

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРGETИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР  
ГЛАВНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

---

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ РАСЧЕТУ  
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ  
ОБЕССОЛИВАЮЩИХ УСТАНОВОК  
С БЛОЧНЫМ ВКЛЮЧЕНИЕМ ФИЛЬТРОВ  
(С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ)**

**МУ 34-70-032-83**



**СОЮЗТЕХЭНЕРГО  
Москва 1984**

**РАЗРАБОТАНО** Всесоюзным дважды ордена Трудового Красного  
Знамени теплотехническим научно-исследовательским институтом  
им.Ф.Э.Дзержинского

**ИСПОЛНИТЕЛИ** А.М.ПРОХОРОВА, Г.В.ЕЖИМОВ, Е.И.МУРАХОВСКАЯ

**СОГЛАСОВАНО** с Главным управлением по проектированию и  
научно-исследовательским работам

Главный инженер В.К.ГУСЕВ

**УТВЕРЖДЕНО** Главным техническим управлением по эксплуата-  
ции энергосистем

Начальник управления В.И.ГОРИН

Настоящие Методические указания предназначены для персо-  
нала проектных и наладочных организаций, а также эксплуатац-  
онного персонала электростанций.

По разработанному алгоритму составлена рабочая програм-  
ма, которая может быть заказана во ВТИ им.Ф.Э.Дзержинского.

## О Г Л А В Л Е Н И Е

1. Общие положения .....	3
2. Исходные данные для проектирования технологической части обессоливающих установок .....	4
3. Основные положения алгоритма .....	18
4. Алгоритм расчета вариантов .....	21
5. Исходная информация и информация, полученная в ре- зультате расчета по алгоритму .....	25
6. Пример расчета обессоливающей установки .....	27
С п и с о к и с п о л ь з о в а н н о й л и т е р а - т у р ы .....	44

Срок действия установлен  
с 01.10.82 г.  
до 01.10.87 г.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. В основу Методических указаний положены исходные данные по технологии обессоливания воды и алгоритм расчета установок с блочным включением фильтров. При их составлении использован опыт эксплуатации водоочисток ряда электростанций, научные разработки ВТИ [1,2] и методические рекомендации ТЭП, ХО ТЭП и ВНИПИэнергопрома.

Методика расчета рабочей схемы обессоливающей установки с учетом конкретного оборудования, арматуры и расценок на них разработана ХО ТЭП.

1.2. За критерий оптимальности рассчитываемого технологического варианта схемы обессоливающей установки приняты затраты на иониты и реагенты на  $1 \text{ м}^3$  очищенной воды с учетом нейтрализации сточных вод. Эти затраты, по данным ВТИ [2], составляют 40-50%.

Указанные технологические затраты являются определяющими по отношению к остальным составляющим приведенных затрат и поддаются оптимизации как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации обессоливающих установок.

1.3. Минимальная себестоимость обессоленной воды при прочих равных условиях достигается при работе:

- со скоростями, близкими к максимально допустимым (интенсификация работы оборудования);
- с минимально возможным количеством блоков фильтров для заданной производительности обессоливающей установки (сокращение капитальных затрат и затрат на обслуживание);

- с наименьшим перерасходом ионитов во второй ступени обессоливания, что достигается правильным выбором продолжительности работы блока фильтров до отключения на регенерацию - продолжительности ионирования (снижение затрат на иониты и реагенты);

- с оптимальными удельными расходами реагентов (снижение затрат на реагенты).

Все перечисленные факторы учитываются соответствующим построением алгоритма расчета.

1.4. Принимая во внимание специфику выбора оборудования и удобства компоновки для конкретной обессоливающей установки, алгоритм предлагает набор технологических решений, близких к оптимальным, с различным оборудованием (различным количеством блоков фильтров и их типоразмерами) и с различными технологическими параметрами работы (высотами загрузки фильтров фильтрующими материалами, скоростями фильтрования, удельными расходами реагентов) для окончательного выбора приемлемого решения.

## 2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ОБЕССОЛИВАЮЩИХ УСТАНОВОК

2.1. Обессоливающие установки с блочным включением фильтров рекомендуется проектировать как по основным принципиальным схемам водоподготовки, представленным на рис.1 и 2, так и по другим обособленным вариантам схем с учетом качества сырой исходной воды, требований к качеству обработанной воды, параметров пара и типов котлов. Для исходных вод поверхностных водоисточников следует предусматривать предварительную очистку воды в осветлителях.

2.2. Исходные данные, необходимые для выбора технологии  $H$ -катионирования и катионитов для ее осуществления, зависят от способа регулирования температуры перегретого пара.

При регулировании температуры перегретого пара котлов с применением впрыска питательной воды необходимо пользоваться следующим исходными данными:

2.2.1. При содержании катионов натрия в исходной воде (вода перед  $H$ -катионитными фильтрами) менее 0,5 мг-экв/л и суммарной концентрации анионов сильных кислот не более 2 мг-экв/л применяется ступенчато-противоточная технология катионирования с использованием в качестве катионита в обоих фильтрах (предвключенном и основном) сульфогеля (см.рис.1,б,е и рис.2,а,б).

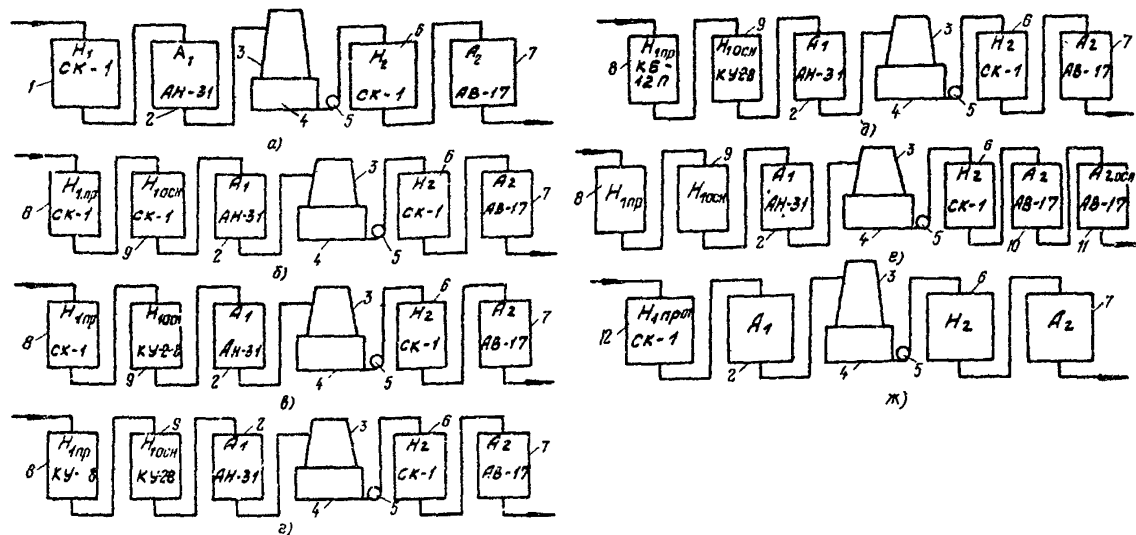


Рис.1. Основные принципиальные схемы обессоливающих установок с блочным включением фильтров:  
 а - схема установки с прямоточной технологией ионирования; б, в, г, д - схемы установок со ступенчато-противоточной технологией на первой ступени катионирования; е - схема установки со ступенчато-противоточной технологией на первой ступени катионирования и второй ступени анионирования; ж - схема установки с противоточной технологией на первой ступени  $H$ -катионирования;

1 -  $H$ -катионитный фильтр первой ступени  $H_1$ ; 2 - анионитный фильтр первой ступени  $A_1$ ; 3 - декарбонизатор; 4 - бак декарбонизованной воды; 5 - насос декарбонизованной, частично обессоленной воды; 6 -  $H$ -катионитный фильтр второй ступени  $H_2$ ; 7 - анионитный фильтр второй ступени  $A_2$ ; 8 - предвключенный  $H$ -катионитный фильтр первой ступени  $H_{1пр}$ ; 9 - основной  $H$ -катионитный фильтр первой ступени  $H_{1осн}$ ; 10 - предвключенный анионитный фильтр второй ступени  $A_{2пр}$ ; 11 - основной анионитный фильтр второй ступени  $A_{2осн}$ ; 12 - противоточный  $H$ -катионитный фильтр первой ступени  $H_{1прот}$

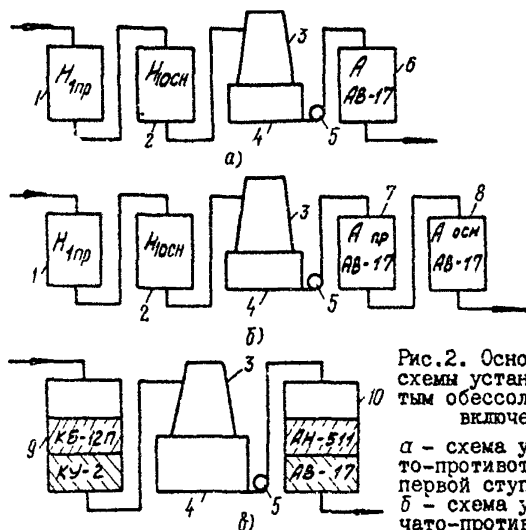


Рис.2. Основные принципиальные схемы установок с одноступенчатым обессоливанием с блочным включением фильтров:

а - схема установки со ступенчато-противоточной технологией на первой ступени катионирования; б - схема установки со ступенчато-противоточной технологией на первой ступени катионирования и анионирования; в - схема установки

с двухслойной технологией ионирования; 1 - предвключенный H-катионитный фильтр первой ступени; 2 - основной H-катионитный фильтр первой ступени; 3 - декарбонизатор; 4 - бак декарбонизованной воды; 5 - насос декарбонизованной, частично обессоленной воды; 6 - анионитный фильтр второй ступени; 7 - предвключенный анионитный фильтр второй ступени; 8 - основной анионитный фильтр второй ступени; 9 - двухслойный H-катионитный фильтр; 10 - двухслойный анионитный фильтр

2.2.2. При содержании катионов натрия в исходной воде 0,5-1 мг-экв/л и суммарной концентрации анионов сильных кислот 2-5 мг-экв/л применяется ступенчато-противоточная технология катионирования с использованием в первом на ходу фильтре сульфогля, а во втором фильтре - катионита КУ-2-8 (см.рис.1, в, е и рис.2, а, б).

2.2.3. При содержании катионов натрия в исходной воде более 1 мг-экв/л и суммарной концентрации анионов сильных кислот 2-5 мг-экв/л применяется ступенчато-противоточная технология катионирования, но с использованием в обоих фильтрах катионита КУ-2-8 (см.рис.1, г, е).

2.2.4. В случае предварительного коагулирования исходной воды с содержанием натрия до 1,5 мг-экв/л и суммарной концентрации анионов сильных кислот не более 3 мг-экв/л и при соотношении  $\frac{HCO_3}{\Sigma A^*} = 0,4+0,8$  применяется ступенчато-противоточная технология катионирования (в двух фильтрах - предвключенном и основном) с использованием карбоксильного и сильнокислотного катионитов, а также противоточная двухслойная технология ионирования (см. рис. 1, в и рис. 2, б).

2.3. При регулировании температуры перегретого пара котлов с применением впрыска конденсата насыщенного пара следует пользоваться следующими исходными данными:

2.3.1. При содержании в исходной воде катиона натрия менее 0,5 мг-экв/л и суммарной концентрации анионов сильных кислот не более 1 мг-экв/л  $H$ -катионирование таких вод осуществляется либо в одну ступень по прямоточной (обычной) технологии, либо по ступенчато-противоточной технологии. В качестве катионита в обоих случаях во всех фильтрах используется сульфуголь (см. рис. 1, а, б и рис. 2, а, б).

2.3.2. При содержании в исходной воде катионов натрия 0,5-1 мг-экв/л и суммарной концентрации анионов сильных кислот до 3 мг-экв/л применяется противоточное или ступенчато-противоточное  $H$ -катионирование (см. рис. 1, ж, и рис. 2, а, б). В качестве катионита во всех фильтрах используется сульфуголь.

2.3.3. При содержании в исходной воде катионов натрия более 1 мг-экв/л и суммарном содержании анионов сильных кислот 2-5 мг-экв/л применяется также ступенчато-противоточная технология  $H$ -катионирования с использованием в предвключенных фильтрах сульфугля, а в основных - катионита КУ-2-В (см. рис. 1, в, рис. 2, а, б). Для исходных вод с соотношением  $\frac{HCO_3}{\Sigma A} = 0,4+0,8$  применяется ступенчато-противоточное катионирование с использованием карбоксильного катионита и катионита КУ-2-В, а также технология противоточного двухслойного катионирования (см. рис. 1, в и рис. 2, б).

2.3.4. При суммарном содержании в исходной воде анионов сильных кислот более 5,0 мг-экв/л и независимо от концентрации катио-

---

\*Все обозначения см. табл. I.

