

## РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЦЕССАХ ВОДОПОДГОТОВКИ НА ТЭС

Ирина Чуб, Тамара Айрапетян

Харьковский национальный университет городского хозяйства  
имени А.Н. Бекетова

Адрес: Украина, г. Харьков ул. Революции-12  
E-mail: [iraclub@yandex.ru](mailto:iraclub@yandex.ru)

**Аннотация.** Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, позволяющие повысить эффективность работы водоподготовительных установок.

**Ключевые слова:** энергосберегающие технологии, водоподготовка, натрий-катионитовый фильтр, умягчение, замкнутый оборотный цикл, период фильтроцикла, рабочая емкость, рабочие параметры, рабочая зона.

### ВВЕДЕНИЕ

Системы водоподготовки и водоочистки являются важнейшей составляющей оборудования энергетических предприятий. Именно от качества исходной воды напрямую зависит надежность и эффективность работы всего энергетического комплекса. Основная задача водоподготовки в энергетике – это обессоливание воды, поскольку именно соединения кальция и магния в несколько раз способны сокращать срок службы нагревательных элементов энергетических предприятий.

Оборудование для водоподготовки в энергетическом комплексе используется для улавливания коллоидных и грубодисперсных примесей, а также солеобразующих элементов.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Крупными источниками образования высокоминерализованных сточных вод являются установки химической подготовки воды для производства пара на тепловых, электрических и атомных станциях. Применяются одно и двухступенчатое умягчение воды с использованием метода натрий - катионирования. Двухступенчатое натрий - катионирование применяют для более глубокого умягчения воды, а также с целью экономии соли и увеличения длительности фильтроцикла. В этом случае в фильтрах первой ступени вода умягчается до жесткости 0,1 - 0,05 мг-экв/л при средней скорости фильтрования 15-20 м/ч, а в фильтрах второй ступени жесткость предварительно умягченной воды снижается до 0,03-0,01 мг-экв/л [1-5]. Главной проблемой при эксплуатации этих установок являются зафиксированные рабочие параметры (скорость, рабочая емкость, количество соли и воды для собственных нужд), которые определяются при проектировании этих установок [6, 8, 11]. Как показывает практика, требуемое количество

умяченной воды непостоянно, а работа фильтров при постоянных рабочих параметрах приводит к не эффективному использованию катионита и избыточному сбросу солей в окружающую среду. При регенерации натрий-катионитовых фильтров образуются сточные воды, содержащие в основном соли постоянной жесткости в виде  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ , а также раствор поваренной соли ( $\text{NaCl}$ ). Кроме того, в этих водах содержится ряд других солей в значительно меньшей концентрации [4-5].

Следовательно, для сокращения расхода воды и реагентов на собственные нужды натрий-катионитовых фильтров и повышения экономичности их работы, необходимо в процессе эксплуатации изменять рабочие параметры и создать замкнутые циркуляционные контуры регенерации натрий-катионитовых фильтров.

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Повысить эффективность работы водоподготовительных установок можно за счет усовершенствования действующих технологических схем подготовки воды и повторного использования стоков в цикле водоподготовки, а также использования надежных методов расчета, которые позволили бы с достаточной точностью определять рабочие характеристики катионитовых фильтров в изменившихся условиях.

Натрий-катионитовые аппараты на собственные нужды потребляют до 20% от объема обработанной воды и до 40 тыс. т соли за год [ 8, 11 ]. Постоянная работа фильтров в максимальном режиме приводит к частым регенерациям, короткому фильтроциклу, и неполному использованию емкости загруженного катионита. В результате чего эффективность работы натрий-катионитовых фильтров снижается.

Анализ литературных источников показал, что разработанные в настоящее время для промышленного внедрения методы обработки сточных вод натрий-катионитовых фильтров

характеризуются сложностью, дороговизной и часто требуют применения нестандартного оборудования [13, 20, 21]. А существующие методы расчета катионитовых фильтров не могут применяться для определения рациональных рабочих параметров фильтров в процессе их эксплуатации так как не соответствуют предъявляемым требованиям [7, 9, 12, 14, 17]. Вопросы, связанные с эксплуатацией натрий-катионитовых фильтров, и в частности, методы определения эффективных рабочих параметров, на сегодня освещены недостаточно.

