значения C и n в уравнении $E = CR^n$, определенные на основании данных десяти городов. В таблице 45 исток каждой стадии очистки относится к сырой воде:

Таблица 45.
Количество бактерий в разных источках.

Исток из:	Счет бактерий после 48 часов при 20°		Счет бактерий после 24 часов при 37°		Число бактерий coli в 100 куб. см	
	C	n	C	n	C	n
1-го отстойника	2,9	0,72	0,86	0,79	2,4	0,71
Коагуляционного отстойника	4,0	0,58	0,74	0,79	2,4	0,67
Из фильтров	0,01	0,97	0,14	0,61	0,1	0,45
После хлорирования	0,44	0,24	0,008	0,78	0,15	0,22

В таблице 46 исток из каждой стадии очистки относится к воде, поступающей на эту стадию.

Таблица 46.

Источники из:	Счет бактерий после 48 часов при 20°		Счет бактерий после 24 часов при 37°		Число бактерий соли в 100 куб. см	
	<i>C</i>	<i>n</i>	<i>C</i>	<i>n</i>	<i>C</i>	<i>n</i>
1-го отстойника	2,9	0,72	0,86	0,79	2,4	0,71
Коагуляционного отстойника	2,8	0,73	0,44	0,96	8,0	0,43
Из фильтров	0,15	1,0	0,923	1,25	2,1	0,17
После хлорирования . .	1,0	0,41	0,40	0,66	0,008	2,10

Для более подробной характеристики работы десяти указанных очистных станций служат таблицы 47 и 48, составленные на

Таблица 47.

Количество остающихся бактерий на разных стадиях очистки воды.

Число бактерий					Процент остающихся по отношению к сырой воде			
Сырая вода	Осажденная	Коагулированная	Фильтрованная	Хлорированная	Осажденная	Коагулированная	Фильтрованная	Хлорированная
1. Счет на агаре после 48 часов при 20° (в 1 куб. см)								
100	76	56	1,0	1,3	76,0	56,0	1,00	—
500	270	140	4,4	1,8	54,0	28,0	0,88	0,36
1 000	450	210	8,5	2,2	45,0	21,0	0,85	0,22
5 000	1 460	540	40,0	3,2	29,2	10,8	0,80	0,06
10 000	2 400	800	78,0	3,8	24,0	8,5	0,78	0,04
2. Счет на агаре после 24 часов инкубации при 37° (в 1 куб. см)								
100	33	29	2,2	0,2	33,0	29,0	2,20	0,20
500	130	105	5,8	0,9	26,0	21,0	1,16	0,18
1 000	210	180	8,8	1,7	21,0	18,0	0,88	0,17
5 000	740	660	23,0	6,2	14,8	13,2	0,46	0,12
10 000	1 250	1 140	36,0	10,5	12,5	11,4	0,36	0,10

Таблица 48.
Число бактерий coli в 100 куб. см.

Число бактерий					Остающихся по отношению к сырой воде			
Сырая вода	Осажденная	Коагулированная	Фильтрованная	Хлорированная	Осажденная	Коагулированная	Фильтрованная	Хлорированная
100	65	54	2,7	0,4	65,0	24,0	2,70	0,40
500	210	170	3,5	0,6	42,0	34,0	0,70	0,12
1 000	350	260	4,0	0,7	35,0	26,0	0,40	0,07
5 000	1 100	780	5,3	1,0	22,0	15,6	0,11	0,02
10 000	1 750	1 250	5,9	1,2	17,5	12,5	0,06	0,01

основании суммарных данных всех десяти установок. Для каждой степени заражения воды бактериями от 100 до 10 000 даны остающиеся количества бактерий после каждой стадии очистки в абсолютной цифре и в процентах к сырой воде.

Американские реки благодаря быстрому росту прибрежного населения и спуску неочищенных канализационных вод в них загрязняются все больше и больше. Среднее количество бактерий в реке Огайо у Цинциннати изменялось по трехлетиям следующим образом:

Таблица 49.
Количество бактерий в реке Огайо.

Годы	Число бактерий в 1 куб. см	Бактерий coli в 1 куб. см
1908—1910	8 400	—
1911—1913	13 670	13,9
1914—1916	19 030	23,2
1917—1919	23 040	23,6

Очистным водопроводным сооружениям все труднее и труднее справляться с очисткой такой загрязненной воды. Хлорирование оказало большую помощь американским водопроводам, без него они очутились бы в очень затруднительном положении. Но дальнейшее загрязнение рек угрожает превзойти очистные способности фильтрационных установок. Как найти предел допустимого загрязнения?

Для этой цели в формулу $E = CR^n$ надо подставить коэффициент C и n из таблицы для бактерии coli 0,15 и 0,22. Вместо же E надо поставить 1, так как по нормам 1925 г. допустимое количество бактерий coli в очищенной воде не должно быть больше 1 экземпляра в 100 куб. см $1 = 0,15R^{0,22}$, откуда $R = 5060$, или кругло 5000. Таким образом предельное заражение сырой воды, с которым еще может справиться современная хорошо работающая американская очистная станция, равно 5000 бактерий coli в 100 куб. см, или 50 в 1 куб. см, что, переводя на титр бактерии coli, равно = 0,02.

В формуле $E = CR^n$ величины C и n по первым исследованиям Стригера в Цинциннати и Луисвилле в 1916 г., когда работа очистных станций была хуже, имели иные значения, чем приведенные в таблицах цифры по исследованиям в десяти городах по реке Огайо в 1923/24 г. При дальнейшем прогрессе в работе очистных сооружений эти цифры могут еще подвергнуться изменениям. Очистные установки на других реках с другими качествами воды вероятно дадут другие значения для C и n . Но всюду процессу очистки свойственно одно общее явление, которое можно назвать первым законом очистки воды, выразив его следующим образом: чем загрязненнее сырая вода, тем хуже результаты очистки на всех ее ступенях, хотя процент удаленных загрязнений увеличивается с ростом загрязнения сырой воды.

§ 99. Второй закон. Впервые автору пришлось столкнуться с этим законом 20 лет назад при исследовании работы биологического фильтра для очистки канализационной воды харьковской психиатрической лечебницы. Коксовый фильтр с дунбаровским распределением был построен в два яруса, со вторым промежуточным отстойником.

Первый ярус фильтра состоял из 4 постелей, каждая с объемом около 105 куб. м. Работали ли только три постели или же четыре, разница в результате очистки бывала небольшая. Присоединение к трем работающим постелям еще одной, т. е. увеличение объема фильтрующего материала на 33%, производило небольшое улучшение в степени очистки. Совсем иное получалось от присоединения к первому ярусу второго яруса, хотя объем двух фильтров второго яруса — всего только около 75 куб. м. Пробы из второго яруса обнаруживали резкое понижение окисляемости, очень значительное уменьшение аммиака, сильное увеличение азотной кислоты и большое повышение прозрачности.

Точно так же и второй отстойник между первым и вторым ярусами, несмотря на свою небольшую величину, оказывал существенную помощь общей работе установки.

Двойная фильтрация питьевой воды обнаруживала то же явление. Устройство перед медленными фильтрами небольших скорых фильтров вносило громадное улучшение в работу фильтрации,

Увеличение же площади медленных фильтров на величину скорых фильтров оказало бы ничтожное влияние на улучшение процесса фильтрации. Из десяти установок, обследованных Стригером, пять — Стеубенвилль, Айронтон, Портсмут, Цинциннати и Луисвилль — имели двойное отстаивание и отнесены им к первой группе. В трех из них первое отстаивание происходит без коагуляции, а в двух — Айронтоне и Портсмуте — и в первом отстойнике вода коагулируется. Пять остальных установок имеют только один отстойник с коагуляцией и отнесены ко второй группе.

Установки с двойным отстаиванием дают гораздо лучшие результаты, чем установки с одним отстаиванием.

На следующей таблице представлены сравнительно суммарные результаты очистки воды разного загрязнения первой и второй группы.

Таблица 50.

Результаты очистки воды разного загрязнения.

Сырая вода	Число бактерий						Процент оставшихся по сравнению с сырой водой					
	Коагулирование		Фильтрация		Хлорирование		Коагулирование		Фильтрация		Хлорирование	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
1. Счет на агаре после 24 часов инкубации при 37° (в 1 куб. см).												
100 . . .	22	31	1,0	6,8	0,3	0,3	22,0	31	1,0	6,8	0,30	0,30
500 . . .	60	140	3,2	22,0	0,7	1,3	12,0	28	0,64	4,4	0,14	0,26
1000 . . .	90	250	5,3	37,0	1,0	2,5	9,0	25	0,53	3,7	0,10	0,25
5000 . . .	250	1050	17,00	1,25	2,2	10,0	5,0	21	0,34	2,5	0,04	0,20
10000 . . .	380	1900	25,0	200,0	3,0	19,0	3,8	19	0,25	2,0	0,03	0,19
2. Число бактерий coli в 100 куб. см.												
100 . . .	40	75	2,1	3,5	0,2	0,6	40,0	75	2,1	3,5	0,50	0,60
500 . . .	84	270	3,1	4,0	0,3	0,9	16,8	54	0,62	0,80	0,06	0,18
1000 . . .	120	490	3,8	4,3	0,4	1,0	12,0	49	0,38	0,43	0,04	0,10
5000 . . .	240	1600	5,6	4,8	0,5	1,5	4,8	32	0,11	0,09	0,01	0,03
10000 . . .	340	2900	6,6	5,2	0,6	1,8	3,4	29	0,07	0,05	0,06	0,02

При коагулировании воды и в первом отстаивнике, т. е. при двойном отстаивании и двойном коагулировании, результаты очистки получаются еще лучше.