нов натрия следует применять ступенчато-противоточное катионирование с использованием в обоих фильтрах катионита КУ-2-8.

2.4. В состав блока фильтров входят все ионитные фильтры и декарбонизатор, за исключением фильтров смешанного действия (ФСД), поскольку эти фильтры регенерируются значительно реже.

2.5. В целях сокращения удельных расходов серной кислоты при обессоливании воды для первой ступени  $H$ -катионирования применяется ступенчато-противоточная технология [ в двух последовательно соединенных фильтрах ( $H_{1,пр} - H_{1,осн}$ ) ] или противоточное двухслойное катионирование.

2.6. При использовании в  $H$ -катионитных фильтрах первой ступени пары катионитов-сульфоуголь и КУ-2-8 - высоту слоя КУ-2-8 в основном фильтре следует принимать не ниже 1 м и не выше 1,9 м.

2.7. Высоту слоя сульфоугля в предвключенном  $H$ -катионитном фильтре первой ступени и его диаметр следует выбирать с учетом обеспечения возможно меньшего удельного расхода серной кислоты на регенерацию  $H$ -катионитных фильтров при обессоливании воды.

2.8. При загрузке в  $H$ -катионитные фильтры первой ступени катионита КУ-2-8 высота его слоя в предвключенном и основном фильтрах должна быть одинаковой и не менее 1 м и не более 1,9 м.

2.9. В анионитных фильтрах первой ступени следует применять слабоосновный анионит АН-31. При этом высота слоя анионита в фильтре должна быть не менее 0,8-1 м и не более 1,8 м.

2.10. В  $H$ -катионитных фильтрах второй ступени преимущественно следует применять сульфоуголь при высоте слоя 1-1,5 м.

2.11. В анионитных фильтрах второй ступени при прямоточной (обычной) технологии анионирования (в развернутых схемах) используется сильноосновный анионит АВ-17-8 (или его аналоги АВ-17Д и АВ-17И). При ступенчато-противоточном анионировании в предвключенном и основном фильтрах применяется анионит АВ-17-8. Высота слоя при этом в обоих аппаратах должна быть не менее 0,8-1 м и не более 1,5 м.

2.12. В анионитных фильтрах одноступенчатых схем обессоливания (см. рис. 2, а, б) при обычной технологии анионирования следует использовать анионит АВ-17-8. При ступенчато-противоточной технологии в первом по ходу воды фильтре возможно применение сильноосновного анионита АВ-29 или АВ-29П (П тип) или слабоосновного анионита АН-511, АН-31Г. Высота слоя анионитов в анионитных фильтрах второй ступени должна быть не менее 0,8-1 м и не более 1,5 м.



2.13. В схемах с двухслойным (противоточным) ионированием (см.рис.2,б) в  $H$ -катионитном фильтре следует использовать макропористый слабокислотный катионит КВ-12П и сильнокислотный катионит КУ-2-8, в анионитном фильтре - макропористый слабоосновный анионит АН-5II и сильноосновный анионит АВ-17-8. Катиониты и аниониты разных типов загружаются в соответствующие фильтры в равных объемах (1:1). Общую высоту загрузки катионитов, как и общую высоту загрузки анионитов в соответствующих фильтрах, следует принимать не менее 2 м.

2.14. В целях сокращения избыточного расхода ионов на загрузку фильтров и приближения к одинаковой расчетной длительности цикла ионирования по катионитным и анионитным фильтрам в цепи обессоливания рекомендуется установка ионитных фильтров разного диаметра. В этом случае скорость пропуска регенерирующих веществ и скорость воды при отмывке фильтров с соблюдением максимально допустимых скоростей фильтрования обрабатываемой воды не должны отличаться от оптимальных более чем на 35%.

2.15. При выборе количества фильтров и их диаметров, кроме требований п.2.14, следует учитывать скорости фильтрования воды в соответствии с нормами технологического проектирования:

- для  $H$ -катионитных фильтров первой ступени с катионитом КУ-2-8 и сульфоглем - до 30 м/ч;
- для анионитных фильтров первой ступени с анионитом АН-3I - до 20 м/ч, с анионитами АН-3II, АН-5II, АНВ и другими гранулированными материалами - до 30 м/ч;
- для анионитных фильтров второй ступени с анионитами АВ-17-8, АВ-17И или АВ-17Д, включая и анионитный фильтр второй ступени в одноступенчатых схемах - до 30 м/ч;
- для катионитных фильтров второй ступени с сульфоглем или катионитом КУ-2-8 - до 50 м/ч.

2.16. Расчетные значения обменной емкости ионов следует принимать:

2.16.1. Для сульфогля в предвключенных  $H$ -катионитных фильтрах первой ступени - 200 г-экв/м<sup>3</sup> независимо от соотношений эквивалентов  $\frac{HCO_3}{Ca}$  в поступающей воде;

2.16.2. Для сульфогля в  $H$ -катионитных фильтрах второй ступени - 200 г-экв/м<sup>3</sup> при расходе 100%-ной серной кислоты на регенерацию - не менее 20 кг на 1 м<sup>3</sup> катионита.

2.16.3. Для катионита КУ-2-8 в основных *H*-катионитных фильтрах первой ступени для пары катионитов-сульфоуголь и КУ-2-8 - по данным рис.3 при расходе 100%-ной серной кислоты (нарастающей концентрации 70 кг на 1 м<sup>3</sup> катионита.

2.16.4. Для пары катионитов КУ-2-8 и КУ-2-8 в *H*-катионитных фильтрах первой ступени (ступенчато-противоточная технология) при равных объемах загруженного катионита в обоих фильтрах - по данным рис.4 при расходе 100%-ной серной кислоты (нарастающей концентрации) 70 кг на 1 м<sup>3</sup> катионита КУ-2-8 в основном фильтре первой ступени.

2.16.5. Для пары катионитов КБ-12П и КУ-2-8 в *H*-катионитных фильтрах первой ступени (ступенчато-противоточная технология) при равных объемах загруженных катионитов в фильтрах - по данным рис.5 при расходе 100%-ной серной кислоты 70 кг на 1 м<sup>3</sup> катионита КУ-2-8 и концентрации кислоты 1,5 и 3%.

2.16.6. Для пары катионитов КБ-12П и КУ-2-8 в двухслойном ступенчатом *H*-катионитном фильтре - по данным рис.6 и 7 при расходе 100%-ной серной кислоты 100 кг на 1 м<sup>3</sup> катионита КУ-2-8 и концентрации кислоты 1,5%.

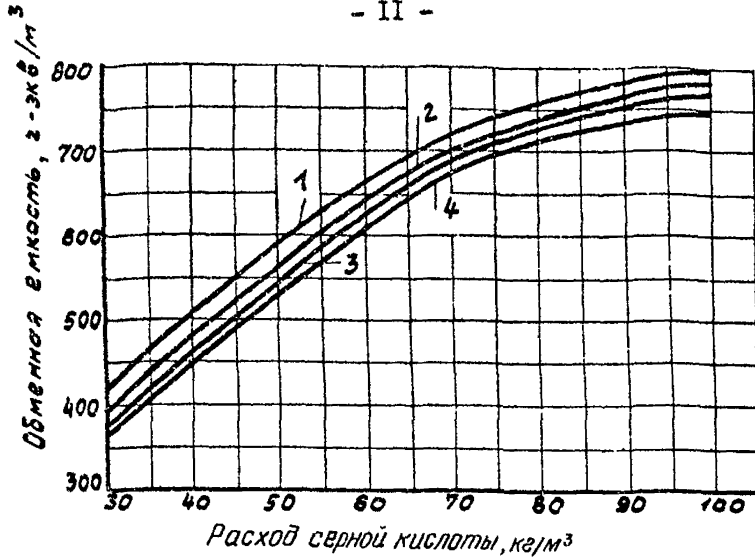
2.16.7. Для катионита КУ-2-8 в случае его применения в *H*-катионитных фильтрах второй ступени - 400 г-экв/м<sup>3</sup> при расходе 100%-ной серной кислоты 50 кг на 1 м<sup>3</sup> катионита.

2.16.8. Для анионита АН-31 в фильтрах первой ступени - по данным рис.8 при расходе 100%-ного едкого натра 50 кг на 1 м<sup>3</sup> анионита.

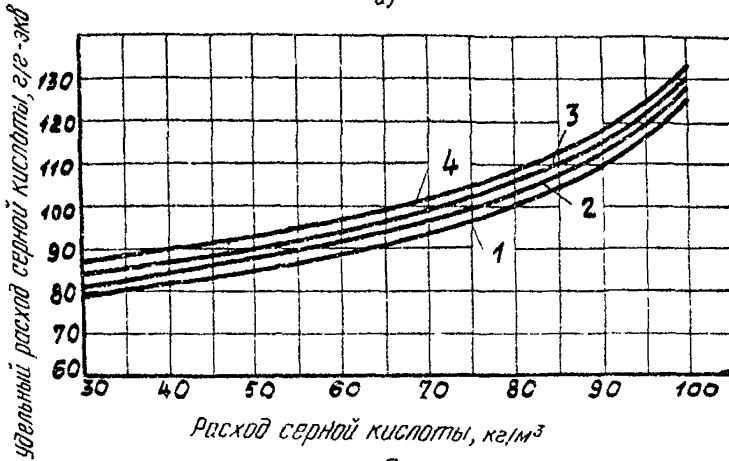
2.16.9. Для анионита АВ-17-8 в фильтрах второй ступени при обычной технологии - по графику рис.9 при расходе 100%-ного едкого натра 100 кг на 1 м<sup>3</sup> анионита с поправкой на скорость фильтрования по графику рис.10.

2.16.10. Для анионита АВ-17-8 в фильтрах второй ступени (ступенчато-противоточная технология) - по данным рис.11 с поправкой на скорость фильтрования по графику рис.10.

2.17. Продолжительность регенерации и отмывки блока фильтров следует рассчитывать с учетом времени, необходимого для проведения всех операций восстановления (взрыхление фильтрующего материала фильтров, регенерация его кислотой и щелочью, отмывка и домырка фильтров), а также времени на переключение запорной арматуры. В том случае, когда регенерация кислотой и щелочью проводится параллельно, в расчете принимается большее значение продолжительности операции.



а)



б)

Рис.3. Обменная емкость катионита и удельный расход серной кислоты на регенерацию катионита КУ-2-В для Н-катионитного фильтра первой ступени при регенерации раствором серной кислоты нарастающей концентрации: 1,5 - 2; 3 - 4 и 6-7%-ной:

а - зависимость обменной емкости от абсолютного расхода серной кислоты; б - зависимость удельного расхода серной кислоты от абсолютного ее расхода;

1,2,3,4 - значения  $\Sigma K$  соответственно 1;5;10 и 15, мг-экв/л

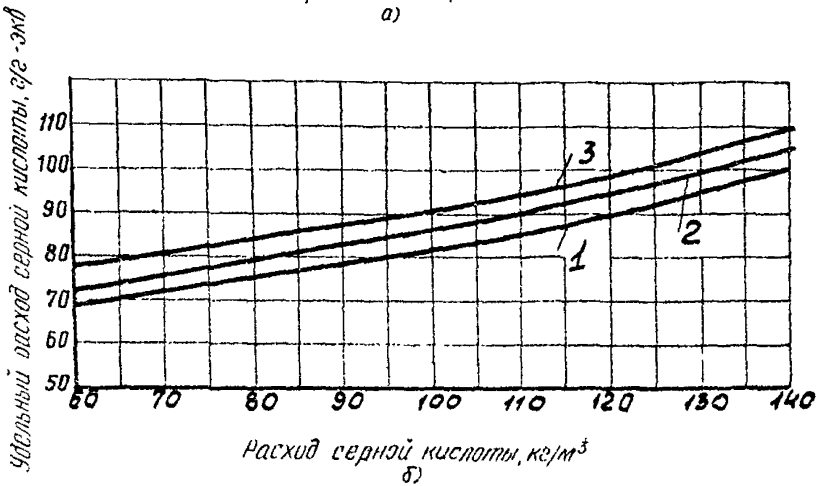
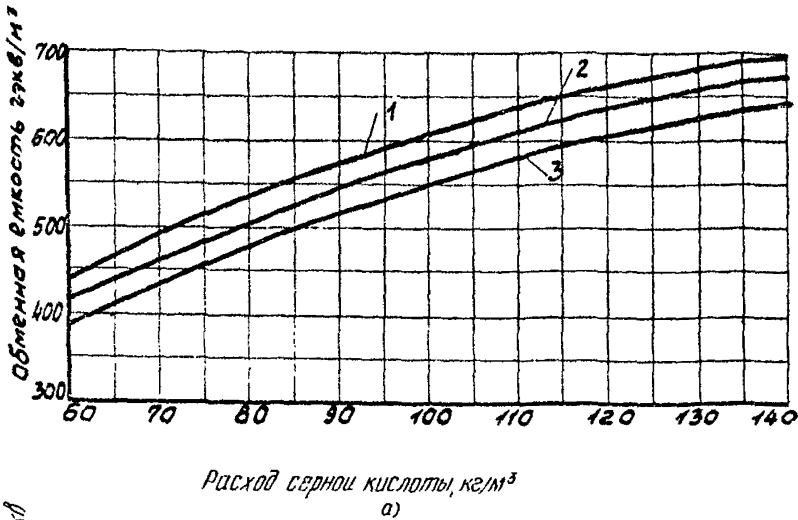