Сокращение количества солевых сбросов может быть достигнуто в результате совершенствования технологии обработки сточных вод, образующихся при промывке (регенерации) натрий-катионитовых фильтров.

При проведении экспериментальных исследований была изучена работа натрий-катионитового фильтра (изменение скорости фильтрования) и технология применения содо-известкового метода удаления солей постоянной жесткости при сохранении неизменной концентрации хлорида натрия.

## ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

С целью исключения сброса в канализацию засолоненных сточных вод и разработки технологии использования регенерационных растворов в замкнутом цикле была детально исследована динамика отмывки катионитов по таким показателям как концентрация хлоридов и величина общей жесткости отмывочной воды. При этом

представляет определенный научный и практический интерес исследование баланса хлоридов, поступающих на фильтры и отводимых от них в процессе регенерации и отмывки.

На рис. 1 представлена динамика изменения концентрации хлоридов и жесткости воды в процессе промывки (регенерации) натрий-катионитовых фильтров первой степени. В процессе исследований установлено, что концентрация хлоридов возрастает со временем отмывки, достигая максимума на 8-12 минут, потом концентрация хлоридов постепенно снижается.

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что максимальное количество NaCl выводится из фильтра в первые 20 минут (95-97%), в последующие 10-20 минут до завершения отмывки из фильтра выводятся лишь 5-3% NaCl. Средняя концентрация хлоридов в отмывочной воде за первые 20 минут (соли горечи) колеблется в пределах от 50 до 70 г/л, в последующие 10-20 минут - 0,8-1,2 г/л.

Исследования метода обработки (умягчения) сточных вод от регенерации натрий-катионитовых фильтров для повторного (многократного) использования проводили на искусственно приготовленной воде, которая соответствует составу сточных вод, отобранных в процессе регенерации натрий-катионитовых фильтров.

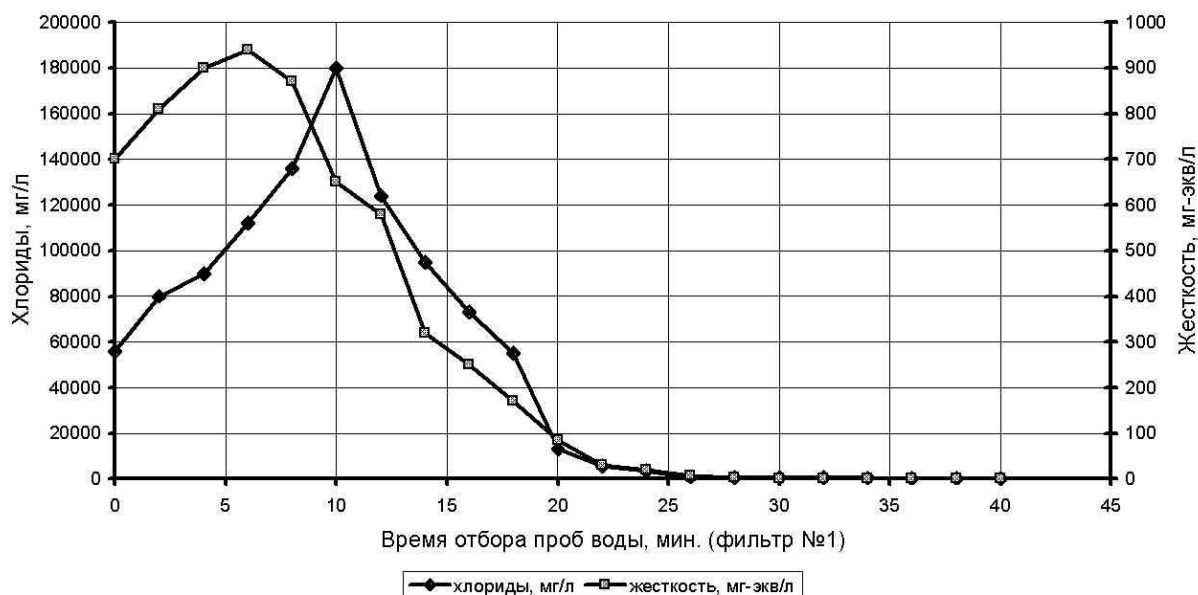


Рис. 1. Динамика изменения концентрации хлоридов и жесткости воды в процессе отмывки (регенерации) натрий-катионитовых фильтров 1-й степени