Интересно отметить, что Айронтон и Портмут, где коагуляция производится на обеих стадиях предварительного отстаивания, показывают наивысшую производительность по удалению бактерий, чем какая-либо другая установка на реке Огайо («Public Health Bulletin», № 172, стр. 81).

Опыты с двойным коагулированием в Цинциннати, как мы видели, дали такие же результаты.

Из всех этих фактов нужно сделать вывод, формулируя его как второй закон очистки воды, в следующем виде:

Двойное применение одного и того же приема очистки воды дает гораздо лучшие результаты, чем соответственное расширение однократного его применения.

Второй закон распространяется не только на очистку питьевой воды, но применим и к очистке сточных вод.

Опыты двойного хлорирования перед фильтрацией и после нее, производившиеся в последние два года в городах Сандуски, Уоррен, Канзас-Сити и др. подтвердили правильность изложенного выше закона и в применении к хлорированию. Работы немецких исследователей также приводят их к выводу, «что двойное хлорирование — предварительное хлорирование сырой воды и последующее хлорирование фильтрата — лучше действует, чем прибавление сразу требуемого количества хлора (Prof. Bruns, «Gas- und Wasserfach», № 44, 3/XI 1928).

При очистке воды плавательных бассейнов применяется фильтрация на скорых фильтрах, хлорирование и коагуляция. В Гамбурге при изучении работы фильтров нашли, что двойная фильтрация, т. е. последовательное пропускание воды через два фильтра дает гораздо лучшие результаты, чем параллельная работа двух отделений фильтров, хотя скорость фильтрации в первом случае вдвое выше, чем во втором (6—9 м в час).

При фильтрации главную роль играет поверхностная пленка, поэтому понятно, что двукратное прохождение воды через пленку должно дать значительное увеличение эффекта очистки.

Изложенные два закона не могут конечно претендовать на безусловную точность, как и многие эмпирические обобщения, они основаны на ограниченном числе наблюдений. Дальнейшие исследования должны выяснить условия и пределы их применения. Для воды мало загрязненной двукратная очистка может, напр., оказаться бесполезной.

ГЛАВА XXI.

УДАЛЕНИЕ ИЗ ВОДЫ ЖЕЛЕЗА, МАРГАНЦА, КАЛЬЦИЯ И МАГНИЯ.

§ 100. Обезжелезивание воды. Очень многие подземные воды содержат в своем составе растворенное железо. По современным воззрениям железо попадает в воду при посредстве углекислоты CO_2 , которой просачивающаяся дождевая вода обогащается в верхних слоях почвы.

CO_2 появляется как продукт разложения органической материи. В присутствии CO_2 вода растворяет железо из очень распространенных в природе железистых соединений. Большую роль в этом случае играет пирит-сернистое железо FeS_2 . При разложении пирита железо образует с углекислотой двууглекислую закись железа, а сера выделяется в виде сероводорода H_2S . Железистые воды содержат часто и аммиак — также неорганического происхождения.

Подземная железистая вода, придя в соприкосновение с воздухом, поглощает кислород, выделяет углекислоту, а железо переходит в водную окись:



которая нерастворима в воде и выделяется из воды в виде — сначала опалесцирующей взвеси или пленки на поверхности, а потом переходит в осадок бурого цвета.

Для здоровья железо безвредно, но оно портит внешний вид воды и ее вкус, оставляет на белье ржавые пятна. Железистая вода не годится для многих производств — белильных, красильных, прачечных, кожевенных, крахмальных и химических фабрик. В водопроводах осадки железа засоряют трубы. Наибольшее допустимое содержание железа в водопроводной воде 0,2 — 0,3 *дг* на 1 *куб. м* воды.

Содержание железа в воде подвержено очень сильным колебаниям — от долей миллиграмма до 100 *мг* и более на литр. В очень близких колодцах содержание его часто очень различно; и для одного и того же источника оно также не постоянно, а подвержено колебаниям.

В харьковских подмеловых скважинах наблюдалось такое содержание окиси железа Fe_2O_3 в 1913 г. (в миллиграммах на литр):

Скваж. № 1	Скваж. № 3	Скваж. № 4	Скваж. № 6	Скваж. № 7	Скваж. № 11
0,5—1,5	0,6—3,7	0,6—1,5	1,5—3,6	3,6—8,5	2,8—8,0

Колебания наблюдаются не только в разных скважинах, но и в одной и той же скважине в разное время. Выделение железа из воды происходит под влиянием кислорода, но этот процесс значительно ускоряется катализаторами, каковыми является песчаный фильтр, его пленка, ороситель и др. Небольшое содержание органических коллоидальных веществ в воде затрудняет процесс выделения железа, и только путем контакта это препятствие преодолевается. Для выделения железа недостаточно насытить кислородом воду, но необходимо еще пропустить ее через катализатор-фильтр.

Углекислота удерживает железо в растворе; выделение углекислоты содействует выделению железа. Во всасывающих трубах при значительном вакууме происходит выделение CO_2 и железа. При уменьшении содержания CO_2 из воды выделяется также часть углекислый кальций и магний. Обезжелезивание сопровождается и уменьшением устранимой жесткости.

Сернокислые соли железа и соли гумусовых кислот представляют большие трудности для выделения железа аэрированием, чем углекислые соли железа. Иногда в таких случаях прибавляют сернокислый глинозем. Прибавлением известкового молока связывается вся углекислота, что ведет к выделению железа. Наиболее трудно выделение железа из воды при наличии в ней большого количества органических растворенных веществ.

Слабожелезистые воды трудно подвергаются обезжелезиванию. В таких случаях искусственно увеличивают содержание железа прибавлением железного купороса и затем обезжелезывают.

Если железо связано с органическими кислотами, то выделению его способствует прибавление $KMnO_4$. По новым опытам при наличии железа в форме бикарбоната обезжелезивания можно достигнуть без фильтрации, одним прибавлением эквивалентного железу количества $KMnO_4$.

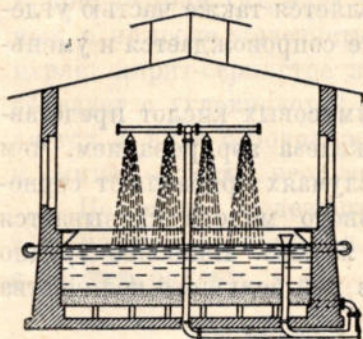
Проектированию обезжелезивающих сооружений должны предшествовать лабораторные опыты по обезжелезиванию данной воды. В Кенигсберге при содержании в воде 2 м органически связанного железа аэрированием можно было удалить только 1 м, озонированием — 2,5 г озона на 1 куб. м воды — можно было совершенно освободиться от железа; одновременно достигалась и стерилизация воды.

Процесс обезжелезивания состоит из аэрации, отстаивания и фильтрации; не всегда нужны все эти три операции. При легком

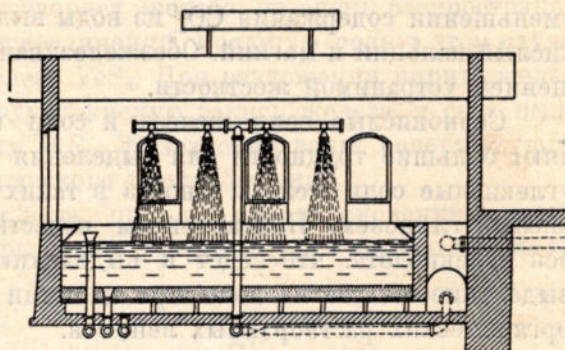
выделении железа из раствора достаточно аэрации и фильтрации или даже одной фильтрации.

Фильтры для обезжелезивания воды на Конторской станции харьковского водопровода не имеют никаких приспособлений для аэрации: аэрирование происходит только от соприкосновения поверхности воды фильтра с воздухом. При скорости фильтрации 200—300 мм/час результаты получаются удовлетворительные. По способу Остена аэрирование производится душами (черт. 138). При высоте падения воды 2 м получается почти полное насыщение ее кислородом.