Рис.4. Обменная емкость катионитов и удельный расход серной кислоты на регенерацию пары катионитов КУ-2-8 и КУ-2-8 при соотношении загруженного объема катионитов в фильтрах 1:1 и растворе серной кислоты нарастающей концентрации: 1,5-2; 3-4 и 6-7%-ной:

а - зависимость обменной емкости катионита от абсолютного расхода серной кислоты; б - зависимость удельного расхода серной кислоты от абсолютного ее расхода;

1,2,3 - значения  $\Sigma К$ , соответственно 4,8,12 мг-экв/л

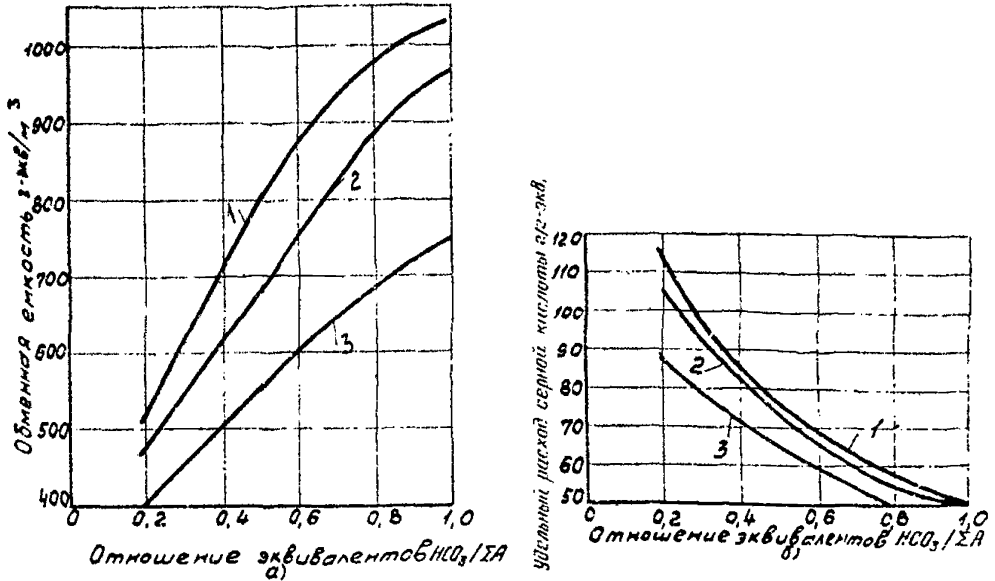


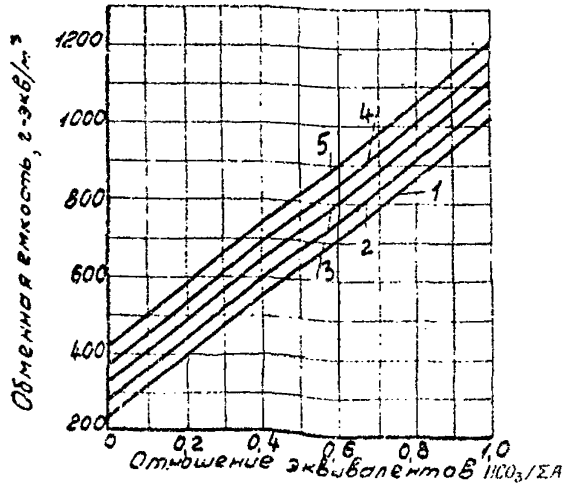
Рис.5. Обменная емкость катионитов и удельный расход серной кислоты на регенерацию пары катионитов КВ-12П и КУ-2-8 при ступенчато-противоточной технологии катионирования (соотношение загруженных объемов катионитов 1:1):

а - зависимость обменной емкости катионитов от отношения эквивалентов  $\text{HCO}_3/\Sigma\text{A}$ ; б - зависимость удельного расхода серной кислоты от отношения эквивалентов  $\text{HCO}_3/\Sigma\text{A}$ ;

1, 2, 3 - расход серной кислоты соответственно 120, 100, 70 кг на  $1 \text{ м}^3$  катионита КУ-2-8

Рис.6. Обменная емкость пары карбоксильного и сильно-кислотного катионитов двухслойного фильтра при соотношении загруженных объемов катионитов 1:1:

1, 2, 4 и 5 - расход серной кислоты соответственно 100, 120, 140, 160 и 180 кг на  $1 \text{ м}^3$  катионита КУ-2-В



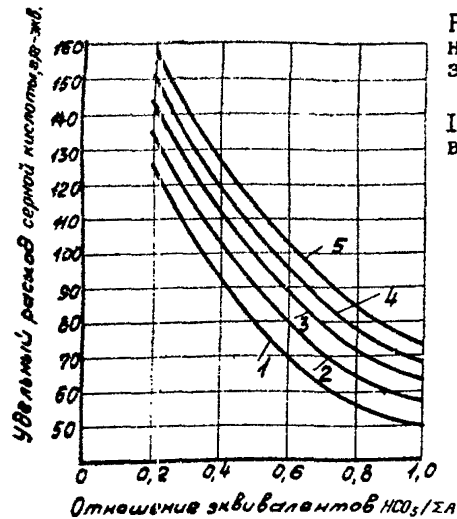


Рис.7. Удельный расход серной кислоты на регенерацию двухслойного фильтра при соотношении загруженных объемов карбоксильного и сильно-кислотного катионитов 1:1.

1, 2, 3, 4 и 5 - расход серной кислоты соответственно 100, 120, 140, 160 и 180 кг на  $1 \text{ м}^3$  катионита КУ-2-8

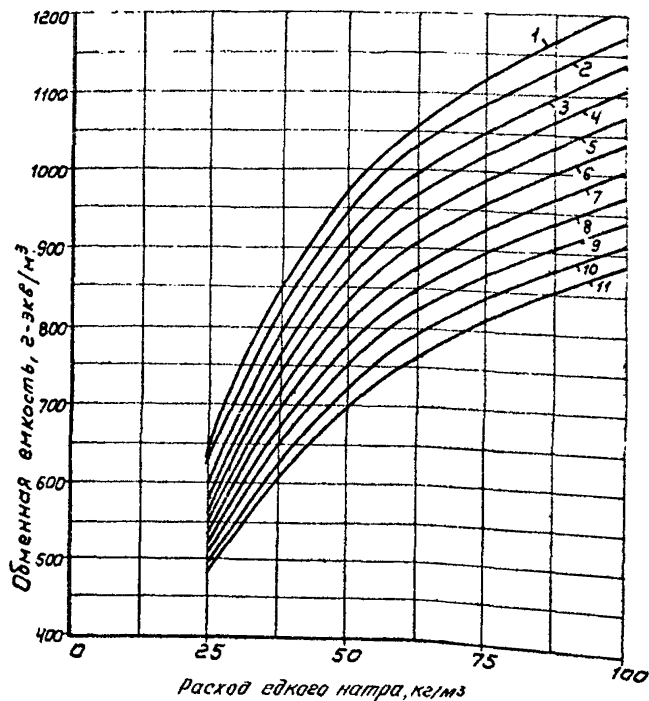


Рис.8. Обменная емкость анионита АН-3I по серной и соляной кислотам при общей концентрации их 0,5-10 мг-экв/л и различных соотношениях кислот (значения для расчета берутся при расходе едкого натра 50 кг на  $1 \text{ м}^3$  анионита):

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 и 11 - соотношение серной и соляной кислот соответственно: 100 и 0; 90 и 10; 80 и 20; 70 и 30; 60 и 40; 50 и 50; 40 и 60; 30 и 70; 20 и 80; 10 и 90; 0 и 100%

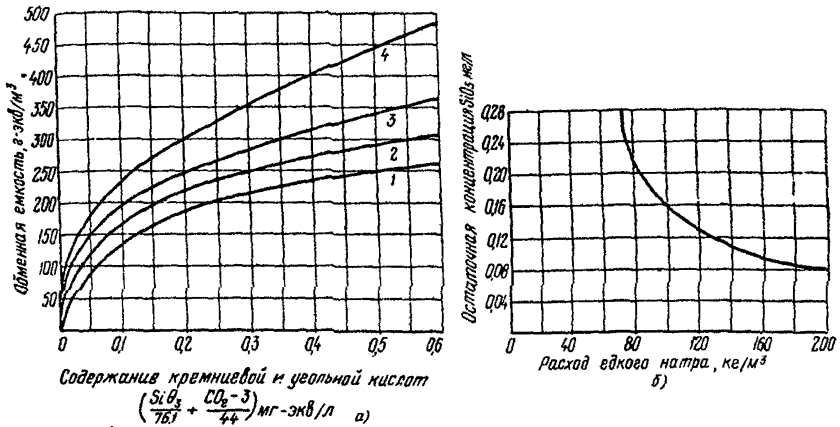


Рис.9. Обменная емкость анионита АВ-17-8 по иону  $HSiO_3^-$  для анионитного фильтра второй ступени при обескремнивании воды (при остаточной концентрации  $SiO_3$  в обессоленной воде не более 0,15 мг/л) и остаточная концентрация  $SiO_3^-$  в фильтрате (значения емкости по иону  $HSiO_3^-$  даны с учетом концентрации свободной углекислоты в поступающей на фильтр воде 3 мг/л):

а - зависимость обменной емкости анионита АВ-17-8 по иону  $HSiO_3^-$  от содержаний кремниевой и угольной кислот;

1, 2, 3, 4 - расход едкого натра соответственно 100, 150, 200 и 300 кг на 1 м³ анионита; 76,1 и 44,0 - эквивалентная масса одновалентных кремниевой и угольной кислот;

б - зависимость остаточной концентрации  $SiO_3^-$  в фильтрате от расхода едкого натра

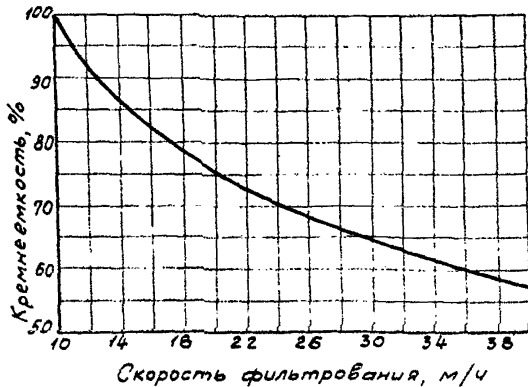


Рис.10. Зависимость кремнеемкости анионита АВ-17-8 от скорости фильтрования

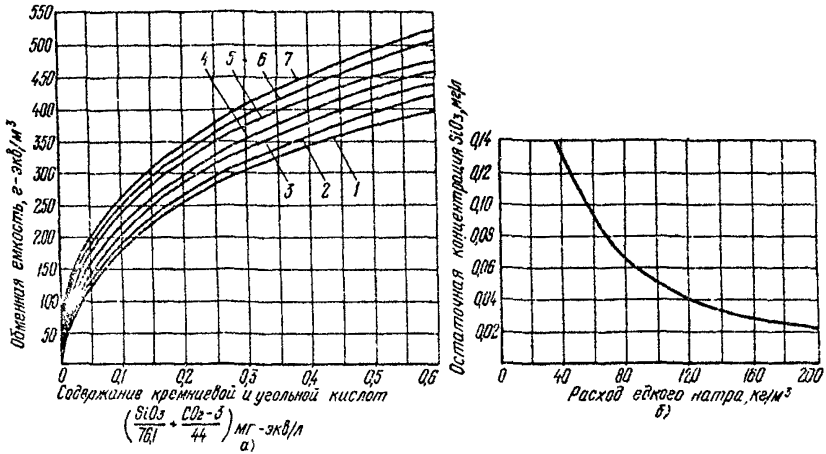


Рис.11. Обменная емкость анионита АВ-17-8 по иону  $\text{HSiO}_3^-$  для ступенчатс-противоточной технологии обескремнивания воды и остаточная концентрация  $\text{SiO}_3$  в фильтрате:

- а - зависимость обменной емкости анионита от содержания кремниевой и угольной кислот;
- 1,2,3,4,5,6,7 - расход едкого натра соответственно 50,75,100,150, 200,250 и 300 кг на  $\text{м}^3$  анионита;
- б - зависимость остаточной концентрации  $\text{SiO}_3$  в фильтрате от расхода едкого натра

2.18. При проектировании обессоливающих установок с блочным включением фильтров количество последних, как правило, должно быть не менее трех, включая и резервный блок фильтров на случай ремонта. Для каждой установки предусматривается два фильтра для гидрорегузки фильтрующего материала.