Fig 1. Dynamics of changes in the concentration of chloride and water hardness in the process of cleaning (regeneration) Na-cation filters of the 1st stage

Таблица 1. Результаты умягчения модельных растворов, имитирующих состав сточных вод от регенерации Na-катионитовых фильтров 1-й степени содо-известковым методом

Table 1. Results of softening model solutions simulating the composition of waste water from the recovery of Na-cation filters 1st stage soda-lime method

№ п/п	Химический состав модельных растворов сточных вод		Доза реагентов, г/л		Химический состав умягченной воды		
	Ингредиенты, ед.измерения	Концентрация	Известь	Кальцин. сода	СГ, г/л	Ж <sub>заг</sub> , мг-экв/л	Са <sup>2+</sup> , мг-экв/л
1	СГ, г/л Ж <sub>общ</sub> , мг-экв/л Са <sup>2+</sup> , мг-экв/л Mg <sup>2+</sup> , мг-экв/л	56,0 700,0 485,0 215,0	15,08	44,95	56,0	4,1	2,5
2	СГ, г/л Ж <sub>общ</sub> , мг-экв/л Са <sup>2+</sup> , мг-экв/л Mg <sup>2+</sup> , мг-экв/л	90,0 900,0 627,0 273,0	17,92	58,84	90,0	4,7	3,1
3	СГ, г/л Ж <sub>общ</sub> , мг-экв/л Са <sup>2+</sup> , мг-экв/л Mg <sup>2+</sup> , мг-экв/л	180,0 652,0 458,0 194,0	13,53	43,09	180,0	3,9	2,3
4	СГ, г/л Ж <sub>общ</sub> , мг-экв/л Са <sup>2+</sup> , мг-экв/л Mg <sup>2+</sup> , мг-экв/л	136,0 870,0 609,0 261,0	18,08	56,58	136,0	4,6	3,2

Необходимые величины жесткости (концентрации ионов кальция и магния) и хлоридов в воде получали путем введения растворов хлоридов кальция, магния и дополнительного количества хлористого натрия, чтобы довести хлориды до необходимых концентраций. При этом жесткость воды, подлежащей обработке, колеблется в пределах от 40,0 до 950 мг-экв/л, концентрация хлоридов – 6,5-190 г/л, общее солесодержание 1500-4500 мг/л.

Процесс обработки (умягчения) указанных сточных вод (модельных растворов) осуществляли содо-известковым методом. Дозы соды и извести для обработки воды определяли в соответствии со стехиометрическими концентрациями ионов кальция и магния. Эффективность процесса умягчения сточных вод определяли путем анализа обработанных вод на содержание концентраций кальция, магния, величину общей щелочности, а также концентрацию хлоридов.

В табл. 1 представлены результаты экспериментальных исследований процесса умягчения указанных сточных вод содо-известковым методом.

Существенный интерес представляют также исследования по умягчению усредненных проб сточных вод. При этом установлено, что

величина общей жесткости умягченной воды находится в пределах 2,0-2,5 мг-экв/л. Следует отметить, что для разработки технологии умягчения рассматриваемых сточных вод необходимо учитывать данные умягчения как разовых, так и усредненных проб сточных вод.

Кроме того, проведены исследования процесса умягчения содо-известковым методом реальных сточных вод, отобранных при регенерации натрий-катионитовых фильтров, которые эксплуатируются на ЗАТ "Теплоэлектроцентральный-3" г. Харькова. Кинетику процесса осаждения указанных вод изучали в усредненных пробах, отобранных за первые 10 минут и за первые 20 минут отмывки натрий-катионитовых фильтров.