Пи фке предложил оросители — коксовые башни 2—4 м высотой. Вода равномерно распределяется по их поверхности и, стекая тонкими струйками по коксу, напитывается кислородом. Осевшая на коксе окись железа служит катализатором. Вместо коксовых башен устраивают деревянные градирни или воду пропускают через дырчатые деревянные корыта в несколько этажей. Последнее устройство применено в Харькове на Малиновской станции.



Черт. 138a.



Черт. 138b.

Производительность оросителя — в среднем 2—4 куб. м на 1 кв. м в час. Промывка его производится пропусканием через него двойного количества воды в течение 15 минут.

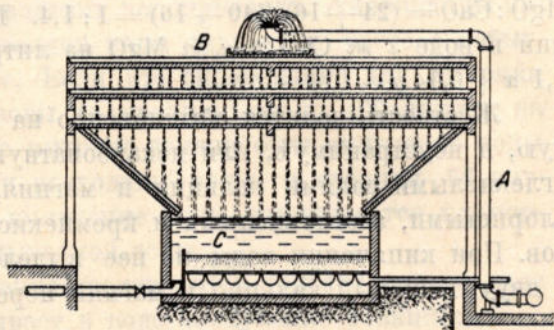
Вода из оросителей обыкновенно направляется в отстойники, где оседает большая часть хлопьев гидрата окиси железа. Из отстойника вода поступает на скорые фильтры из мелкого, а в некоторых конструкциях — из крупного материала. Вот примерное напластование такого фильтра (Копенгаген) из крупного материала:

Первый слой	0,30 мм	величина зерен	4—6 мм
Второй	» 0,60	»	» 9—12
Третий	» 0,30	»	» 20—25
Четвертый	» 0,60	»	» 45—50
Пятый	» 0,15	»	» 80—100

Для быстродействующих песчаных фильтров нет надобности в какой-либо особой конструкции. Здесь должны быть соблюдены общие принципы конструкции скорых фильтров нового типа. Песок для фильтрации здесь применяется часто крупнее, чем в обычных фильтрах — 1—3 мм. Скорость фильтрации в разных местах различна — зависит очевидно от большей или меньшей легкости выделения железа: в Брауншвейге — 1 м/час, Лейпциге — 1,5—1,7, Меране 1,3—2,6, Бреславле — 0,65—1,30, Ганновере — 0,83, Харькове — 4 и т. д.

Черт. 139 изображает харьковские скорые фильтры для обезжелезивания.

Вода подается по трубе *A*, разливается по желобам *B* и стекает в фильтр *C*. Поверхность фильтра — 20 кв. м; фильтр устроен с двойным дном из железобетонных продырявленных плит с площадью сечения всех отверстий в несколько процентов от площади фильтра. Такая площадь отверстий дает ничтожное сопротивление для промывной воды. На плитах уложен слой гравия в 20 см, а на нем слой песка также в 20 см из зерен 1,5 мм. Скорость фильтрации 4 м/час, и при такой скорости результаты получаются хорошие. Обратная промывка производится слабо, — нужна помощь рабочих с граблями.



Черт. 139.

Жолоба для аэрации занимают большую площадь, чем самые фильтры, хотя в этом нет надобности: из-за этого площадь здания плохо использована, — между фильтрами большие промежутки. Обычно фильтры ставятся рядом один с другим, имея одну общую стенку.

Естественный обмен воздуха в аэрационном отделении вполне достаточен для обеспечения полного насыщения воды кислородом. Грунтовая вода при обычной температуре и полном насыщении растворяет примерно 0,000010 кислорода. Для окисления же 1 части железа требуется 0,14 частей кислорода.

Естественная вентиляция дает от $\frac{1}{2}$ до 1 объема воздуха в час; таким образом естественный обмен оказывается вполне достаточным.

Таким же способом производится освобождение воды от углекислого марганца.

§ 101. Жесткость, реакции смягчения воды известью и содой. Присутствие в воде растворенных солей кальция и магния делает ее

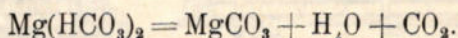
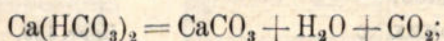
жесткой. При приливании к жесткой воде мыльного раствора, пена не образуется до тех пор, пока соли кальция и магния не будут насыщены мылом.

Мыло представляет собой смесь натровых или калиевых солей жирных кислот: твердых — пальмитиновой, стеариновой и жидкой — олеиновой.

Натровые соли жирных кислот вступают в обменное разложение с солями кальция и магния, и пока реакция не закончится образованием кальциевых и магниевых солей жирных кислот, дающих хлопья в мыльной воде, мыльный раствор не дает пены при взбалтывании. На этом основан способ Кларка для определения жесткости воды.

Меры жесткости и соотношение между разными единицами жесткости даны в отделе коагуляции. Жесткость от магния пересчитывается на кальциевую жесткость пропорционально атомным весам $MgO : CaO = (24 + 16) : (40 + 16) = 1 : 1,4$. Таким образом при содержании в воде x мг CaO и y мг MgO на литр жесткость ее будет равна $0,1x + 0,14y$.

Жесткость делится обыкновенно на устранимую, или карбонатную, и неустраимую, или некарбонатную. Первая вызывается двууглекислыми солями кальция и магния, а вторая — сернокислыми, хлористыми, азотнокислыми и кремнекислыми солями тех же металлов. При кипячении воды из нее выделяется избыток углекислоты и двууглекислый кальций и магний переходят в углекислые соли:



Но в то время как $CaCO_3$ действительно очень мало растворим в воде, приблизительно 20 мг на литр, и выпадает в осадок, растворимость $MgCO_3$ приблизительно равна 100 мг на литр, и так как обычно магния в естественной воде бывает меньше этого количества, то выпадения магния в осадок часто не происходит. Отсюда видно, что обозначение всей карбонатной жесткости как устранимой неправильно.

Углекислый кальций выделяется частично из воды не только при кипячении, но и просто при некотором нагревании воды и даже при стоянии воды в открытых сосудах.

Вода с жесткостью до 10 немецких градусов, принятых у нас, обыкновенно считается мягкой, от 10 до 20° — средней и выше 20° — жесткой.

Жесткая вода для здоровья безвредна, по мнению некоторых исследователей даже полезна, потому что дает организму необходимый для него кальций. Жесткость коровьего молока выражается

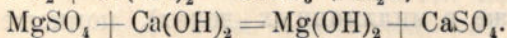
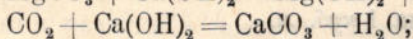
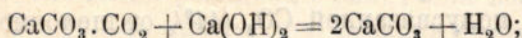
в 200—208°. Многие города питаются водой в 40—50° и более жесткости без всяких вредных последствий. Община Бюргель (Bürgel) около Иены 1 000 лет пьет воду в 103° жесткости.

Большая жесткость воды очень невыгодна для стирки белья, так как на каждые 10° жесткости требуется лишний расход 1,2 кг мыла на 1 куб. м воды. Стручковые плоды трудно развариваются в жесткой воде и значительно теряют в своей питательности. Жесткая вода вредна для многих химических производств и особенно вредна для паровых котлов, где она вызывает образование котельной накипи. Это ведет за собой понижение теплопроизводительности котла и частые остановки для очистки накипи.

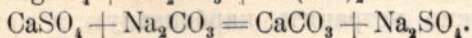
В Америке считают, что жесткая вода вызывает ежегодный убыток от 400 до 4 000 долларов на каждый паровоз.

Смягчение воды прежде применялось только для котлов и промышленных целей. В последнее время в Америке смягчение воды начинает применяться и на городских водопроводах. Американцы находят, что смягчение водопроводной воды окупается, часто с избытком, одной экономией на мыле. Если это справедливо для Америки с ее громадными расходами воды (в среднем около 400 литров на человека в день), то тем более выгодно должно быть смягчение воды у нас (с нашими небольшими расходами воды, в среднем 56 литров на человека). Расход на смягчение воды уменьшается пропорционально количеству обрабатываемой воды.

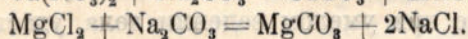
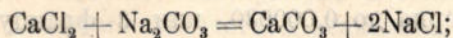
Смягчение воды обыкновенно производится прибавлением к воде извести и соды. Известь вызывает в воде следующие реакции:



Реакции, вызываемые содой, выражаются следующими уравнениями:



Соли других кислот реже встречаются в воде:



Из последних пяти реакций видно, что на каждую частицу СаО и MgO, входящую в состав некарбонатной соли, нужна одна частица соды Na_2CO_3 .

На каждую частицу свободной и полусвязанной углекислоты нужна одна частица извести.

Кроме того каждая частица MgO требует еще одну частицу извести, так как углекислая магнезия, как указано выше, несколько растворима в воде, и для выделения магния в осадок необходимо перевести MgCO_3 в водную окись магния $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Растворимость $\text{Mg}(\text{OH})_2$ — 6,4 мг на литр, а растворимость MgCO_3 около 100 мг.