2.19. Для отмывки ионитных фильтров при последовательной регенерации  $\text{A}_2\text{-A}_1$  и  $\text{H}_2\text{-H}_1$  используется обессоленная вода. Удельный расход обессоленной воды (для развернутых схем) на отмывку сильноосновного анионита (до щелочности 0,8-1  $\text{мг-экв/л}$ ) и катионита (до кислотности 0,8-1  $\text{мг-экв/л}$ ) следует принимать по  $10 \text{ м}^3$  на  $1 \text{ м}^3$  ионита ( $10 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ), загруженного в  $\text{A}_2$  и  $\text{H}_2$  - фильтры. Далее ионитные фильтры второй ступени домываются частично обессоленной водой по замкнутому контуру  $\text{H}_2\text{-A}_2\text{-B}_{4.0}\text{-H}_{4.0}\text{-H}_2$  ( $\text{B}_{4.0}$  и  $\text{H}_{4.0}$  - соответственно бак и насос частично обессоленной воды).



На домывку анионитного фильтра первой ступени используется  $H$ -катионированная вода из расчета  $12 \text{ м}^3/\text{м}^3$ . При последовательной отмывке  $H_2$  и  $H_1$  фильтров с расходом воды  $10 \text{ м}^3/\text{м}^3$  (считая на катионит  $H$ -катионитных фильтров второй ступени) происходит отмывка катионита в основном  $H$ -катионитном фильтре первой ступени до требуемой степени. На домывку предвключенных  $H$ -катионитных фильтров первой ступени следует принимать расход осветленной воды  $1 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

2.20. Для отмывки основных  $H$ -катионитных фильтров в одноступенчатых (упрощенных) схемах обессоливания следует использовать обессоленную воду из расчета: для катионита КУ-2-8 -  $6,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ , для сульфогля -  $4,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

Для доотмывки предвключенных  $H$ -катионитных фильтров необходимо применять осветленную воду в количестве  $2,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

2.21. Для отмывки анионитных фильтров второй ступени с одним анионитом АВ-17-8 следует использовать обессоленную воду в количестве  $15 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

При ступенчато-противоточной технологии на отмывку основных анионитных фильтров следует применять обессоленную воду в количестве  $8 \text{ м}^3/\text{м}^3$ , а на домывку предвключенных фильтров -  $H$ -катионированную воду в количестве  $10 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

2.22. Для отмывки катионитов в двухслойном фильтре следует использовать обессоленную воду в количестве  $8 \text{ м}^3/\text{м}^3$ , для отмывки анионитов предусматривать расход воды  $12 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

2.23. При выполнении предварительного технологического расчета обессоливающей установки с блочным включением фильтров полная производительность по обессоленной воде  $Q_{бр}$  подсчитывается с учетом расхода воды на собственные нужды, определяемого по графику рис.12 в зависимости от качества обрабатываемой воды.

Технологический расчет считается законченным, если разница между значениями расходов на собственные нужды по обессоленной воде, полученными в предварительном и окончательном расчетах, не превышает 5%.

2.24. С целью экономии расхода воды на собственные нужды обессоливающей установки целесообразно после взрыхления фильтруемых материалов направлять ее в бак осветленной воды.

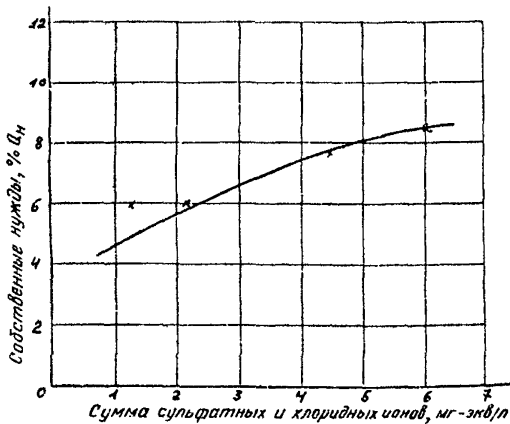


Рис.12. Зависимость расхода обессоленной воды на собственные нужды установки от суммарного содержания в исходной воде сульфатных и хлоридных ионов

### 3. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ АЛГОРИТМА

3.1. Для технологического расчета обессоливающих установок с блочным включением фильтров с использованием ЭВМ разработан алгоритм. Условные обозначения, применяемые в алгоритме, приведены в табл.1.

Т а б л и ц а 1

Величина	Условное обозначение	Единица измерения
Производительность обессоливающей установки без учета собственных нужд	$Q_n$	$\text{м}^3/\text{ч}$
Производительность обессоливающей установки с учетом собственных нужд	$Q_{бр}$	$\text{м}^3/\text{ч}$
Площадь сечения фильтра	$F$	$\text{м}^2$
Объем загруженного ионита в фильтре	$V$	$\text{м}^3$
Высота загрузки ионита в фильтре	$H$	$\text{м}$
Расчетная скорость фильтрования	$U$	$\text{м}/\text{ч}$
Обменная емкость ионита	$E$	$\text{г-экв}/\text{м}^3$
Продолжительность ионирования блока фильтров (продолжительность рабочего фильтра)	$T$	$\text{ч}$

Продолжение таблицы I

Величина	Условное обозначение	Единица измерения
Продолжительность регенерации блока фильтров	$t_{рег}$	ч
Скорость пропуска раствора кислоты при регенерации Н-катионитных фильтров	$У_k$	м/ч
Скорость пропуска раствора щелочи при регенерации анионитных фильтров	$У_{щ}$	м/ч
Абсолютный расход 100%-ной кислоты для регенерации Н-катионитных фильтров	$Ф_k$	кг/м <sup>3</sup>
Абсолютный расход 100%-ного едкого натра для регенерации анионитных фильтров	$Ф_{щ}$	кг/м <sup>3</sup>
Удельный расход 100%-ной кислоты для регенерации Н-катионитных фильтров	$P_k$	г/г-экв
Удельный расход 100%-ного едкого натра для регенерации анионитных фильтров	$P_{щ}$	г/г-экв
Удельный расход воды на отмывку и до-мывку фильтра	$d$	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>
Суммарная концентрация катионов в осветленной воде	$\Sigma K$	мг-экв/л
Суммарная концентрация анионов в анионируемой воде	$\Sigma A$	мг-экв/л
Остаточное содержание 100%-ной кислоты в регенерационных водах после Н-катионитных фильтров за одну регенерацию	$\Delta P_k$	кг
Остаточное содержание 100%-ного едкого натра в регенерационных водах после анионитных фильтров за одну регенерацию	$\Delta P_{щ}$	кг
Расход кислоты на одну регенерацию Н-катионитных фильтров	$X_k$	кг
Расход едкого натра на одну регенерацию анионитных фильтров	$X_{щ}$	кг
Продолжительность отмывки фильтра	$t_{отм}$	ч
Расход обессоленной воды на приготовление раствора кислоты трех концентраций на регенерацию Н-катионитных фильтров	$B_{K_1}; B_{K_2}; B_{K_3}$	м <sup>3</sup>
Расход обессоленной воды на приготовление 4%-ного раствора едкого натра на одну регенерацию анионитных фильтров	$B_{щ}$	м <sup>3</sup>
Расход обессоленной воды на отмывку и домытку ионитных фильтров блока на одну регенерацию	$B; B_D$	м <sup>3</sup>

О к о н ч а н и е т а б л и ц ы I

Величина	Условное обозначение	Единица измерения
Расход воды на врыхление фильтрующего материала фильтров на одну регенерацию	$V_{вз}$	$\text{м}^3$
Расход обессоленной воды на собственные нужды блока фильтров на одну регенерацию	$V_{о.в}$	$\text{м}^3$
Расход $H$ -катионированной воды на собственные нужды блока фильтров на одну регенерацию	$V_{кат}$	$\text{м}^3$
Расход осветленной воды на собственные нужды блока фильтров на одну регенерацию	$V_{осв.в}$	$\text{м}^3$
Количество сточных вод блока фильтров, подлежащих нейтрализации за одну регенерацию	$C$	$\text{м}^3$
Номер рассматриваемого фильтра блока фильтров	$i$	-
Принятый номер фильтра по убыванию радиусов из числа серийно выпускаемых	$j$	-
$R$ -радиус фильтра	$R$	$\text{м}$
Количество блоков фильтров в обессоливающей установке	$N_{бл}$	шт.
Количество фильтров в блоке фильтров	$N_{\psi}$	шт.
Необходимое количество извести для нейтрализации сточных вод	$X_{CaO}$	кг
Стоимость извести для нейтрализации сточных вод	$K_{CaO}$	руб/кг
Количество регенерационных узлов на обессоливающую установку	$N_{уз}$	шт.
Себестоимость $1 \text{ м}^3$ обессоленной воды	$S$	руб/ $\text{м}^3$

3.2. Число рассчитываемых алгоритмом вариантов построения обессоливающей установки определяется направленным варьированием следующих ее параметров:

3.2.1. Продолжительность ионирования блока фильтров от  $T_{\text{макс}}$  до  $T_{\text{мин}}$ .

3.2.2. Количество блоков фильтров для каждой фиксированной по п.3.2.1 продолжительности в пределах от  $N_{\text{бл. макс}}$  до  $N_{\text{бл. мин}}$ .

3.2.3. Диаметров отдельных фильтров блока для каждого фиксированного по п.3.2.2 количества блоков фильтров в диапазоне выпускаемых типоразмеров или принимаемых к рассмотрению от  $R_{\text{макс}}$  до  $R_{\text{мин}}$ .

Смысл и методика определения  $T_{\max}$  и  $T_{\min}$ ,  $N_{\text{бл. макс}}$  и  $N_{\text{бл. мин}}$  приведены соответственно в пп.4.1, 4.2 и 4.3.

Таким образом, общее количество (набор) вариантов построения обессоливающей установки для заданной производительности составит:

$$n_{\text{общ}} = nT \cdot nN \cdot nR,$$

где  $nT$ ,  $nN$ ,  $nR$  - число вариантов, определяемое соответственно пп.3.2.1, 3.2.2 и 3.2.3.

3.3. В связи с особенностью работы спаренных фильтров  $H_{1\text{пр}} - H_{1\text{осн}}$  (единый пропуск, а следовательно, и продолжительность ионирования) в первой части алгоритма оба эти фильтра принимаются за один условный  $H_1$ , загруженный катионитом КУ-2-8. При этом необходимая высота загрузки условного  $H_1$ -катионитного фильтра первой ступени (в том числе максимальная и минимальная высота) определяется как

$$h_1 = h_{1\text{пр}} \frac{E_{1\text{пр}}}{E_{1\text{осн}}} + h_{1\text{осн}} = h_{\text{су}} \frac{E_{\text{су}}}{E_{\text{КУ-2-8}}} + h_{\text{КУ-2-8}}.$$

Обратная формула пересчета на  $h_{1\text{осн}}$ :  $h_{1\text{осн}} = h_{1\text{усл}} - h_{1\text{пр}} \frac{E_{1\text{пр}}}{E_{1\text{осн}}}$ .

При этом высоту загрузки предвключенного фильтра  $H_{i\text{пр}}$  рекомендуется принимать максимально возможной (п.6.4.7).

3.4. Производительность обессоливающей установки с учетом расхода воды на собственные нужды определяется по формуле

$$Q_{\text{бр}} = Q_n \left( 1 + \frac{K_{\text{сн}}}{100} \right),$$

где  $K_{\text{сн}}$  - коэффициент расхода обессоленной воды на собственные нужды обессоливающей установки, определяется по рис.12.

#### 4. АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ВАРИАНТОВ

В соответствии с положениями, приведенными в пп.3.2-3.4, алгоритм расчета вариантов построения обессоливающей установки с блочным включением фильтров предусматривает следующий порядок действий:

4.1. Определение границ варьирования продолжительности ионирования блока фильтров  $T_{\max}$  и  $T_{\min}$ .

4.1.1. Для каждого  $i$ -го фильтра, входящего в состав блока фильтров, рассчитывается минимально возможная продолжительность ионирования:

$$T_{\text{мин.}i} = \frac{h_{\text{мин.}i} E_i}{U_i U_{\text{макс.}i}},$$

где  $h_{\text{мин.}i}$  - минимально допустимая высота загрузки ионитами  $i$ -го фильтра;  
 $E_i$  - рабочая обменная емкость ионита в  $i$ -м фильтре, выбранная согласно п.2.16;  
 $U_i$  - сумма ионов, подлежащих задержанию в  $i$ -м фильтре; определяется качеством исходной воды и нормами ведения технологического процесса;  
 $U_{\text{макс.}i}$  - максимально допустимая скорость фильтрования через  $i$ -й фильтр (см. указания п.2.15).

4.1.2. Из всех вычисленных минимальных значений продолжительности ионирования выбирается наименьшее в качестве минимальной границы варьирования продолжительности ионирования  $TT$  при расчете набора вариантов.