На основании результатов экспериментов установлено, что величина концентрации ионов кальция в умягченной воде находится в пределах 1,1-3,2 мг-экв/л, концентрация ионов магния колеблется от 0,7 до 1,6 мг-экв/л. Такой глубины умягчения (обработки) содо-известковым методом достаточно, т.е. она удовлетворяет требованиям, которые предъявляются к регенерационным растворам. Это дает возможность использовать сточные воды от регенерации натрий-катионитовых фильтров в замкнутом цикле регенерации в соответствии со схемой (рис. 2).

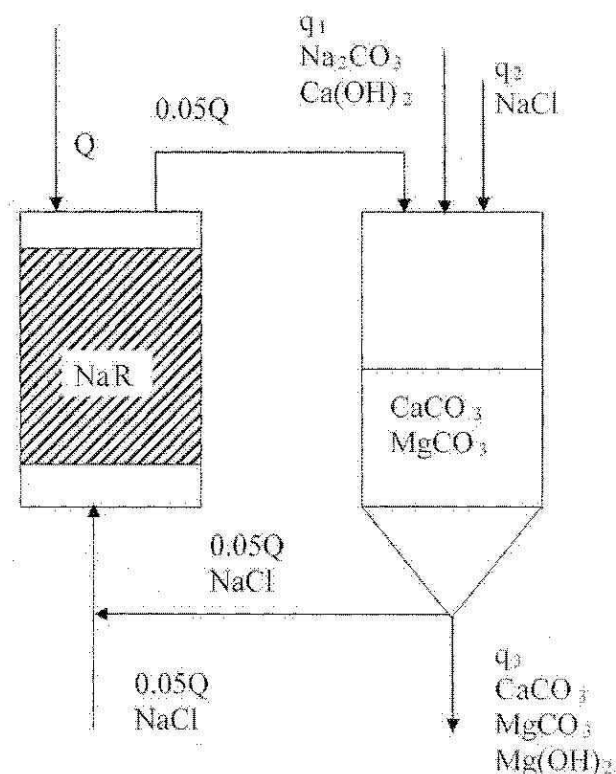


Рис. 2. Рекомендуемая схема регенерации натрий - катионитовых фильтров  
 Fig.2. The recommended regimen for the regeneration of sodium - cation filters

$Q$  - начальный регенерационный расход;  $q_1$  - расход содового реагента;  $q_2$  - расход подпиточной воды на пополнение системы регенерации;  $q_3$  - расход шлама из системы;  $C_1$  - концентрация хлоридов в регенерате;  $C_2$  - концентрация хлоридов в растворе содового реагента;  $C_3$  - концентрация хлоридов в растворе поваренной соли на пополнение системы регенерации;  $C_4$  - концентрация хлоридов в растворе, направляемом на повторную регенерацию;  $C_5$  - концентрация хлоридов в растворе для пополнения регенерата;  $0,05Q \text{ NaCl}$  - начальный регенерационный раствор;

$0,05Q$  - расход засоленного раствора (регенерата). Имеет химический состав, состоящий из соединений  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{NaCl}$ ;

$q_1 \text{ Na}_2\text{CO}_3, \text{Ca(OH)}_2$  - расход реагента для осаждения солей жесткости и удаления чистого раствора технической соды с минимальным содержанием примесей других солей;

$q_2 \text{ NaCl}$  - подпитка системы, солесодержание которой определяется экспериментально;

$0,05Q \text{ NaCl}$  - расход регенерационного раствора, возвращаемого в систему;

$q_3 \text{ CaCO}_3, \text{MgCO}_3$  - расход из системы шлама, образующегося в результате химических реакций.

Шлам возникает вследствие реакции взаимодействия солей регенерата и реагента (технической соды):



Образующийся малорастворимый осадок карбонатов кальция и магния выводится со шламовой водой и может найти применение в виде прочного строительного материала. Это является еще одним преимуществом предлагаемого метода, как нововведение в проблему обработки вторичного загрязнения, которым является регенерат натрий-катионитовых фильтров.