Таким образом в результате процесса смягчения соли кальция дают осадок CaCO_3 , а соли магния — $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

Необходимость точного анализа воды для расчета реактивов является затруднительной в случае переменного состава воды; дело осложняется еще тем, что углекислота может улетучиться из воды при перевозке образцов в лабораторию. Эти затруднения вызвали появление упрощенных способов определения количества реактивов без производства химического анализа. Первый способ Биндера-Грегера состоит в том, что к воде прибавляют избыток реактивов и затем путем титрования определяют неизрасходованные остатки их.

Второй способ Барта-Пфейфера представляет собой упрощенный анализ, сводящийся к осаждению кальция в углекислый кальций и всего магния — в гидрат магния $\text{Mg}(\text{OH})_2$. (Юшкевич, Смягчение жестких вод, Москва, 1925 г.)

В Америке расчет реактивов производится на основании упрощенного анализа, которым определяется количество (в миллионных частях) свободной CO_2 , полусвязанной CO_2 (44% от щелочности), некарбонатная жесткость и вся магнезия.

Сумма свободной и полусвязанной CO_2 , умноженная на 0,00126, дает число килограммов СаО на 1 куб. м.

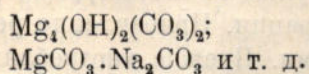
Вся магнезия (также в миллионных долях), помноженная на 0,00226, дает число килограммов СаО на 1 куб. м для осаждения магнезии.

Некарбонатная жесткость минус то количество ее, которое желательно оставить в смягченной воде, помноженная на 0,00107, дает килограммы Na_2CO_3 на 1 куб. м воды.

Едким натром NaHO можно устранить карбонатную и некарбонатную жесткость, но он обходится дороже извести и соды.

Если бы реакции смягчения происходили точно в соответствии с указанными химическими уравнениями, то жесткость должна была понижаться примерно до 0,000030, или 3 французских градусов. В растворе должно было оставаться 20 мг CaCO_3 и 6,4 мг $\text{Mg}(\text{OH})_2$. В действительности же при умелом ведении дела удается понизить

жесткость только до 5—7 французских градусов. Причина этого явления лежит в образовании сложных солей магния:



Высокая некарбонатная жесткость требует больших доз Na_2CO_3 , а это усиливает образование сложных солей.

Жесткость насыщенного раствора извести при t 20° равна 220 французским градусам или 123° немецким. Концентрация водородных ионов этого раствора $\text{pH} = 12,35$. При действии CO_2 на этот раствор образуется CaCO_3 , выпадающий в осадок, при этом понижается жесткость и pH . При $\text{pH} = 9,4$ жесткость достигает наименьшей величины 1,5—2 французских градуса. Дальнейшее прибавление CO_2 увеличивает жесткость, потому что переводит нерастворимый CaCO_3 в растворимый $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и понижает pH . Почти столько же можно перевести в раствор кальция в форме двууглекислого кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, сколько его было в насыщенном растворе извести.

Насыщенный раствор водной окиси магния $\text{Mg}(\text{OH})_2$ по Бусуэлу содержит, как мы видели, магнезии, 6,4 *мг* на литр, а по Бейлису — даже 3 *мг*. Осаждение магнезии завершается при pH около 10,6.

Действием углекислоты на воду с магниезией магнезия переводится в $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ pH уменьшается; при $\text{pH} = 8,8$ и температуре 23° магния окажется в растворе около 240 *мг*.

Бейлис подчеркивает необходимость знания pH для правильного руководства реакциями смягчения воды.

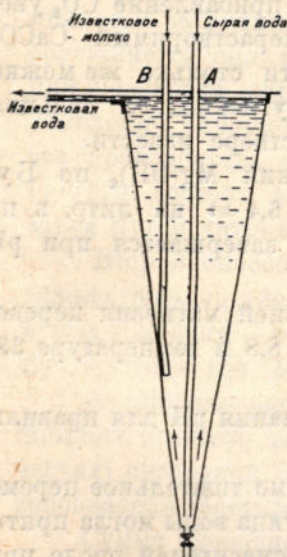
Для успеха химической реакции необходимо тщательное перемешивание реактивов с водой, чтобы каждая частица воды могла притти в соприкосновение с реактивами. Устройство смесителей после прибавления реактивов поэтому считается необходимым. Продолжительность пребывания воды в смесителе — от нескольких минут до 2—3 часов. Процесс отстаивания в городских установках длится 12—24 часа. Ввиду большого количества осадков большинство новейших городских установок снабжается дорровскими аппаратами для непрерывного удаления осадка, и часть осадка снова возвращается в отстойник в помощь коагуляции.

Раздельный способ смягчения состоит в том, что очень значительную часть всей воды обрабатывают избытком реактивов, а потом прибавлением остальной части воды нейтрализуют избыточные реактивы. Таким образом в Колумбусе достигали большего понижения жесткости данным количеством реактивов, чем при обычном способе.

§ 102. Смягчение воды на городских водопроводах. Для смягчения небольших количеств воды для промышленных целей

существует много патентованных аппаратов. На городских же установках для смягчения воды служат те же сооружения, что и для коагуляции, отстаивания и фильтрации. Прибавление реактивов может происходить разными способами. Прежде употреблявшийся способ прибавления насыщенного раствора извести теперь в Америке оставлен ввиду дороговизны устройства сатураторов и значительной потери в осадке.

Сатуратор представляет собой высокий опрокинутый конус (фиг. 140) или высокий цилиндр с коническим дном. Сырая вода подводится трубой *A* к самому дну, а известь, размешанная с водой, подается трубой *B*. Медленно поднимающаяся вверх вода, встречая известь, постепенно растворяет ее (растворимость извести 1 : 800) и с верха конуса отходит насыщенный раствор извести — известковая вода.



Черт. 140

Прибавление извести в виде известкового молока или смеси молока и соды применяется часто. При этом необходимо непрерывное механическое перемешивание смеси, иначе известь осаждается и нарушает процесс. Для расходов сырой воды меньше 10 л в секунду трудно поддерживать непрерывное питание реактивами. В таких случаях применяется периодическое наполнение и опорожнение резервуаров и периодическое питание, или же должен быть установлен автоматический питательный аппарат со степенью неравномерности, не превосходящей 2%.

Количество реактивов должно быть пропорционально притекающей сырой воде. Эта пропорциональность может поддерживаться автоматическими приспособлениями. На очень крупных установках возможно применение очень простого способа, именно засыпка определенных количеств реактива через определенные промежутки времени. В последнее время начинают входить в употребление автоматические аппараты для такого питания реактивами.

После прибавления реактивов сырая вода поступает в смеситель, где в течение 20—30 минут перемешивается механической мешалкой со скоростью 0,15—0,5 м/сек.

Нужно избегать быстрых перемен скорости, чтобы не нарушать образование хлопьев.

Прибавление сернокислого алюминия одновременно с известью и содой или немного раньше улучшает процесс осаждения, но одно-

временно вызывает увеличение некарбонатной жесткости. Для устранения этого явления необходимо дополнительное количество соды.

В отстойном бассейне после смесителя накапливается большое количество осадков, — необходимо их частое, почти непрерывное, удаление. Этого можно достигнуть или устройством глубоких воронок на дне, или механическим скребком (Дорр). Часть осадка оказалось выгодным возвращать в смеситель: это улучшает образование хлопьев и кроме того осадок не всегда бывает окончательно истощен. Температура оказывает большое влияние на реакции смягчения воды, — при низких температурах они замедляются. Вообще продолжительность реакции невелика. В г. Колумбусе (Огайо) установлено на основании многолетних наблюдений, что 90% реакций совершается в смесителе с двухчасовым пребыванием воды, 3% — в отстойнике при 15 часах пребывания и 7% — при прохождении через фильтры.

Трудно достигнуть также полной реакции между известью и солями магния, потому что при большом содержании солей магния известь дает с ним и растворимые соединения; поэтому очень жесткие воды труднее смягчать. Большие трудности для смягчения представляют воды с большой некарбонатной жесткостью. Большие количества соды, необходимые в этом случае, вызывают образование с известью основных карбонатов кальция и магния, растворимых в воде.

Устранение некарбонатной жесткости обходится в пять раз дороже, чем смягчение карбонатной, потому что сода стоит (в Америке) в два с половиной раза дороже извести, и кроме того требуется ее для реакции вдвое больше. Фильтрация воды, обработанной известью и содой, оказывает вредное влияние на фильтры. Карбонаты, кристаллизуясь на песчинках фильтра, увеличивают их размеры и с течением времени делают их негодными для фильтрации. Кроме того кристаллизующиеся карбонаты цементируют песчинки и образуют твердые комья в слое песка. Один или два раза в год эти комья надо разбивать лопатами, а после 7—8 лет службы песок надо менять. В трубах образуются инкрустации, ими же забиваются краны, водомеры и пр.

Для устранения этих вредных последствий в воде после ее смягчения растворяется некоторое количество углекислоты, получаемой от сжигания кокса, нефти или газа.