4.1.3. Для каждого  $i$ -го фильтра блока фильтров рассчитывается максимально возможная продолжительность ионирования:

$$T_{\text{макс.}i} = \frac{h_{\text{макс.}i}}{U_i U_{\text{макс.}i}} = T_{\text{мин.}i} \frac{h_{\text{макс.}i}}{h_{\text{мин.}i}},$$

где  $h_{\text{макс.}i}$  - максимально допустимая высота загрузки  $i$ -го фильтра.

4.1.4. Из всех вычисленных максимальных значений продолжительности ионирования выбирается наименьшее в качестве максимальной границы варьирования продолжительности фильтрования блока фильтров  $TM = (T_{\text{макс.}i})_{\text{мин}} + 1$ .

4.2. Расчет вариантов построения обессоливающей установки с фиксированной продолжительностью ионирования блока фильтров.

Начиная с минимальной границы варьирования  $TT$ , выбранной в п.4.1.2, с шагом варьирования продолжительности  $\Delta t$  (обычно  $\Delta t = 1$  ч) до максимальной границы  $TM$ , выбранной в п.4.1.4, выполняется следующий порядок действий:

4.2.1. Определяется минимально возможное количество блоков фильтров для данной производительности при фиксированной по п.4.2 продолжительности ионирования  $T$ .

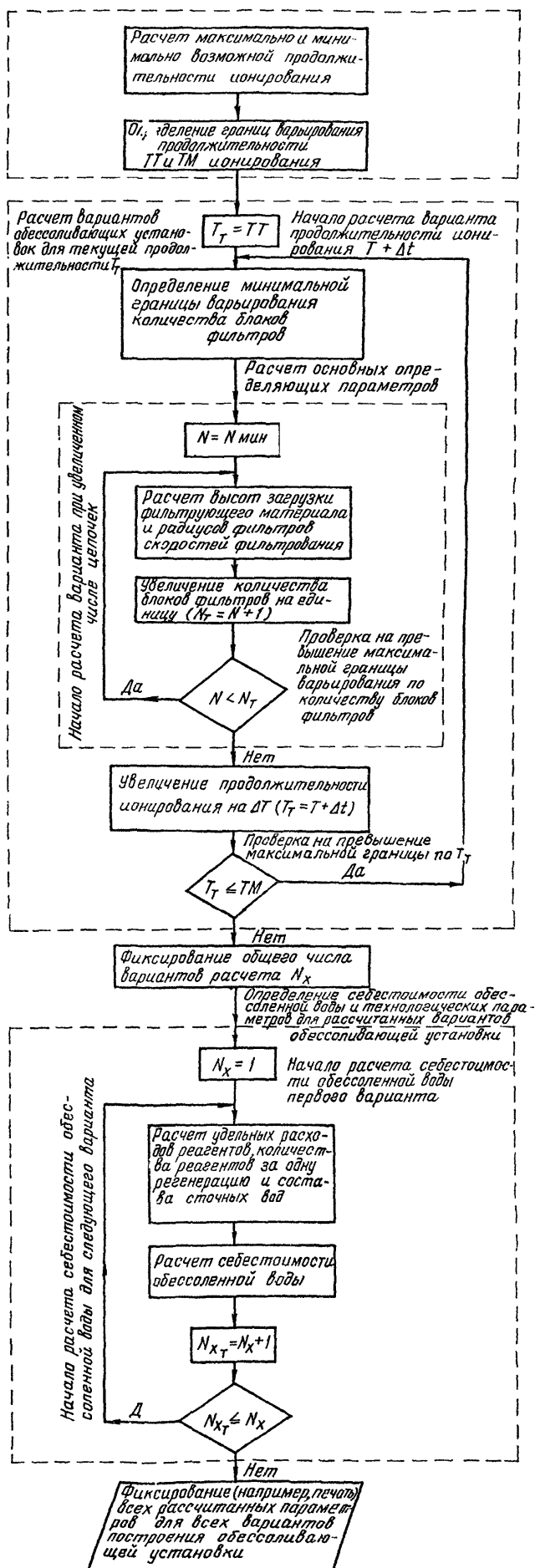


Рис.14. Блок-схема алгоритма расчета обессоливающей установки с блочным включением фильтров

$$N_{\text{бл. мин}} = \frac{Q_{\text{бр}}(T+t_{\text{рег}})}{(3,14 R_j^2 U_{\text{макс}} T)},$$

где  $Q_{\text{бр}} = Q_{\text{н}} \cdot K_{\text{сн}}$  - производительность обессоливающей установки с учетом собственных нужд;

$t_{\text{рег}}$  - принимаемая продолжительность регенерации (обычно 6 ч);

$R_j$  - радиус фильтра из числа серийно выпускаемых; при первом расчете принимается:

$$j=1, \quad R_j = R_{\text{макс}} = R_1;$$

$(R_1, R_2 \dots R_{j \text{ мин}})$  - радиусы серийно выпускаемых фильтров, начиная с большего);

$U_{\text{макс}}$  - наименьшая из максимально возможных скоростей ионирования через все фильтры блока (обычно

$$U_{\text{макс}}^{\tau} = U_{\text{макс. л}} = 20 \text{ м/ч}).$$

4.2.2. Полученное значение  $N_{\text{бл. мин}}$  округляется до ближайшего большего целого числа. При значении  $N_{\text{бл. мин}} < 3$  радиус определяющего фильтра  $R_j$  принимается равным следующему меньшему из серийно выпускаемых фильтров ( $j+1$ ), и расчет по п.4.2.1 и данному пункту повторяется.

4.2.3. Если в результате уменьшения (по п.4.2.2) радиуса устанавливаемого определяющего фильтра даже при минимальном из серийно выпускаемых получается значение  $N_{\text{бл. мин}} < 3$ , принимается  $N_{\text{бл. мин}} = 3$ .

4.3. Расчет вариантов построения обессоливающей установки с фиксированным количеством блоков фильтров.

Начиная с определенного в п.4.2.1 значения  $N_{\text{бл}}$  с шагом 1 до значения  $N_{\text{бл}}+1$  совершаются операции в следующем порядке:

4.3.1. Для всех фильтров, входящих в состав блока фильтров, принимается значение  $R_i$  - радиус фильтра, при котором по пп.4.2.1-4.2.3 было выполнено условие  $N_{\text{бл. мин}} \geq 3$ :

$$R_i = R_j; \quad i = 1, 2 \dots n.$$

4.3.2. Для принятых значений  $R_i$  вычисляется реальная скорость фильтрования  $U_i$  для каждого фильтра блока:



$$U_i = \frac{Q_{\text{бр}}(T+t_{\text{рег}})}{(3,14 R_i^2 T N_{\text{бл}})}; \quad i=1,2 \dots n.$$

4.3.3. Для всех фильтров блока, для которых оказывается  $U_i < U_{\text{макс},i}$ , вычисляется высота загрузки  $i$ -го фильтра ионитом:

$$h_i = \frac{Q_{\text{бр}} U_i (T+t_{\text{рег}})}{N_{\text{бл}} E_i 3,14 R_i^2},$$

при этом, если  $h_i < h_{\text{мин},i}$  принимается  $h_i = h_{\text{мин},i}$ .

4.3.4. Радиус для следующего рассчитываемого варианта принимается равным следующему меньшему радиусу из числа серийно выпускаемых фильтров

$$R_i = R_j.$$

4.3.5. Для фильтров блока, скорость фильтрования которых, рассчитанная по п.4.3.2, оказывается больше максимально допустимой ( $U_i > U_{\text{макс},i}$ ), дальнейшее изменение радиуса фильтров прекращается и для следующего рассчитываемого варианта принимается  $R_i = R_j$ , (значение  $j$  предыдущего варианта не изменилось). Таким образом, в результате расчета одного варианта определены следующие параметры обессоливающей установки, которые представляют собой исходную информацию для второй части расчета:

- количество блоков фильтров в обессоливающей установке  $N_{\text{бл}}$ ;
- продолжительность фильтрования блока фильтров  $T$  ; ,
- радиус фильтров блока  $R_i$  ;
- скорость фильтрования фильтров блока  $U_i$ ;  $i=1,2 \dots n$ ;
- высота загрузки фильтров блока  $h_i$  ;
- технологические данные, рассчитываемые в п.4.6.1;
- себестоимость  $1 \text{ м}^3$  обессоленной воды  $S$ , рассчитываемая в

п.4.6.2.

4.3.6. Для принятых по пп.4.3.4 и 4.3.5 радиусов  $R_i$  фильтров блока производится расчет следующего  $n+1$  варианта и определение  $R_i$  для следующего  $n+2$ -го варианта по пунктам 4.3.2-4.3.5.

4.4. При окончании расчета значения для  $N = N_{\text{бл}} + 1$  принятое при предыдущем расчете значение продолжительности фильтрования  $T$  увеличивается на  $\Delta t$  (см.п.4.2.1) для расчета следующих вариантов для  $T + \Delta t$  по пп.4.2.1-4.3.6.

4.5. При достижении продолжительности фильтрования  $T + \Delta t = TM$  первая часть расчета для всех вариантов заканчивается и фиксируется общее число всех рассчитанных вариантов

$$n_{\text{общ}} = nT + nN + nR.$$

4.6. Для всех рассчитанных вариантов определяется себестоимость  $I \text{ м}^3$  обессоленной воды в следующем порядке:

4.6.1. Производится технологический расчет с определением удельных расходов 100%-ной кислоты  $\rho_K$  и 100%-ного едкого натра  $\rho_{\text{щ}}$ , расхода кислоты  $X_K$  и щелочи  $X_{\text{щ}}$  на одну регенерацию, воды на собственные нужды, количества сточных вод и их качества.

4.6.2. Определяется себестоимость  $I \text{ м}^3$  обессоленной воды ( $S \text{ руб./м}^3$ ) по затратам на иониты и реагенты ( $S_{\text{ион}}$ ,  $S_{\text{реаг}}$ ) с учетом затрат на нейтрализацию сточных вод ( $S_{\text{нейтр}}$ )

$$S = S_{\text{ион}} + S_{\text{реаг}} + S_{\text{нейтр}} = \frac{\left( \sum_{i=1}^n n_i \pi R_i^2 b_i K_{\text{и}} \right)}{\pi r Q_H} + \frac{\sum_{i=1}^n K X X_i}{(T + t_{\text{рег}}) Q_H} + \frac{K_{\text{сав}} X_{\text{сав}}}{(T + t_{\text{рег}}) Q_H}.$$

(Условные обозначения см. п.6.3).

## 5. ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ И ИНФОРМАЦИЯ, ПОЛУЧЕННАЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ РАСЧЕТА ПО АЛГОРИТМУ

5.1. Исходная информация для расчета конкретной обессоливающей установки включает:

5.1.1. Данные, представляемые заказчиком:

- состав исходной воды;
- необходимая производительность установки.

5.1.2. Предварительно задаваемую информацию:

- количество ступеней обессоливания и число фильтров в каждой ступени;
- выбранные к применению марки ионитов.

5.1.3. Нормируемые параметры обессоливающей установки, предусмотренные в гл.2:

- максимально и минимально допустимые высоты загрузки ионитов в фильтры;
- максимально и минимально допустимые скорости фильтрования;
- обменные емкости ионитов;
- расходы 100%-ных реагентов на регенерацию ионитов и нейтрализацию и кислых вод;
- удельные расходы обессоленной воды на приготовление регенерационного раствора, отмывку и домывку ионитов;
- допустимые остаточные концентрации ионов в фильтрате за каждым фильтром.

5.1.4. Данные о стоимости используемых ионитов и реагентов.

5.1.5. Данные о параметрах серийно выпускаемых фильтров, принимаемых к рассмотрению.

5.2. По каждому варианту технологического построения обессоливающей установки с заданной производительностью и химическим составом исходной воды алгоритм определяет следующие параметры установки:

5.2.1. Количество блоков фильтров  $N_{\text{бл}}$  шт.,

5.2.2. Радиусы фильтров блока  $R_i, \text{м}; i=1, 2, \dots, n$ .

5.2.3. Высоту загрузки ионитом фильтров блока  $H_i, \text{м}$ .

5.2.4. Фактические и средние скорости фильтрования через фильтры блока  $U_i, \text{м/ч}; i=1, 2, \dots, n$ .

5.2.5. Производительность блока фильтров с учетом расхода воды на собственные нужды  $Q_{\text{бл.бр.}}, \text{м}^3/\text{ч}$ .

5.2.6. Удельные расходы реагентов  $P_{\text{к}i}$  и  $P_{\text{щ}i}$ , г/г-экв;

5.2.7. Расход 100%-ного реагента на одну регенерацию и нейтрализацию кислых вод  $X_{\text{к}}, X_{\text{щ}}, X_{\text{св}}, \text{кг}$ .

5.2.8. Себестоимость 1  $\text{м}^3$  обессоленной воды по затратам на реагенты, иониты и нейтрализацию сточных вод  $S$ , руб/ $\text{м}^3$ .

5.2.9. Продолжительность фильтроцикла  $T$ , ч.

5.2.10. Время, необходимое для регенерации блока,  $t_{\text{рег}}, \text{ч}$ .