Создание замкнутого контура регенерации натрий - катионитовых фильтров позволит исключить сброс засоленных сточных вод в водные объекты, а также добиться экономии поваренной соли, используемой для регенерации.

Также одним из путей повышения эффективности работы натрий-катионитовых фильтров водоподготовительных установок (ВПУ) и сокращения энергозатрат является определение рациональных рабочих параметров в процессе их эксплуатации.

Для выявления факторов влияющих на работу катионитового фильтра были проведены лабораторные исследования. Исследования проводили на экспериментальной установке. Скорость фильтрования воды при выполнении исследований не превышала 10 м/ч. Катионит (КУ-2-8,  $d_s=0,8$  мм) загружали в колонну высотой 50 см в набухшем состоянии, объемом 800 см<sup>3</sup> (диаметр установки – 5 см, высота загрузки – 40 см.). Для перевода его в рабочую Na<sup>+</sup>- форму пропускали 2,5 л 10% - ного раствора NaCl. Затем отмывали от соли дистиллированной водой [18].

Через подготовленный и отмытый катионит пропускали водопроводную воду г. Харькова с содержанием 700 мг/л и с общей жесткостью 6,5–7 мг-экв/л. Допустимая концентрация общей жесткости в фильтрате 0,1 мг-экв/л. В ходе эксперимента устанавливали время наступления проскока  $\tau_{np}$ , и время окончания процесса фильтрования  $\tau_k$ , которое соответствует

появлению в фильтрате исходной концентрации воды. Результаты приведены в таблице 2.

Объем воды ( $\Delta w$ ) эквивалентен неиспользованной емкости катионита. Количество неиспользованного катионита в фильтре при изменении скорости фильтрования объясняется разной высотой рабочей зоны, которая определяется по соотношению [6,11]:

$$h_{p.z.} = 4 \cdot 10^{-2} v_k \cdot d_k^2 \cdot 2.3 \lg C_0, \quad (3)$$

и зависит от исходной концентрации катионов жесткости в умягчаемой воде. Концентрация влияет на форму концентрационного фронта, образующегося внутри рабочей зоны фильтра. Форма фронта позволяет определить количество катионита, который не участвует в обмене в момент наступления проскока. Для получения концентрационной кривой были проведены исследования на колонке с пробоотборниками, которые позволяли определять концентрацию катионов жесткости внутри колонки при наступлении проскока. Результаты исследований приведены на рис. 3.

Таблица 2. Результаты экспериментальных исследований  
Table 2. Results of experimental studies

Скорость, м/ч	Время $\tau_{np}$ и $\tau_k$ , ч (определение объема воды, $\Delta w$ , м <sup>3</sup> )			
	$\tau_{np}$	$\tau_k$	$\Delta\tau$	$\Delta w$
3	6,43	9,2	2,77	0,017
5	3,18	5,6	2,42	0,024
7	1,8	4,1	2,3	0,032

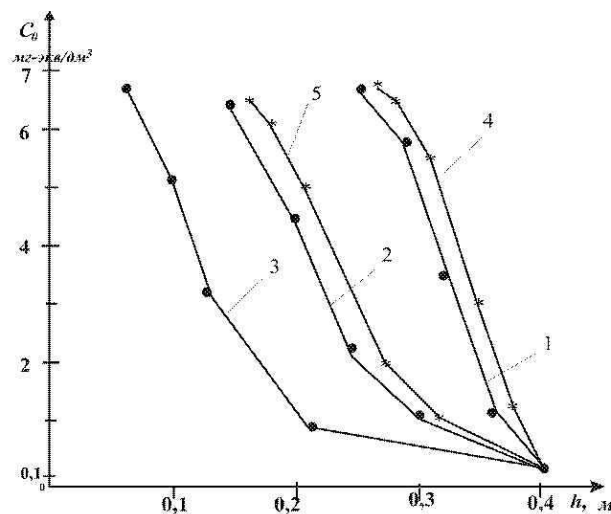


Рис. 3. Концентрационные кривые:  
Fig.3. Concentration curves

1,2,3 – экспериментальные (скорость: 3, 5, 7 м/ч);  
4, 5 – расчетные при скорости – 3 и 5 м/ч для  $C_0=7$  мг-экв/л.