Установка для карбонизации воды должна состоять из печи, производящей газ, воздушного компрессора, скруббера, сушилки для очистки газа и наконец диффузора — распределителя газа в воде. Обыкновенно содержание CO_2 в продуктах горения 15—17%. Тепло печи используется для образования пара, которым приводится в движение воздушный компрессор. Количество добавляемой CO_2 3—5 мг на литр.

В Дефайансе (Огайо) на 1 000 куб. м обработанной воды расходовали 20 кг кокса.

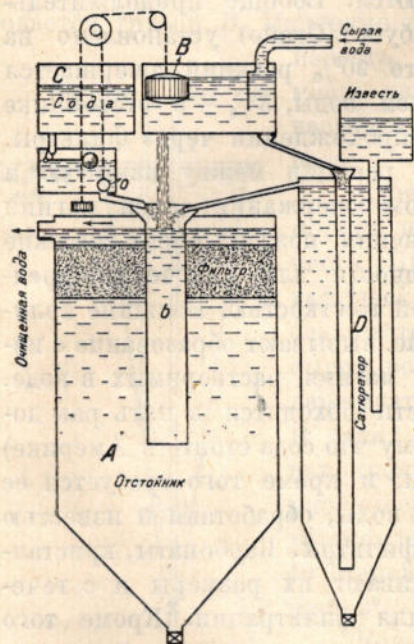
Стоимость очистных установок для смягчения и фильтрования воды в настоящее время в Америке оценивается в 10 560 долларов на 1 000 куб. м очищаемой воды. Одна установка для смягчения без фильтров стоит половину этой суммы.

Стоимость эксплуатации, считая 90-процентную известь по 12 долларов, а соду—по 30 долларов за тонну, представится в следующем виде: удаление 0,000001 карбонатной жесткости стоит 0,82 цента¹, стоимость соды для удаления 0,000001

некарбонатной жесткости—3,6 цента, и кроме того избыток извести для осаждения магнeзии обойдется 3,4 цента также на 0,000001. Все эти цены относятся к 1 000 куб. м воды.

В городских установках жесткость понижается обыкновенно до 8,5—10°. Щелочность сводится до 4—6°, а магниевая жесткость до 1°.

По сведениям «J. A. W. W. A.» в 1925 г. смягчение воды производится в 15 городах САСШ. Ежегодно прибавляются новые установки. Смягчение воды представляет большие выгоды для потребителей. Для Сан-Франциско в «J. A. W. W. A.» (декабрь, 1924) произведены следующие подсчеты. Лишний расход мыла на 1 000 л воды равен 1,58 кг, что при цене в 24 цента за 1 кг составит 0,40 доллара. Смягче-



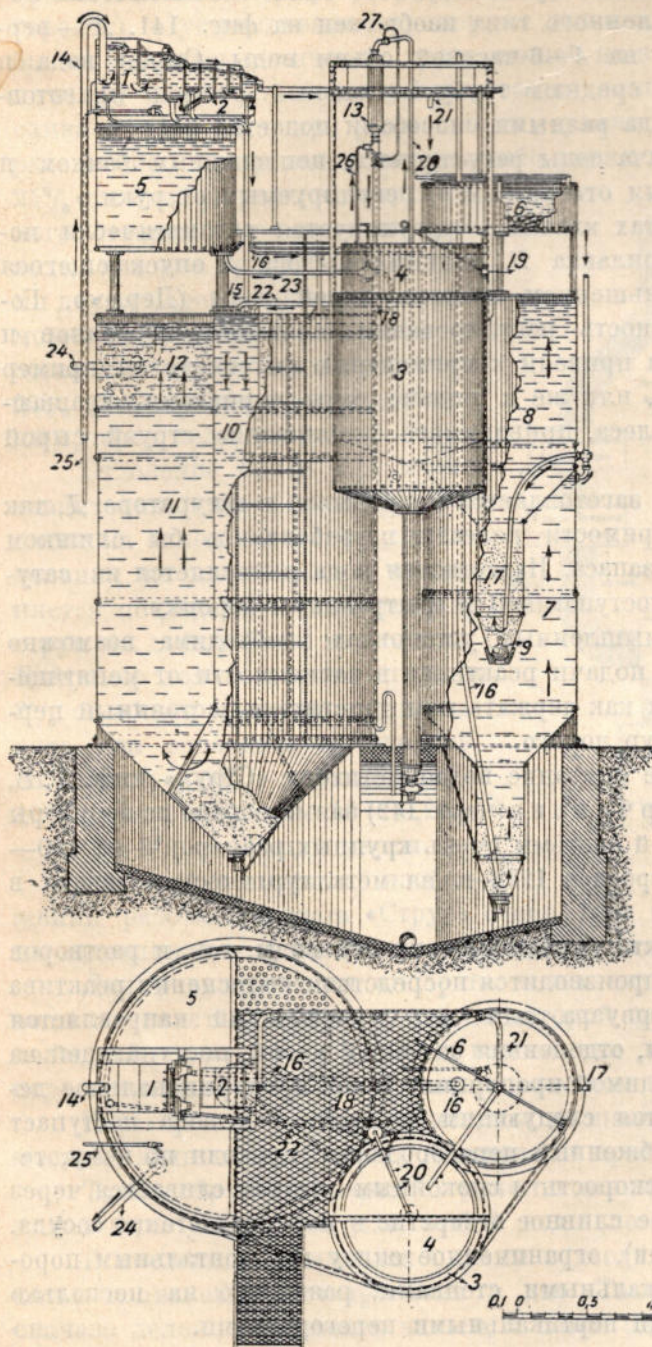
Черт. 141

ние же воды на центральной станции обошлось бы не дороже 1,3 цента на 1 000 л. Таким образом, если $\frac{1}{30}$ воды употребляется в домашнем хозяйстве с мылом, то расход на излишне употребленное мыло будет равен расходу на смягчение всей водопроводной воды. В европейских водопроводах, расходующих в несколько раз меньше воды на жителя, доля воды, расходуемой на стирку и вообще с мылом может подняться до 10—20%, в таком случае смягчение воды на центральных станциях представит большую экономическую выгоду.

Сан-Франциско с населением 500 000 человек расходует в среднем 175 000 куб. м в день, из них 30 000 из скважин. Около 8% всего

¹ 1 доллар = 100 центам.

расхода смягчается на частных промышленных установках и число этих установок непрерывно растет. Стоимость всех этих частных



1. Главный водослив с двумя подвиж. перегородками.

2. Водослив для отмеривания содового раствора.

3. Расходный резервуар содового раствора,

4. Сосуд-вытеснитель содового раствора.

5. Резервуар для приготовления содов. раствора.

6. Резервуар для гашения извести.

7. 1-е отделение сатуратора для известковой воды.

8. 2-е отделение сатуратора для известковой воды.

9. Подъемный клапан для спуска извести из 2-го в 1-е отделение сатуратора.

10. Общий смеситель воды с реактивными растворами.

11. Отстойник.

12. Фильтр из древесной щерсти для очищенной воды.

13. Сироп для удаления рабочей воды из вытеснителя.

14—27. Трубопроводы.

Черт. 142

установок больше, чем стоило бы устройство общегородской установки для смягчения всей водопроводной воды.

§ 103. Водоочистители промышленного типа. Схематически водоочиститель промышленного типа изображен на фиг. 141. *A* — вертикальный отстойник на 4–6-часовой объем воды. Сырая вода и реактивы поступают в среднюю трубу *b*. Содовый раствор готовится в чане *C*, откуда разными способами подается в *b*.

На фиг. 141 подача соды регулируется поплавковым бачком и переменным выпускным отверстием *o*, регулируемым от руки.

В других аппаратах клапан *o* регулируется автоматически посредством блоков и поплавок *B*, поднимающегося и опускающегося с увеличением и уменьшением притока сырой воды (Дерюмо, Говатсон, Шведе). Трудность регулирования клапанов и кранов и засорение их осадками привели к применению вытеснителей, пример которого описан ниже, или же к подаче соды черпаками, вращающимися от водного колеса, приводимого в движение струей сырой воды (Гордон).

Известковая вода готовится непрерывно в сатураторе *D*, так как при малой растворимости извести потребовались бы слишком большие баки для ее запаса. Известковая вода вытесняется из сатуратора сырой водой, поступающей в центральную воронку.

При малых промышленных установках необходима возможно большая механизация подачи реактивов в зависимости от меняющегося расхода воды, так как держать при очистителе постоянный персонал было бы чересчур дорого.

Приведенное ниже описание водоочистителя «Струя» инж. Г. Б. Красина и И. Г. Перчихина (черт. 142) заимствовано из брошюры 1914 г. Очиститель этой системы очень крупных размеров — на 150–300 куб. м в час — построен в 1928 г. на металлургическом заводе в Сталине.