5.2.11. Расход обессоленной  $H$ -катионированной и осветленной воды на собственные нужды блока на регенерацию,  $\text{м}^3$ .

5.2.12. Количество сточных вод за регенерацию,  $\text{м}^3$ .

5.2.13. Усредненный состав минерализованных стоков.

5.2.14. Количество регенерационных узлов на обессоливающую установку  $N_{\text{уз}}$ , шт.

5.2.15. Суммарная вместимость баков-нейтрализаторов,  $\text{м}^3$ .

6. ПРИМЕР РАСЧЕТА ОБЕССОЛИВАЮЩЕЙ УСТАНОВКИ

6.1. Установка работает по схеме  $H_{1,пр} \rightarrow H_{1,осн} \rightarrow A_1 \rightarrow D \rightarrow H_2 \rightarrow A_2$ .

Производительность установки  $Q_H = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

В качестве исходной принята известково-коагулированная вода, состав которой приведен в табл.2.

Т а б л и ц а 2

Показатель	Единица измерения	Исходная вода	Известково-коагулированная вода
Жесткость общая	мг-экв/кг	5,5	4,3
Жесткость карбонатная	мг-экв/кг	2,5	0,62
Жесткость гидратная	мг-экв/кг	-	0,18
Жесткость постоянная	мг-экв/кг	3,0	3,5
Кальций	мг-экв/кг	3,5	3,7
Магний	мг-экв/кг	2,0	0,6
Натрий	мг-экв/кг	1,5	1,5
Хлориды	мг-экв/кг	1,5	1,5
Сульфаты	мг-экв/кг	3,0	3,5
Кремнекислота	мг/л	15,0	11,2
Солесодержание	мг/л	465	400

6.2. Исходные данные для расчета блока фильтров.

6.2.1. Материалы, загружаемые в фильтры:

$H_{1,пр}$  - сульфуголь,  $H_{1,осн}$  - катионит КУ-2-8,  $A_1$  - анионит АН-31,  $H_2$  - сульфуголь,  $A_2$  - анионит АВ-17-8.

6.2.2. Обменная емкость анионита АВ-17-8 в фильтрах второй ступени при концентрации кремнекислота  $0,15 \text{ мг-экв/л}$  ( $H_2SiO_3^-$ ) и угольной кислоты в частично обессоленной и декарбонизованной воде  $3 \text{ мг/л}$  принимается равной  $170 \text{ г-экв/м}^3$  при расходе 100%-ного едкого натра  $100 \text{ кг/м}^3$  (см.рис.9). Расчетная обменная емкость анионита АВ-17-8 принимается с учетом поправки на скорость фильтрования по рис.10.

6.2.3. Удельный расход обессоленной воды на отмывку анионита АВ-17-8 до щелочности  $0,8-1,0 \text{ мг-экв/л}$  составляет  $10 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

6.2.4. Обменная емкость сульфогля в *H*-катионитных фильтрах второй ступени принимается равной 200 г-экв/м<sup>3</sup> (табл.2-5 [3]).

6.2.5. Удельный расход обессоленной воды на отмывку сульфогля в *H*<sub>2</sub> - 10 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

6.2.6. Обменная емкость анионита АН-31 в анионитных фильтрах первой ступени принимается равной 880 г-экв/м<sup>3</sup> при соотношении *H*<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : HCl 3,5:1,5 т.е. в соотношении 70:30 в известкованной воде, и расходе едкого натра 50 кг/м<sup>3</sup> (см.рис.8).

6.2.7. Удельный расход *H*-катионированной воды на домывку анионита АН-31 составляет 12 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

6.2.8. Обменная емкость катионита КУ-2-8 в *H*-катионитных фильтрах первой ступени принимается равной 700 г-экв/м<sup>3</sup> (см.рис.3) при абсолютном расходе серной кислоты 70 кг на 1 м<sup>3</sup> катионита. Обменная емкость сульфогля принимается равной 200 г-экв/м<sup>3</sup>.

6.2.9. Удельный расход осветленной воды для доотмывки сульфогля в предвключенном фильтре принимается равным 1 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

6.2.10. Продолжительность взрыхления каждого фильтра перед проведением регенерации принимается равной 20 мин.

6.3. Принятые в алгоритме обозначения исходных данных для приводимого примера представлены в табл.3.

Т а б л и ц а 3

Показатель	Обозначение	Значение показателя	Единица измерения
Количество фильтров в блоке	$N_{\Phi}$	5	шт.
Количество серийно выпускаемых типоразмеров фильтров	$jR$	4	шт.
Минимально допустимые высоты загрузок ионитов в фильтрах	$h_{мин1}$	1,5	м
	.	1,2	м
	.	0,8	м
	.	0,8	м
	$h_{мин,п}$	0,8	м
Максимально допустимые высоты загрузок ионитов в фильтрах	$h_{макс1}$	2,5	м
	.	1,9	м
	.	1,8	м
	.	1,5	м
	$h_{максп}$	1,5	м

Продолжение таблицы 3

Показатель	Обозначение	Значение показателя	Единица измерения
Максимально допустимые скорости фильтрования в фильтрах	$U_{\text{макс } 1}$	30	м/ч
	.	30	м/ч
	.	20	м/ч
	.	50	м/ч
	$U_{\text{макс } n}$	30	м/ч
Радиусы фильтров серийно выпускаемых типоразмеров	$R_1$	1,7	м
	.	1,7	м
	.	1,5	м
	.	1,3	м
	$R_n$	1,0	м
Рабочие обменные емкости ионитов в фильтрах	$E_1$	200	г-экв/м <sup>3</sup>
	.	700	г-экв/м <sup>3</sup>
	.	880	г-экв/м <sup>3</sup>
	.	200	г-экв/м <sup>3</sup>
	$E_n$	170	г-экв/м <sup>3</sup>
Усредненный годовой расход ионита, загруженного в $i$ -й фильтр	$B_1$	0,15	15%
	.	0,1	10%
	.	0,3	30%
	.	0,15	15%
	$B_n$	0,24	24%
Стоимость ионитов, загружаемых в фильтры блока	$Kи_1$	170	руб/т
	.	1600	руб/т
	.	3000	руб/т
	.	170	руб/т
	$Kи_n$	3150	руб/т
Расход 100%-ного реагента, используемого на восстановление рабочей обменной емкости $i$ -го фильтра на одну регенерацию	$B_1$	70	кг/м <sup>3</sup>
	.	70	кг/м <sup>3</sup>
	.	50	кг/м <sup>3</sup>
	.	70	кг/м <sup>3</sup>
	$B_n$	100	кг/м <sup>3</sup>
Стоимость 100%-ного реагента, используемого на восстановление рабочей обменной емкости $i$ -го фильтра на одну регенерацию	$KХ_1$	0,03	руб/кг
		0,03	руб/кг
		0,10	руб/кг

О к о н ч а н и е т а б л и ц ы 3

Показатель	Обозначение	Значение показателя	Единица измерения
	.	0,03	руб/кг
	$KX_{\Pi}$	0,10	руб/кг
Удельный расход обессоленной воды на собственные нужды для приготовления регенерационного раствора	$gB_1$	0,0	$\text{м}^3/\text{м}^3$
	.	0,033	$\text{м}^3/\text{м}^3$
	.	0,0	$\text{м}^3/\text{м}^3$
	.	0,0	$\text{м}^3/\text{м}^3$
	$gB_{\Pi}$	0,025	$\text{м}^3/\text{м}^3$
Удельный расход обессоленной воды для отмывки и домывки ионита в $i$ -м фильтре	$gD_1$	1,0	$\text{м}^3/\text{м}^3$
	.	1,0	$\text{м}^3/\text{м}^3$
	.	12	$\text{м}^3/\text{м}^3$
	.	10	$\text{м}^3/\text{м}^3$
	$gD_{\Pi}$	10	$\text{м}^3/\text{м}^3$
Число часов работы обессоливающей установки в году	$тр$	700	ч
Продолжительность регенерации блока фильтров (предварительное)	$t_{рег}$	6	ч
Производительность обессоливающей установки	$Q_H$	600	$\text{м}^3/\text{ч}$
Суммарная концентрация ионов, подлежащих задержанию в $i$ -м фильтре	$u_1 + u_2$	5,5	мг-экв/л
	$u_3$	5,0	мг-экв/л
	$\vdots$	0,3	мг-экв/л
	$u_n$	0,15	мг-экв/л

П р и м е ч а н и е. Тип параметра (показателя) - условная постоянная.

6.4. Расчет вариантов схем построения

6.4.1. Находим в соответствии с п.3.3  $h_{мин1}$  и  $h_{макс1}$ :

$$h_{мин1} = 1,5 \cdot \frac{200}{700} + 1,2 \approx 2 \text{ м};$$

$$h_{макс1} = 2,5 \cdot \frac{200}{700} + 1,9 \approx 2,9 \text{ м},$$

где принято  $h_{минH,пр} = 1,5 \text{ м}; \quad h_{минH,осн} = 1,2 \text{ м};$

$$h_{\text{макс}H_{1\text{пр}}} = 2,5 \text{ м}; \quad h_{\text{макс}H_{1\text{осн}}} = 1,9 \text{ м}.$$

Обратный пересчет на  $H_{1\text{пр}}$  и  $H_{1\text{осн}}$  проводится по формулам п.3.3, 6.4.1.1. Принимая  $h_{\text{мин}i}$ ,  $E_i$ ,  $u_i$ ,  $U_{\text{макс}i}$  по исходным данным, по формуле п.4.1.1, определяем значения:

$$T_{\text{мин}1} = 8,48 \text{ ч для } H_1;$$

$$T_{\text{мин}2} = 7,04 \text{ ч для } A_1;$$

$$T_{\text{мин}3} = 10,68 \text{ ч для } H_2;$$

$$T_{\text{мин}4} = 30,22 \text{ ч для } A_2.$$

6.4.1.2. В соответствии с п.4.1.2 принимаем значение  $TT = 7,04 \text{ ч}$ .

6.4.1.3. Принимая  $h_{\text{макс}i}$ ,  $E_i$ ,  $u_i$ ,  $U_{\text{макс}i}$  по исходным данным, по формуле п.4.1.3, определяем значения:

$$T_{\text{макс}1} = 11,03 \text{ ч};$$

$$T_{\text{макс}2} = 15,84 \text{ ч};$$

$$T_{\text{макс}3} = 20,00 \text{ ч};$$

$$T_{\text{макс}4} = 56,67 \text{ ч}.$$

6.4.1.4. В соответствии с п.4.1.4 принимаем значение  $TM = II+I=I2 \text{ ч}$ .

6.4.1.5. За пределы варьирования продолжительности ионирования принимается интервал  $7,04 - I2 \text{ ч}$ .

6.4.2. Расчет вариантов построения с фиксированной продолжительностью фильтрования для блока фильтров.

Принимается  $T = 10 \text{ ч}$ .

6.4.3. По формуле п.4.2.1 при значениях  $Q_{\text{бр}} = 660$ ,  $T = I2$ ,  $t_{\text{рег}} = 6$ ,  $R_j = I,7$ ,  $U = 20$  с учетом п.4.2.2 определяется  $N_{\text{бл.мин}} = 6$  и принимается  $j = I$ . Указания п.4.2.3 опускаются, так как  $N_{\text{бл.мин}} > 3$ .

6.4.4. Расчет вариантов с фиксированным количеством блоков фильтров (вариант I).

Принимается  $N_{\text{бл}} = 6$ .

6.4.4.1. По п.4.3.1 принимается

$$R_1 (\text{для } H_1) = R_2 (\text{для } A_1) = R_3 (\text{для } H_2) = R_4 (\text{для } A_2) = R_j = R_1 = 1,7 \text{ м}, \quad j=1 \text{ по } 6.4.3.$$



6.4.4.2. По формуле п.4.3.2, принимая  $T=10$ ,  $Q_{бр}=660$ ;  $N_{бл.}=6$ , определяем

$$U_1=U_2=U_3=U_4=19,39 \text{ м/с}.$$

6.4.4.3. По формуле п.4.3.3, принимая  $u_i$  и  $E_i$  по исходным данным, определяем

$$h_1=2 \text{ м}, h_2=1,1 \text{ м}, h_3=h_4=0,8 \text{ м}$$

На этом первая часть расчета варианта I заканчивается.

Выходная информация для второй части расчета варианта I:

- количество блоков фильтров  $N_{бл.} = 6$ ;
- продолжительность фильтрования блока фильтров  $T = 10$  ч;
- радиусы фильтров 1,7; 1,7; 1,7; 1,7 м;
- скорости фильтрования 19,39; 19,39; 19,39; 19,39 м<sup>3</sup>/с;
- высоты загрузок 2; 1,1; 0,8; 0,8 м;
- технологические данные, рассчитываемые в п.6.4.7;
- себестоимость 1 м<sup>3</sup> обессоленной воды 0,086 руб/м<sup>3</sup> (рассчитывается в п.4.6.2).

Для следующего рассчитываемого варианта 2 с учетом п.4.3.4 принимается  $R_1 = R_3 = R_4 = 1,5$  м.