После изучения факторов влияющих на степень использования загруженного катионита во время фильтрования, были получены соотношения, которые учитывают особенности насыщения катионита в рабочей зоне фильтра и позволяют точно определять степень использования емкости загруженного катионита в зависимости от различных условий.

Согласно предложенного метода расчета, необходимо определить неиспользованную емкость загруженного катионита. Для расчета рабочую зону этого фильтра делят на несколько слоев, общим количеством  $m$ . С помощью разработанной математической модели определяют концентрации катионов в воде и катионите каждого слоя:

$$\bar{c}_{j\text{дин}} = \alpha \cdot f(c_j); \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (4)$$

$$u(\bar{c}_{j\text{дин}} - \bar{c}_{j+1\text{дин}}) - v(c_{j-1} - c_j) = 0,$$

$$j = 1, 2, \dots, m. \quad (5)$$

где  $u$  и  $v$  - скорости сорбционного фронта и воды м/с;  $\bar{c}_{j\text{дин}}$ ,  $c_{j\text{дин}}$  - концентрации в катионите и воде на  $j$  слое, мг-экв/л, мг-экв/л;  $\alpha \leq 1$  - коэффициент, который учитывает неравновесные условия.  $m$  - количество слоев, на которые разбита рабочая зона фильтра.

Граничными условиями для уравнений (4) и (5) являются условия только для стадии параллельного переноса:

$$\begin{aligned} z \rightarrow +\infty & \quad C \rightarrow 0 & \quad \bar{C} \rightarrow 0, \\ z \rightarrow -\infty & \quad C \rightarrow C_0 & \quad \bar{C} \rightarrow f(C_0), \end{aligned}$$

где  $z$  - ширина концентрационного фронта.

После преобразования системы уравнений (4) и (5) было получено конечную формулу:

$$\frac{u}{v} [f(c_j) - f(c_{j+1})] - c_{j-1} + c_j = 0 \quad (6)$$

$$j = 1, 2, \dots, m.$$

Уравнение (6) решается методом Ньютона. В результате его решения получают значения концентраций катионов жесткости в катионите для каждого слоя рабочей зоны. Далее определяют неиспользованную емкость катионита  $\Delta e$ . Для ее расчета предложено формулу [22 - 23].

$$\bar{C}_0 \cdot V_{p,z} - \sum_{j=1}^m \bar{C}_{j\text{дин}} \cdot \Delta V_j = \Delta e, \text{ мг-экв}, \quad (7)$$

где  $\Delta V_j$  - объем катионита на  $j$  - слое;  $\bar{C}_0$  - емкость катионита с учетом условий регенерации, мг-экв/л.

На основании предложенного способа определения неиспользованной емкости (7), и выполненных теоретических и экспериментальных исследований предложено зависимости (8), (9) для определения времени работы фильтра до проскока и рабочей емкости катионита:

$$\begin{aligned} \tau_{np} &= \frac{1}{u \cdot f} \cdot (V_k - V_{n,z}) = \frac{\bar{C}_0}{C_0 \cdot v \cdot f} \cdot (V_k - V_{n,z}) = \\ &= \frac{\bar{C}_0}{C_0 \cdot v} h_k \cdot \left(1 - \frac{V_{n,z}}{V_k}\right), \text{ ч}. \end{aligned} \quad (8)$$

$$e_p = \frac{\bar{C}_0 \cdot (V_k - V_{n,z})}{h \cdot f} = \bar{C}_0 \cdot \left(1 - \frac{V_{n,z}}{V_k}\right), \text{ Г-ЭКВ/М}^3, \quad (9)$$

где  $V_k$  - объем катионита в фильтре, м<sup>3</sup>;  $V_{n,z}$  - объем неиспользованного катионита в фильтре, который определяется на основании  $\Delta e$ , м<sup>3</sup>.