Отмеривание реактивов как известковой воды, так и растворов соды или коагулянта, производится посредством вытеснения реактива из наполненного резервуара, для чего в последний направляется специально струя воды, отделенная от общей массы, поступающей на аппарат воды в необходимой пропорции. Такое пропорциональное деление воды производится следующим образом. Вся вода поступает в открытый сосуд, снабженный перегородками, проходя по нему, теряет первоначальную скорость и спокойным потоком сливается через широкое прямоугольное сливное отверстие в передней стенке сосуда. Отверстие это (водослив), ограниченное снизу горизонтальным порогом, а с боков — вертикальными стенками, разделено на несколько частей промежуточными вертикальными перегородками.

При геометрически точном изготовлении водослива и такой

же его установки деление струи происходит пропорционально расстоянием в свету между перегородками (с некоторой поправкой на влияние трения струи о вертикальные поверхности перегородок), и установленная пропорция деления воды сохраняется, как бы ни менялось количество поступающей на водослив воды; при увеличении этого количества увеличивается лишь толщина слоя воды в сливном отверстии, при уменьшении — уменьшается. Например если расстояние в свету между какими-либо двумя перегородками составит 25% от общей ширины в свету сливного отверстия, то и количество воды, которое пройдет между этими двумя перегородками и которое может быть собрано отдельно от остальной массы, составит также 25% от всего количества прошедшей через водослив воды.

Отделение более или менее значительной части воды производится на одном водосливе, для отделения же малой доли ее применяется последовательное деление струи на двух и более водосливах. Например для отделения струи в 2% от общей массы можно поставить два водослива и отделить: на первом — 20%, а на втором — 10% от этих 20%, или $0,10 \times 0,20 = 0,02 = 2\%$ от общей массы.

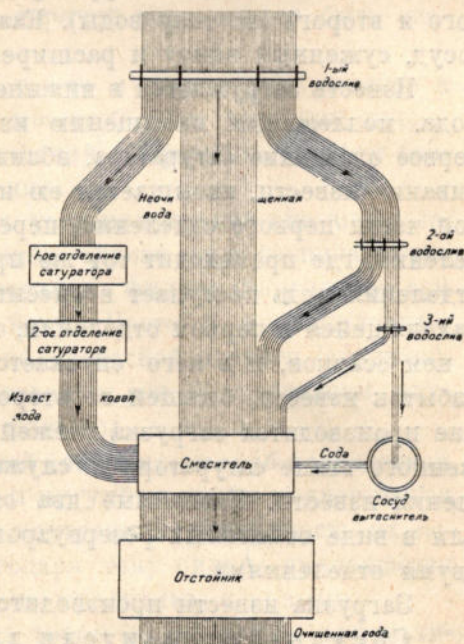
На схематическом изображении работы аппарата «Струя» (черт. 143) показано деление воды на водосливах и дальнейшее направление отдельных струй.

Для регулирования аппарата в тех случаях, когда жесткость воды изменяется, и пропорция, в которой реактивы прибавляются, должна быть изменена, один из водосливов делается с подвижными перегородками, перемещаемыми посредством винта.

Перегородки эти устанавливаются по шкале с делениями в зависимости от данных химического контроля по прямому указанию таблицы.

Таким образом аппарат «Струя» по данным химического анализа может быть установлен для любой воды по указанию таблицы.

В последних установках первый водослив заменен баком с десятью одинаковыми отверстиями в дне. Таким образом происходит сначала деление на десять частей, а потом одна струя делится далее на водосливах.



Черт. 143.

Известковый сатуратор. Насыщение воды известью производится посредством пропускания ее через избыток взмученной в воде извести и последующего отстаивания ее в верхних частях сатуратора.

Для получения высокой степени насыщения и для устранения возможности недостаточного насыщения в аппарате «Струя» применено двукратное насыщение воды и встречное движение воды и извести; в таких видах сатуратор состоит из двух отделений — первого и второго (по току воды). Каждое отделение представляет собой сосуд, суженный внизу и расширенный сверху.

Известь загружается в нижние суженные части обоих отделений. Вода, подлежащая насыщению известью, поступает с водослива в первое отделение сатуратора, вблизи его дна, производит здесь взмучивание извести, насыщается ею и, осветлившись в верхней широкой части первого отделения, перепускается по трубам во второе отделение, где происходит тот же процесс, что и в первом. Из второго отделения вода поступает в смеситель. По израсходовании извести, находящейся в первом отделении, оно освобождается от накопившихся в нем осадков, и в него спускается посредством открытия клапана избыток извести, бывшей во втором отделении, во второе же отделение производится загрузка свежей извести из резервуара, расположенного выше сатуратора и служащего для заблаговременного гашения извести. Названные два отделения сатуратора устраиваются или в виде отдельных резервуаров, или же в виде одного сосуда с двумя отделениями.

Загрузка извести производится один-два раза в сутки.

Сосуды-вытеснители для соды и коагулянта. Вытеснение соды, ввиду недопустимости смешения ее с водой, производится посредством сосуда-вытеснителя, который состоит из расходного резервуара, наполняемого содой, и свободно плавающего в нем сосуда-вытеснителя, в который поступает отделенная на водосливах струя воды. По мере загрузки вытеснителя он погружается и вытесняет равное по весу количество содового раствора.

Объем сосуда-вытеснителя рассчитывается, смотря по обстоятельствам, на 12-часовой и больший период времени, по истечении которого наполняющая сосуд рабочая вода должна быть удалена посредством имеющегося при нем сифона, а расходный резервуар наполнен вновь раствором соды.

Смеситель. Смеситель представляет собой обычно широкую приемную трубу, в которую поступают вся вода и реактивы. В верхней ее части располагается ряд тарелок с центральными и периферическими отверстиями попеременно.

Аппарат не имеет мешалок или каких-либо иных движущихся

частей. Смешение жидкостей и взмучивание извести производится исключительно посредством соответственно направленных струй самой очищаемой воды.

В указанной смесительной трубе располагаются приспособления для подогрева воды, если устройство такового предполагается.

Отстойный резервуар. Наиболее существенным моментом в устройстве отстойника является его объем, который при очистке холодной воды делается не менее четырехкратной часовой производительности аппарата, а при очистке горячей воды может быть сделан и на двухчасовой расход воды.

Объем отстойника сообразуется также с характером осадков в очищаемой воде. Форма отстойников может быть в широких пределах приспособляема к размерам помещения, а равным образом возможно располагать их и вне помещения.

Фильтры. Фильтры могут быть устраиваемы как вне аппарата, так и в самом отстойнике. В последнем случае они располагаются так, чтобы при спуске осадков из отстойника фильтр промывался сам собой обратным током очищенной воды. Часто в промышленных установках применяются фильтры из древесной шерсти (стружек), но они неприменимы для очистки питьевых вод. В последнем случае требуются кварцевые, песчаные фильтры.

§ 104. Цементирование внутренней поверхности труб посредством обработки воды известью. Стальные и чугунные трубы подвергаются часто разъеданию водой; кроме того внутренняя поверхность их покрывается ржавыми желваками, благодаря чему сильно уменьшается пропускная способность старых труб по сравнению с новыми.

Для предупреждения ржавления трубы обыкновенно асфальтируются, но асфальтовая облицовка хорошо держится только на наружной поверхности трубы, закрытой землей. Внутренняя же асфальтировка скоро смывается протекающей водой.

В последнее время в Северной Америке и Англии стали применять покрытие внутренней поверхности чугунных и стальных труб тонким слоем цемента. Этот способ защиты внутренней поверхности труб от ржавления и от образования желваков (наростов) имеет все основания для своего повсеместного распространения. Однако возникает вопрос, нельзя ли защиту труб от ржавчины производить другим способом, какой применяет иногда сама природа. Жесткие воды выделяют на внутренних стенках труб кристаллическую корку из углекислого кальция. Эта корка крепко пристает к стенкам труб и прекрасно защищает их от ржавления.

При смягчении воды на городских водопроводах медленно выделяющийся в осадок углекислый кальций также образует инкрустации в сети городских труб. При значительном развитии этого процесса.

трубы настолько забиваются осадками на стенках, что поперечное сечение их сильно суживается и пропуск воды сильно уменьшается. Чтобы предупредить накопление толстого слоя углекислого кальция на внутренних стенках труб смягчительные установки принуждены вновь насыщать обработанную воду углекислотой, чтобы перевести еще не выпавший в осадок углекислый кальций в двууглекислый, сравнительно легко растворимый и не дающий инкрустаций в трубах при умеренном содержании его в воде.

Если большое накопление инкрустаций вредно, то отложение тонкого слоя углекислого кальция на стенках труб очень полезно, ибо оно заменяет цементировку труб. Несколько лет назад у автора возникла мысль о применении этого процесса для покрытия внутренних стенок труб углекислым кальцием. Достаточно некоторое время смягчать воду известью и содой и не насыщать ее после смягчения углекислотой, чтобы на стенках трубной сети начал отлагаться углекислый кальций. Когда кристаллическая корка на стенках труб достигнет 0,5—1,0 мм, смягчение прекратить или продолжать обычным способом, т. е. с последующим насыщением углекислотой.