6.4.4.4. С учетом п.4.3.5 принимается  $R_2 = 1,7$  м.

6.4.4.5. Для определенных в п.6.4.4.3 и 6.4.4.4 радиусов фильтров производится расчет следующих вариантов по пп.4.3.2-4.3.5. Полученная информация для  $T = 11$  ч приведена в п.6.5.

6.4.5. Расчет вариантов для следующего значения продолжительности ионирования в интервале  $T-T$  -  $T+M$ .

Принимаем продолжительность ионирования  $T+\Delta T = 11+1 = 12$  ч.

Дальнейший расчет производится по п.4.2-4.5.

6.4.5. При достижении  $T = 12$  ч с учетом п.4.5 первая часть расчета вариантов заканчивается. Число вариантов  $N_{общ.} = 9$ .

Полученная информация для всего выбранного интервала ионирования приведена в п.6.5.

6.4.7. Для дальнейшего технологического расчета обессоливающей установки в соответствии с п.4.7 в качестве примера выбран один из вариантов с продолжительностью ионирования  $T = 12$  ч и количеством блоков фильтров  $N_{бл.} = 6+1$  со следующей исходной информацией:

	$h_i$	$R_i$	$U_i$
$H_1$ пр	2,5	1,5	23,4
$H_1$ осн	1,5	1,5	23,4
$A_1$	1,24	1,7	18,2
$H_2$	1,0	1,5	23,4
$A_2$	0,8	1,15	23,4

Ниже приводится пример технологического расчета.

### Анионитный фильтр второй ступени

Расход 100%-го едкого натра на регенерацию одного блока фильтров составит:

$$X_{щ} = \varphi_{щ} h_{A_2} \pi R_{A_2}^2 = \varphi_{щ} V_{A_2} = 100 \cdot 5,6 = 560 \text{ кг.}$$

Количество свободного едкого натра в регенерационных и отмывочных водах, поступающих на регенерацию фильтра  $A_1$ , подсчитываются по формуле

$$\Delta P_{щ} = X_{щ} - \frac{Q_{бр} [H_2SiO_3 + HCO_3] T \cdot 80}{10^3},$$

где  $Q_{бр} = \frac{Q_H (T + t_{рег}) 1,095}{N_{бл} T} = \frac{600(12+6) \cdot 1,095}{6 \cdot 12} = 164 \text{ м}^3/\text{ч.}$

Здесь 1,095 - коэффициент, учитывающий расход обессоленной воды на собственные нужды (см. режимную карту п.6.4.9).

Количество свободного едкого натра составит

$$\Delta P_{щ} = 560 - \frac{164 \cdot 0,15 \cdot 12 \cdot 80}{10^3} = 560 - 23,6 = 536,4 \text{ кг.}$$

### Анионитный фильтр первой ступени

Регенерация анионитного фильтра первой ступени производится щелочными регенерационными водами от анионитных фильтров второй ступени.

Поскольку количество оставшегося свободного едкого натра в регенерационных и отмывочных водах от анионитных фильтров второй ступени меньше значения, принятого по исходным данным (50 кг/м<sup>3</sup>

анионита) для регенерации анионитных фильтров первой ступени, расход его на восстановление последних увеличивается до 560 кг.

При этом удельный расход едкого натра на регенерацию анионита АН-3I составляет:

$$\rho_{щ} = \frac{\Delta \rho_{щ} 10^3}{Q \tau \Sigma A} = \frac{583,4 \cdot 10^3}{164 \cdot 12,5,0} = 59,0 \text{ г/г-экв.}$$

### H-катионитный фильтр первой ступени

С целью более полной утилизации кислоты от основных H-катионитных фильтров первой ступени и уменьшения удельных ее расходов на регенерацию спаренных H-катионитных фильтров первой ступени для предвключенных фильтров принимается максимальная высота слоя сульфоугля 2,5 м и обменная емкость 200 г-экв/м<sup>3</sup> (по исходным данным п.6.2.8).

Объем загружаемого в H-катионитный фильтр первой ступени катионита КУ-2-8 определяется по формуле

$$T Q \Sigma K = E_{c-y} V_{c-y} + E_{ку-2-8} V_{ку-2-8},$$

где  $E_{c-y}$  и  $E_{ку-2-8}$  - соответственно обменная емкость сульфоугля и катионита КУ-2-8;

$V_{c-y}$  и  $V_{ку-2-8}$  - соответственно объем загружаемых в фильтре сульфоугля и катионита КУ-2-8.

Потребность в катионите КУ-2-8 для основного H-катионитного фильтра составит

$$V_{ку-2-8} = \frac{164 \cdot 12 \cdot (5,8 - 0,3) - 200 \cdot 2,5 \cdot 7,0}{700} = 10,5 \text{ м}^3,$$

где 0,3 - остаточное содержание катионов натрия в фильтрате после H-катионитных фильтров первой ступени, г-экв/м<sup>3</sup>.

Количество катионита КУ-2-8 в основных H-катионитных фильтрах первой ступени с учетом собственных нужд на H-катионированную воду (см.п.6.4.9) составит:

$$10,5 \cdot 1,074 = 11,3 \text{ м}^3,$$

где 1,074 - коэффициент, учитывающий расход H-катионированной воды на собственные нужды.

Высота слоя катионита КУ-2-8 в основном Н-катионитном фильтре первой ступени составит:

$$h_{H,осн} = \frac{U_{H,осн}}{F_{H,осн}} = \frac{11,3}{7,0} = 1,6 \text{ м.}$$

При этом скорости фильтрования будет:

$$U_{H_1} = \frac{Q_{БР}}{F_{H_1}} = \frac{164}{7,0} = 23,4 \text{ м/ч.}$$

Потребное количество 100%-ной серной кислоты для регенерации Н-катионитных фильтров первой ступени составит:

$$X_K = \varphi_K V_{КУ-2-8} = 70 \cdot 11,3 = 791 \text{ кг,}$$

а с учетом Н-катионитного фильтра второй ступени -

$$X_K = \varphi_K V_{КУ-2-8} + \frac{h_{H_2} F_{H_2} E_{H_2} 4g}{10^3} = 860 \text{ кг}$$

или  $860 \cdot 1,08 = 930$  кг 92%-ной кислоты.

Удельный расход 100%-ной серной кислоты на сумму всех катионов составит:

$$P_K = \frac{X_K 10^3}{Q T \Sigma K} = \frac{860 \cdot 10^3}{1968 \cdot 5,8} = 76 \text{ г/г-экв.}$$

Количество свободной серной кислоты, содержащейся в регенерационных и отмывочных водах Н-катионитных фильтров первой ступени, за одну регенерацию составит:

$$\begin{aligned} \Delta P_K &= X_K - \frac{(E_{H_{C-У}} V_{C-У} + E_{КУ-2-8} V_{КУ-2-8})}{10^3} - \frac{Q \cdot 0,3 T \cdot 4g}{10^3} = \\ &= 860 - \frac{(200 \cdot 17,5 + 700 \cdot 11,3)}{10^3} - \frac{164 \cdot 0,3 \cdot 12 \cdot 4g}{10^3} = 272 \text{ кг.} \end{aligned}$$

Количество свободной щелочи в регенерационных и отмывочных водах после анионитных фильтров первой ступени за одну регенерацию составит:

$$\begin{aligned} \Delta P_{щ} &= X_{щ} - \frac{Q [HSiO_3 + HCO_3] T \delta O}{10^3} - \frac{Q \Sigma A T 4 O}{10^3} = \\ &= 583,4 - 23,4 - 393,6 = 166,4 \text{ кг.} \end{aligned}$$

Необходимое количество извести ( $CaO$ ) для нейтрализации кислых вод за одну регенерацию  $H$ -катионитных фильтров составит:

$$X_{CaO} = 28 \left( \frac{\Delta P_k}{49} - \frac{\Delta P_{ц}}{40} \right) = 28 \left( \frac{272}{49} - \frac{166,4}{40} \right) = 38,9 \text{ кг.}$$

Расход воды на собственные нужды блока фильтров

А. Расход обессоленной воды на разбавление серной кислоты.

Для регенерации  $H$ -катионитных фильтров используется серная кислота трех концентраций: 1,5; 3 и 6%-ная в соотношении 40:30:30%. Эскиз регенерационного узла показан на рис.13 [4].

Расход обессоленной воды на приготовление 1,5%-ного раствора серной кислоты составит:

$$V_{K_1} = 0,4 \frac{X_K m}{1,5 \gamma_1 10^3} = 0,4 \frac{930 \cdot 92}{1,5 \cdot 1,01 \cdot 10^3} = 23 \text{ м}^3.$$

Расход обессоленной воды на приготовление 3%-ного раствора серной кислоты составит:

$$V_{K_2} = 0,3 \frac{X_K m}{3 \gamma_2 10^3} = 0,3 \frac{930 \cdot 92}{3,0 \cdot 1,02 \cdot 10^3} = 9 \text{ м}^3.$$

Расход обессоленной воды на приготовление 6%-ного раствора серной кислоты составит:

$$V_{K_3} = 0,3 \frac{X_K m}{6,0 \gamma_3 10^3} = 0,3 \frac{930 \cdot 92}{6,0 \cdot 1,041 \cdot 10^3} = 4,6 \text{ м}^3,$$

где  $m$  - 92%-ная серная кислота;

$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  - плотность 1,5; 3 и 6%-ного растворов серной кислоты,  $г/м^3$ .

Общий расход обессоленной воды на приготовление серной кислоты  $V_K$  на одну регенерацию  $H$ -катионитных фильтров составляет 36  $м^3$ .

Б. Расход обессоленной воды на приготовление 4%-ного раствора едкого натра.

Для регенерации анионитных фильтров требуется 1400 кг 40%-ного едкого натра.

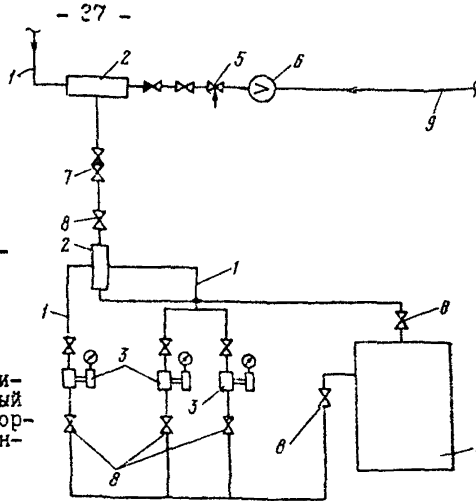


Рис.13. Регенерационный узел подачи серной кислоты:

1 - кислота; 2 - смеситель; 3 - насос-дозатор кислоты; 4 - расходный бак кислоты; 5 - регулирующий клапан; 6 - регулирующая шайба; 7 - обратный запорный клапан; 8 - запорный клапан; 9 - обессоленная вода

Расход обессоленной воды на приготовление 4%-ного раствора едкого натра на одну регенерацию составит:

$$V_{\text{ш}} = \frac{X_{\text{ш}} m_1}{4,0 \beta 10^3} = \frac{1400 \cdot 40}{4,0 \cdot 1,045 \cdot 10^3} = 13 \text{ м}^3,$$

где  $m_1$  - 40%-ный раствор едкого натра;

$\beta$  - плотность 4%-ного раствора едкого натра, г/м<sup>3</sup>.

В. Расход обессоленной воды на отмывку анионитных фильтров  $A_2$  и  $A_1$  на одну регенерацию составит:

$$V_{A_2} = d_{A_2} V_{A_2} = 10 \cdot 5,6 = 56 \text{ м}^3.$$

Г. Расход обессоленной воды на отмывку фильтров  $H_2$  и  $H_1$  аси на одну регенерацию составит:

$$V_{H_2} = d_{H_2} V_{H_2} = 10 \cdot 7,0 = 70 \text{ м}^3.$$

Д. Расход осветленной воды на домывку  $H$ -катионитного фильтра  $H_{1пр}$  за одну регенерацию составит:

$$V_{H_{1пр}} = d_{H_{1пр}} V_{H_{1пр}} = 1,0 \cdot 17,5 = 17,5 \text{ м}^3.$$

Е. Расход  $H$ -катионированной воды на домывку анионитного фильтра первой ступени на одну регенерацию составит:

$$V_{dA_1} = d_{A_1} V_{A_1} = 12 \cdot 11,2 = 134 \text{ м}^3.$$

Ж. Расход осветленной воды на взрыхление фильтров на одну регенерацию  $V_{\beta_3}$  (см. п. 6.4.9 равен  $122 \text{ м}^3$ ).

Итого на собственные нужды за одну регенерацию блока фильтров расходуется:

обессоленной воды

$$V_{o.b} = V_K + V_{щ} + V_{A_2} + V_{H_2} = 36 + 13 + 56 + 70 = 175 \text{ м}^3 (9,7\%);$$

H-катионированной воды  $V_{кат} = 134 \text{ м}^3 (7,4\%);$

осветленной воды

$$V_{осв} = V_{\beta_3} + V_{\partial H, np} = 122 + 17,5 = 139,5 (7,7\%).$$

Общий расход воды на собственные нужды

$$\Sigma V = 24,8\% \text{ а.н.}$$

При отмывке ионитных фильтров целесообразно часть "хвостовых" отмывочных вод (до 30%) направлять в бак сбора взрыхляющих вод механических фильтров. Это позволит благодаря снижению содержания обрабатываемой воды компенсировать частичное понижение обменной емкости ионитов во время их отмывки. Можно принять, что повторно используется до 30% отмывочных вод ионитных фильтров. Тогда количество сточных вод одного блока фильтров, подлежащих нейтрализации, составит за регенерацию:

$$\begin{aligned} C &= V_K + V_{щ} + 0,7(V_{A_2} + V_{H_2} + V_{\partial H, np} + V_{\partial A_1}) = \\ &= 36 + 13 + 0,7(56 + 70 + 134 + 17,5) = 243 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

Продолжительность регенерации блока фильтров

А. Время, необходимое для регенерации H-катионитных фильтров серной кислотой, при скорости фильтрования  $10 \text{ м/ч}$  составит:

$$t_K = \frac{V_K}{U_K F} = \frac{36}{10 \cdot 7} = 0,51 \text{ ч} = 32 \text{ мин.}$$

Б. Время, необходимое для регенерации анионитных фильтров едким натром, при скорости фильтрования  $4 \text{ м/ч}$  составит:

$$t_{щ} = \frac{V_{щ}}{U_{щ} F} = \frac{13}{4 \cdot 7} = 0,46 \text{ ч} = 28 \text{ мин.}$$

В. Время, необходимое на домывку одного предвключенного  $H$ -катионитного фильтра 2-й ступени, составит:

$$t_{H_1, пр} = \frac{d_{H_1, пр} h_{H_1, пр}}{U_{H_1, пр}} = \frac{1 \cdot 2,5}{10} = 0,25 \text{ ч} = 15 \text{ мин.}$$

Г. Время, необходимое на домывку одного анионитного фильтра, составит:

$$t_{A_1} = \frac{d_{A_1} h_{A_1}}{U_{A_1}} = \frac{12 \cdot 1,24}{10} = 1,48 \text{ ч} = 89 \text{ мин.}$$

Д. Время, необходимое на отмывку  $H$ -катионитных фильтров ( $H_2$  и  $H_{1, осн}$ ) составит:

$$t_{H_2, H_{1, осн}} = \frac{d_{H_2} h_{H_2}}{U_{H_2}} = \frac{10 \cdot 1}{10} = 1 \text{ ч} = 60 \text{ мин.}$$

Е. Время, необходимое на отмывку анионитного фильтра  $A_2$ .

В течение первых 60 мин фильтр отмывается со скоростью 4 м/ч; остальное время - со скоростью 10 м/ч. В данном расчете это время составляет:

$$t_{A_2} = \frac{0,5 d_{A_2} h_{A_2}}{U_{A_2}} + \frac{0,5 d_{A_2} h_{A_2}}{U_{1A_2}} = \frac{5 \cdot 0,8}{4} + \frac{5 \cdot 0,8}{10} = 1,4 \text{ ч} = 84 \text{ мин.}$$

Ж. Время, необходимое для взрыхления всех фильтров блока

$$t_{\beta_2} = N_{\phi} 20 = 5 \cdot 20 = 100 \text{ мин,}$$

где 20 - время взрыхления одного фильтра, мин.

Суммарное время ( $t$ ), необходимое для регенерации блока фильтров, составит:

$t = t_{ц} + t_{A_1} + t_{A_2} + t_{\beta_2} = 28 + 89 + 84 + 100 \approx 301 \text{ мин} \approx 5 \text{ ч}$  (без учета времени на переключение арматуры).

#### Вместимость баков-нейтрализаторов

Общая вместимость баков-нейтрализаторов определяется как

$$C \frac{\pi t}{T+t} = 243 \frac{6 \cdot 5}{12+5} \approx 429 \text{ м}^3.$$

Принимается установка двух баков-нейтрализаторов полезной вместимостью по 450 м<sup>3</sup>.



Расчет количества регенерационных узлов  $N_{уз}$

$$N_{уз} = \frac{N_{об} t}{T} = \frac{6 \cdot 6}{12} = 3$$

Усредненный состав минерализованных стоков

А. Содержание ионов в отмывочных водах катионитных и анионитных фильтров за регенерацию:

$$\begin{aligned} Ca &= 0,7(d'_{Ca} V_{A_1} + d'_{Ca,пр} V_{H_1,пр}) [Ca] 0,02 = \\ &= 0,7 \cdot (134 + 17,5) \cdot 3,7 \cdot 0,02 = 7,8 \text{ кг,} \end{aligned}$$

где 0,7 - коэффициент, учитывающий степень использования отмывочных вод.

$$\begin{aligned} Mg &= 0,7(B_{gCa} + B_{gH_1,пр}) [Mg] \cdot 0,012 = \\ &= 0,7(134 + 17,5) \cdot 0,6 \cdot 0,012 = 0,8 \text{ кг;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Na &= 0,7(B_{gCa} + B_{gH_1,пр}) [Na] \cdot 0,023 = \\ &= 0,7(134 + 17,5) \cdot 1,5 \cdot 0,023 = 3,7 \text{ кг;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cl &= 0,7(B_{gCa} + B_{gH_1,пр}) [Cl] \cdot 0,035 = \\ &= 0,7(134 + 17,5) \cdot 1,5 \cdot 0,035 = 5,6 \text{ кг;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SO_4 &= 0,7(B_{gCa} + B_{gH_1,пр}) [SO_4] \cdot 0,048 = \\ &= 0,7 \cdot 151,5 \cdot 3,5 \cdot 0,048 = 17,8 \text{ кг;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SiO_2 &= 0,7(B_{gCa} + B_{gH_1,пр}) [SiO_2] \cdot 0,038 = \\ &= 0,7 \cdot 151,5 \cdot 0,30 \cdot 0,038 = 1,2 \text{ кг.} \end{aligned}$$

Б. Содержание ионов в регенерационных водах катионитных фильтров за одну регенерацию:

$$Ca = U_{H_1}^* T F_{H_1} [Ca] 0,02 = 23,2 \cdot 12 \cdot 7 \cdot 3,7 \cdot 0,02 = 144,2 \text{ кг;}$$

$$Mg = U_{H_1}^* T F_{H_1} [Mg] 0,012 = 1949 \cdot 0,6 \cdot 0,012 = 14 \text{ кг;}$$

$$Na = U_{H_1}^* T F_{H_1} [Na] 0,023 = 1949 \cdot 1,5 \cdot 0,023 = 67,2 \text{ кг;}$$

$$SO_4 = \chi_{\kappa} \frac{96}{98} = 560 \frac{96}{98} = 842 \text{ кг.}$$

В. Содержание ионов в регенерационных водах анионитных фильтров за одну регенерацию:

$$Cl = U_{A_1}^* T F_{A_1} [Cl] 0,035 = 18,2 \cdot 12 \cdot 9 \cdot 1,5 \cdot 0,035 = 103 \text{ кг;}$$

$$Na = \chi_{щ} \frac{23}{40} = 560 \frac{23}{40} = 322 \text{ кг;}$$

$$SO_4 = U_{A_1} T_{F_{A_1}} [SO_4] 0,048 = 1966 \cdot 3,5 \cdot 0,048 = 330,2 \text{ кг};$$

$$SiO_2 = U_{A_1} T_{F_{A_1}} [SiO_2] 0,038 = 1966 \cdot 0,30 \cdot 0,038 = 22,2 \text{ кг}.$$

6.4.8. Полученные по формуле п.4.6.2 значения себестоимости обессоленной воды приведены в п.6.5. Блок-схема алгоритма приведена на рис.14 (см.вклейку).

6.4.9. По результатам расчета технологического режима составлена режимная карта регенерации блока фильтров производительностью 164 т/ч (см.табл.4).

Т а б л и ц а 4

Операция	Q м <sup>3</sup> /ч	Продолжи- тельность регенера- ции, мин	Объем воды, м <sup>3</sup>	Качество воды
1. Взрыхление:				Осветленная
A <sub>2</sub>	70	20	23	
H <sub>2</sub>	70	20	23	
A <sub>1</sub>	90	20	30	
H <sub>1осн</sub>	70	20	23	
H <sub>1пр</sub>	70	20	23	
2. Пропуск 4%-ного раствора едкого натра по линии A <sub>2</sub> -A <sub>1</sub>	28	28	13	Обессоленная
3. Отмывка A <sub>2</sub> -A <sub>1</sub> по линии регенерации		60 мин при U=4 м/ч и 28 мин при U=10 м/ч	56	" "
4. Пропуск серной кислоты по линии H <sub>2</sub> -H <sub>1осн</sub> -H <sub>1пр</sub>				
а) 1,5%-ной кислоты	70	20	23	" "
б) 3%-ной кислоты	70	8	9	" "
в) 6%-ной кислоты	70	4	4	" "
5. Отмывка H <sub>2</sub> -H <sub>1осн</sub> -H <sub>1пр</sub> по линии регенерации	70	60	70	" "
6. Домывка H <sub>1пр</sub>	70	15	17,5	Осветленная
7. Домывка A <sub>1</sub>	90	89	134	H-катиониро- ванная
8. Рециркуляция воды по малому контуру	53	40	-	-

Общая продолжительность регенерации (с учетом времени переключения арматуры) 5,5-6,0 ч.

Расход воды на собственные нужды (%  $Q_n$ ):

- обессоленной - 175 м<sup>3</sup>, или 9,7%;
- N-катионированной - 134 м<sup>3</sup>, или 7,4%;
- осветленной - 139,5 м<sup>3</sup>, или 7,7%.

Общий расход воды на собственные нужды - 24,8%.

Общий расход воды на собственные нужды с учетом повторного использования верыхляющих вод - 17,9%.

6.5. Результаты расчета вариантов построения обессоливающей установки приведены в табл.5.

Т а б л и ц а 5

Продолжительность ионирования блока фильтров, ч	Количество блоков фильтров, шт.	Фильтр блока	Высота загрузки, м	Скорость фильтрация, м/ч	Радиусы фильтров, м	Себестоимость 1 м <sup>3</sup> обессоленной воды, руб./м <sup>3</sup>	Номер варианта
10	6	$H_{1пр}$	2,5	19,35	1,7	0,086	1
		$H_{1осн}$	1,4	19,35	1,7		
		$A_1$	0,8	19,35	1,7		
		$H_2$	0,8	19,35	1,7		
		$A_2$	0,8	19,35	1,7		
	6	$H_{1пр}$	2,5	24,91	1,5	0,068	2
		$H_{1осн}$	1,4	24,91	1,5		
		$A_1$	1,10	19,39	1,7		
		$H_2$	0,8	24,31	1,5		
		$A_2$	0,8	24,31	1,5		
	6	$H_{1пр}$	2,5	24,31	1,5	0,066	3
		$H_{1осн}$	1,4	24,31	1,5		
		$A_1$	1,10	19,39	1,7		
		$H_2$	0,8	33,17	1,3		
		$A_2$	0,8	24,91	1,5		

Продолжение таблицы 5

Продолжительность ионирования блока фильтров, ч	Количество блоков фильтров, шт.	Фильтр блока	Высота загрузки, м	Скорость фильтрация, м/ч	Радиусы фильтров, м	Себестоимость 1 м <sup>3</sup> обессоленной воды, руб/м <sup>3</sup>	Номер варианта
II	6	$H_{1пр}$	2,5	18,73	1,7	0,083	4
		$H_{1осн}$	1,4	18,73	1,7		
		$A_1$	1,7	18,73	1,7		
		$H_2$	0,8	18,73	1,7		
		$A_2$	0,8	18,73	1,7		
	6	$H_{1пр}$	2,5	24,06	1,5	0,068	5
		$H_{1осн}$	1,5	24,06	1,5		
		$A_1$	1,17	18,73	1,7		
		$H_2$	0,8	24,06	1,5		
$A_2$		0,8	24,06	1,5			
6	$H_{1пр}$	2,5	24,06	1,5	0,064	6	
	$H_{1осн}$	1,5	24,06	1,5			
	$A_1$	1,17	18,73	1,7			
	$H_2$	0,8	32,04	1,3			
	$A_2$	0,8	24,06	1,5			
I2	6	$H_{1пр}$	2,2	18,18	1,7	0,081	7
		$H_{1осн}$	1,24	18,18	1,7		
		$A_1$	1,24	18,18	1,7		
		$H_2$	0,8	18,18	1,7		
		$A_2$	0,8	18,18	1,7		
	6	$H_{1пр}$	2,2	23,35	1,5	0,065	8
		$H_{1осн}$	2,2	23,35	1,5		
		$A_1$	1,24	18,18	1,7		
		$H_2$	0,8	23,35	1,5		
		$A_2$	0,8	23,35	1,5		