Автор обратился с запросом по этому поводу в «J. A. W. W. A.» и получил от Абея Вольмана любезный ответ с четырьмя брошюрами Бейлиса 1926—1928 гг., разрабатывающими этот вопрос.

Бейлис действительно рекомендует применение извести для образования на внутренней поверхности труб защитной углекальцевой корки. Процесс разъедания труб в последние годы хорошо изучен в Америке, а работы Бейлиса освещают химическую сторону процесса осаждения CaCO_3 на стенках труб. По данным Бейлиса, приблизительно, половина водопроводов Америки страдает от разъедания труб ржавчиной. Ежегодные убытки от ржавления труб он оценивает в 50—100 млн. долл. для Соединенных штатов.

До последнего времени борьбу с ржавлением труб вели только путем асфальтировки чугунных и стальных труб и оцинкования железных труб. В последнее время стали применять цементацию — покрытие внутренней поверхности труб слоем цемента в 1—3 мм. Цементация — наиболее надежный способ защиты труб, но многие воды разъедают и цемент.

Стоимость сети водопроводных труб во всем мире оценивается в 2 млрд. долл. Поддержание долговечности этого имущества представляет большой интерес.

Присутствие в воде растворенного кислорода и отрицательных ионов создает условия, наиболее благоприятные для разъедания железа, необходимо присутствие обоих факторов, а не одного. Отрицательные ионы дают нейтральные или почти нейтральные соли. Ржавление происходит одинаково при pH от 6 до 8 и даже 9. «Естест-

венная тенденция железа переходить в раствор настолько велика при обычных значениях pH наших естественных вод, что можно сказать, что жизнь железных труб зависит почти всецело от факторов, замедляющих ржавление. Самым важным из этих факторов является образование поверхностной пленки или корки¹. Пленка, образуемая самой ржавчиной, пориста и потому не защищает железо, как некоторые другие металлы, от дальнейшего разъедания. Пленка же из углекислого кальция совершенно плотная и потому хорошо защищает железо от разъедания.

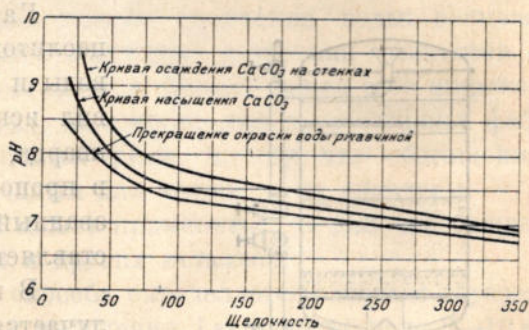
Двууглекислые соли кальция имеются почти во всякой естественной воде, прибавление к такой воде извести вызывает осаждение CaCO_3 на стенках труб.

На черт. 144 изображена кривая (средняя) насыщения CaCO_3 , т. е. кривая, указывающая, при каких условиях вода ни растворяет, ни осаждает углекислый кальций. Эта кривая определяется двумя факторами — pH — ординаты и щелочностью — абсциссы. Верхняя кривая показывает условия, каким должна удовлетворять вода, чтобы на стенках труб стала образовываться корка из CaCO_3 .

Если извести прибавить столько, что pH поднимется значительно выше верхней кривой, выделение CaCO_3 будет происходить не только на стенках труб, но и в самой воде в виде мути. Если вода в естественном состоянии содержит много агрессивной углекислоты, она будет постепенно растворять образовавшуюся корку; чтобы сделать ее безвредной для углекальциевой корки, нужно продолжать прибавление извести до средней кривой или чуть выше.

Нижняя кривая показывает то состояние воды, при котором не появляется ржавая окраска. Кривые фиг. 144 составлены по опытам с дистиллированной водой, но они верны и для вод с малым соевым содержанием. Для более минерализованных вод они должны быть проверены.

§ 105. Смягчение воды цеолитом. Комбинированный способ. Давно было известно, что при фильтровании воды через почву можно достигнуть ее смягчения, но только в начале настоящего века точно установлено, что группа водных алюмосиликатов



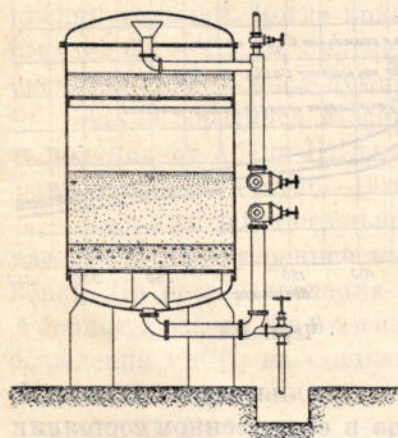
Черт. 144

¹ Prevention of corrosion. «J. A. W. W. A.» June 1926. Beylis, стр. 606.

$2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{NaO} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, цеолитов, обладает способностью обменивать свои щелочные металлы Na и K на щелочно-земельные основания Ca и Mg. Этой способностью обладают и другие минералы — глауковиты, бетониты и каолины. Бетонит состоит главным образом из леверрита.

Некоторые подземные воды обладают большой мягкостью. Такие случаи наблюдаются кое-где в Америке, Lance and fort Union. Formations in East Central Montana Water and Waterengineering, July 20, 1925.

При фильтровании воды через породы, содержащие леверрит, происходит обменное разложение между кальциевыми и магниевыми солями жесткой воды и натровой солью минерала. Кальций и магний заступают место натра, а натр переходит на их место в воду, образуя сернокислый и углекислый натр. Таково несомненно происхождение и необыкновенной мягкости ($1/2^\circ$ жесткости) артезианской воды г. Полтавы из-под меловых песков с глубины 277—340 м.



Черт. 145.

Ганс воспользовался свойством цеолитов для искусственного смягчения воды и после долгих опытов приготовил искусственный цеолит из сплава кварца, каолина и углекислого натра в пропорции 1:1:4. Этот продукт, названный Гансом пермутитом, представляет собой естественное стекло.

В настоящее время пермутит получается из сплава полевого шпата, каолина, глины, песка и соды. После выщелачивания растворимых силикатов и раздробления получается минерал в виде крупного песка. Для смягчения воды употребляются как искусственный, так и естественный цеолит.

Натровый пермутит после пропуска через него жесткой воды превращается в кальциево-магниевый пермутит. Для восстановления первоначального натрового пермутита необходима восстановительная реакция с поваренной солью. Натр поваренной соли заменяет в пермутите кальций и магний и восстанавливает смягчающие качества пермутита.

Аппарат для смягчения воды представляет собой обыкновенный закрытый или открытый скорый фильтр.¹ На черт. 145 изображен закрытый фильтр. Мелкими точками обозначен слой пермутита, а крупными — гравий. Зерна пермутита от 0,5 до 2 мм.

¹ Для городских установок применяются открытые железобетонные фильтры, той же конструкции как обыкновенные скорые фильтры. J. A. W. W. [A. 1920. Январь, стр. 68.

Жесткая вода поступает сверху через слой гравия, чем устраняется размывание песка в первые моменты действия фильтра. Скорость фильтрации зависит от толщины слоя пермутита или цеолита и жесткости воды и обыкновенно бывает 3—4 м/час. Реакция совершается в течение 1—15 минут, тем скорее, чем мягче обрабатываемая вода.

Для регенерации в фильтр вводят сильный раствор поваренной соли через нижнюю трубу *C*, выпустивши сначала из фильтра воду, и оставляют в фильтре 4—5 часов. После регенерации и выпуска соляного раствора фильтр хорошо промывается. На 100 кг соли расходуется 1,8—2,5 куб. м воды.

Смягчаемая вода должна быть совершенно свободна от мути и железа и не должна быть кислой. Большое содержание хлористых солей вредно для смягчения пермутитом.

Достоинства пермутитового способа смягчения воды: возможность довести жесткость до нуля, отсутствие дозировки реактивов и быстрота. Благодаря этим качествам этот способ нашел себе широкое применение в отелях, прачечных, на текстильных и красильных фабриках. В котельных он применяется реже, потому что обогащение воды содой считается небезвредным для котлов и их арматуры.

Пермутит особого состава может применяться и для освобождения воды от железа, марганца и других металлов.

Стоимость пермутитового способа определяется главным образом расходом поваренной соли, для выделения 1 кг извести надо 8—10 кг соли. Понижение жесткости на 1° обходится 0,14 гфеннинга¹ на 1 куб. м при цене 100 кг соли 1,40 марки.

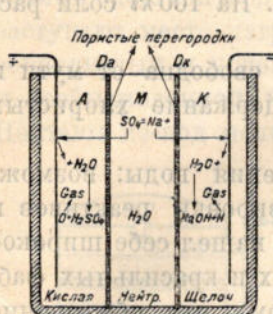
По американским данным смягчающая способность непористого цеолита в зернах величиной 0,5 мм — около 2500—3000 гран CaCO_3 на каждый кубический метр. Производительность пористых цеолитов доходит до 10 000.

В результате цеолитового процесса получается обогащение воды содой, разъедающей арматуру котла и вредной для самого котла. Сода получается от замещения Ca и Mg натром в углекислых солях. Углекислые соли легко осаждаются известью, поэтому если воду сначала обработать известью, а потом пропустить через цеолит, то мы получим мягкую воду, свободную от Na_2CO_3 .

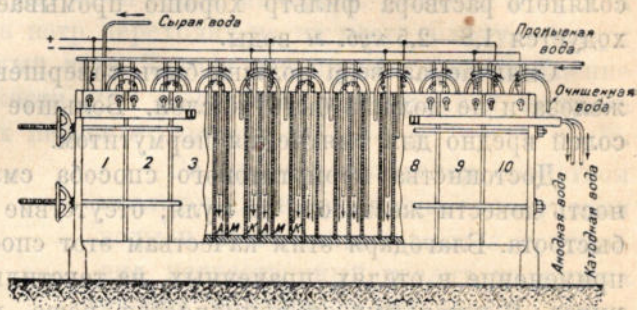
Этот комбинированный способ обработки может быть даже дешевле двух предыдущих способов, потому что тут расходуются наиболее дешевые материалы — соль и известь. Известкование обезжелезливает воду, если в ней есть железо.

¹ 1 марка = 100 пфеннингам.

§ 106. Электроосмотический способ смягчения воды. При пропускании постоянного тока через воду растворенные в ней соли разлагаются на основания и кислоты и распределяются по электродам. Для удаления из воды оснований и кислот электролитическая камера разделяется двумя пористыми осмотическими перегородками на три части. В двух крайних отделениях находятся электроды, в среднем — смягчаемая вода. Перегородки не пропускают воды, но пропускают основания и кислоты, стремящиеся к соответственным электродам: кислоты — к положительному, основания — к отрицательному. Прохо-

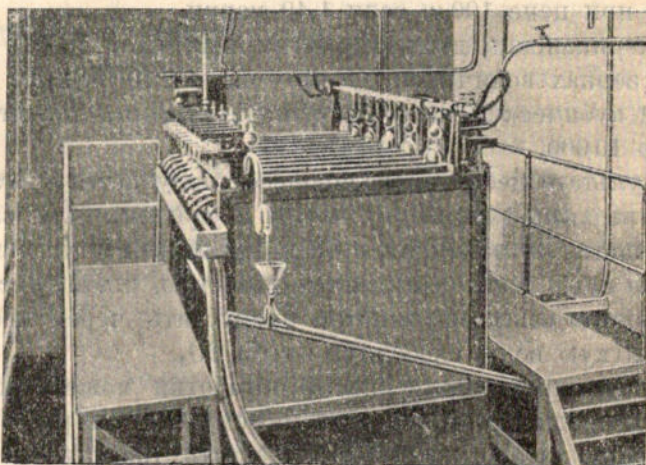


Черт. 146.



Черт. 147.

дящая через две крайние камеры вода уносит основания и кислоты, а находящаяся в средней камере постепенно теряет свой солевой состав, пока не станет почти совершенно лишенной солей, наподобие дистиллированной.



Черт. 148.

В зависимости от продолжительности действия тока можно добиться большей или меньшей степени смягчения воды.

Этот способ патентован Электроосмотическим акционерным обществом в Вене. Выпускаемые им аппараты состоят из нескольких последовательных электроосмотических камер.

Очищаемая вода проходит последовательно все камеры и выходит с требуемой мягкостью. Аппараты изготовляются небольших размеров — для больниц, отелей и т. п.

На черт. 147 изображен аппарат Siemens Elecsroosmos Gesellschaft. Весь аппарат состоит из десяти частей; отдельная часть изображена на черт. 146. *Da* и *Dk* — осмотические перегородки: анодная — кислотоупорная и катодная — щелочеупорная. Соль Na_2SO_4 , разлагаясь током, выделяет SO_4 на аноде и Na_2 на катоде. Из первого отделения очищаемая вода переходит во второе и следующие отделения через сифонные трубки. Регулируя скорость потока воды, можно достигнуть полного выделения солей. В боковых отделениях циркулирует вода, уносящая с собой кислоты и основания.

Количество этой вспомогательной воды может быть равно количеству очищаемой воды, а для очень жестких вод — даже больше.

Для электролиза применяется постоянный ток от 60 до 220 вольт. Магнезиальные соли выделяются скорее других. Расход электроэнергии очень велик. При содержании в воде 200 мг солей в литре требуется на 1 м³ воды 15—20 киловатт-часов, а при содержании солей до 350 мг расход повышается до 30 киловатт-часов. При стоимости киловатт-часа 5 коп. очистка воды электроосмотическим способом обошлась бы в 1 р. 50 к. за 1 м³. Благодаря такой дороговизне этот способ не найдет широкого применения.

На черт. 148 изображен общий вид очистной установки.

§ 107. Дистилляция воды. Путем испарения воды и превращения пара снова в воду можно освободить ее от всех примесей. Таким способом получается дистиллированная вода в лабораториях. Для нагревания одного килограмма воды от 0° до 100° и для превращения ее в пар при 100° и атмосферном давлении нужно затратить 639 калорий. Чтобы превратить килограмм пара снова в воду температуры 20°, необходимо отнять 619 калорий тепла. Теплота отнимается у пара охлаждающей водой. Пар из перегонного куба проходит через змеевик, погруженный в охлаждающую текучую воду. При простой перегонке вся теплота пара пропадает, уносится охлаждающей водой.

При массовой перегонке воды в заводских предприятиях используют теплоту пара для нагревания испаряемой воды и, таким образом, достигают большой экономии топлива. Сложные перегонные аппараты применяются для опреснения морской воды и вообще очень жестких вод для питания паровых котлов. В местностях, не имеющих пресной воды, опреснители употребляются и для водоснабжения.

Пробовали применять опреснители и на некоторых железных дорогах.

Опреснитель состоит обыкновенно из парового котла, производящего пар давлением атмосфер шесть и, следовательно, температуры 164°. Из котла пар идет в первый охлаждающий аппарат, конденсируется здесь и выходит из аппарата в виде дистиллята. Охлаждающая же вода сама нагревается отнятой от пара теплотой до такой степени, что дает пар температуры градусов на 8 меньшей, чем температура свежего пара. Благодаря движению воды и пара в противоположных направлениях, в одной части аппарата свежий пар конденсируется в воду, а в другой в это время охлаждающая вода превращается в пар значительного давления. Этот вторичный пар идет в следующий охлаждающий аппарат, сам конденсируется, а за счет его тепла охлаждающая вода производит новый пар градусов на 8 ниже предыдущего и так далее. Этот процесс повторяется до 10 раз. В последний аппарат впускается пар температуры 100° и, конденсируясь, присоединяется к конденсатам из всех предыдущих аппаратов.

Существует несколько конструкций опреснителей: Ягна, Коппеля, Круга, Чернова и др... Опреснители этих систем расходуют на 1 куб. м дистиллята 240—300 калорий. Стоимость 1 куб. м дистиллированной воды от 60 коп. до 1 р. 20 к. (ловое время). Помимо расхода на топливо, большую статью составляет чистка аппаратов от накипи. Жесткость Каспийской воды около 300°; при испарении такая вода дает массу накипи. Удаление накипи и составляет главную трудность в эксплуатации опреснителей.

Баку до постройки Шолларского водопровода опреснял морскую воду опреснителями Коппеля. Ежедневно подавалось свыше 1 000 куб. м опресненной воды. В Красноводеке в 1903 г. построен водопровод, питающийся опресненной водой Каспийского моря. Население города в то время было 7 000 чел. Средний суточный расход около 60 куб. м. Стоимость всего водопровода с опреснителями Ягна, водонапорным резервуаром, насосами и линией труб 65 мм диаметром и длиной два с лишним километра 40 000 руб. Продажная цена воды 1 р. 20 к. за 1 куб. м. (Данилов. Водопроводы русских городов. 1911—1913 гг.).

Дистилляция воды в последнее время получила широкое развитие при электроцентралях. Новейшие водотрубные котлы очень трудно чистить, поэтому котельные установки крупных электростанций перешли на питание котлов дистиллированной водой. Главная масса конденсата получается из конденсаторов паровых турбин, но, ввиду неизбежных потерь пара, необходима добавка свежей воды в количестве 5—10%. Эта добавочная вода и перегоняется на особых установках.

**ЗАКАЗЫ НАПРАВЛЯТЬ
В ТОРГОВЫЙ СЕКТОР ГИЗа**

Москва, Ильинка, Богоявлен-
ский пер., 4, Ленинград «Дом
книги» пр. 25 октября, 28 и
во все отделения и магазины
Госиздата РСФСР

**КАТАЛОГИ И ПРОСПЕКТЫ
ВЫСЫЛАЮТСЯ ПО ТРЕБОВАНИЮ
БЕСПЛАТНО.**