Так как период работы фильтра  $\tau_{np}$  является важной технологической характеристикой, то полученное выражение (8) сравнивали с другими известными формулами для определения рабочего периода фильтра, которыми пользуются в водоподготовке. Для сравнения было выбрано уравнение Громогласова [6], как наиболее распространенное, а также другие формулы [8, 11]. Расчет выполняли для следующих условий: фильтр диаметром 3,4 м, загрузка катионит КУ-2-8; высота загрузки - 1,6 м; диаметр зерна катионита,  $d_z = 0,8$  мм. Производительность фильтра 137 м<sup>3</sup>/ч, соответственно скорость фильтрования  $v = 15$  м/ч. Исходная концентрация катионов жесткости в воде  $C_0 = 7$  г-экв/м<sup>3</sup>. Концентрация в фильтрате  $C_{np} = 0,1$  г-экв/м<sup>3</sup>, обменная емкость катионита КУ -2-8 в процессе эксплуатации (по известной полной обменной емкости  $E_n = 1500$ )  $E_p^{Na} = \bar{C}_0 = 1048$  г-экв/м<sup>3</sup>.

По формуле Громогласова [6]:

$$\tau = \frac{h_{cl}}{v \cdot \beta} - \frac{-\ln \varphi - 1}{0,92 \cdot v^{0,5} \cdot d_z^{-1,5} \cdot \beta^{0,5}}, \quad (9)$$

где  $\tau$  - время фильтрования до заданного значения проскока, ч;  $v$  - скорость фильтрования, м/ч;  $d_z$  - диаметр зерна катионита, мм;  $h_{cl}$  - высота слоя катионита, м;  $\varphi = C_\phi / C_0$ ;  $\beta = C_0 / q_0$ ;  $C_0$  и  $C_\phi$  - концентрации ионов соответственно исходная и в фильтрате;  $q_0$  - концентрация ионов, сорбированных единицей объема катионита, был получен такой результат:

$$\tau_{np} = \frac{1,6 \cdot 1048}{15 \cdot 7} - \frac{-\ln \frac{0,1}{7} - 1}{0,92 \cdot 15^{0,5} \cdot 0,8^{-1,5} \cdot 0,007^{0,5}} = 8,1 \text{ ч}.$$

По предложенной зависимости (8):

$$\tau_{np} = \frac{\bar{C}_0 \cdot (V_k - V_{n.s.})}{(C_0 - C_{np}) \cdot f \cdot v} = \frac{1048 \cdot (14,56 - 4,12)}{(7 - 0,1) \cdot 9,1 \cdot 15} = 11,5$$

И по двум другим предложенным для сравнения зависимостям [8,11]:

$$\tau_{np} = \frac{E_{pab} \cdot h_k}{v \cdot C_0} - \frac{0,02 \cdot E_{pab} d_s^2 \ln C_0}{C_0}, \quad (10)$$

$$\tau_{np} = \frac{1048 \cdot 1,6}{15 \cdot 7} - \frac{0,02 \cdot 1048 \cdot 0,8^2 \ln 7}{7} = 12,32,$$

$$\tau = \frac{e_p \cdot h_k}{v \cdot \mathcal{K}_{u.s.}} = \frac{1048 \cdot 1,6}{15 \cdot 7} = 15,9, \quad (11)$$

Полученные по четырем уравнениям значения  $\tau_{np}$  были проанализированы.

Установлено, что на расхождение результатов влияет второй элемент правой части уравнений (9) и (10). В уравнении (9), практически не учитывается катионит в рабочей зоне фильтра. Это объясняет полученный результат, т.е. самый короткий период работы фильтра – 8,1 ч. Авторы уравнения (10) для упрощения предлагают условно считать использованной только половину катионита в рабочей зоне (коэффициент 0,02=0,5·0,04).

Формула (11) широко используется для практических расчетов. Однако результаты, полученные по ней, а именно: время работы фильтра до проскока, являются самыми не точными и требуют корректировки в процессе эксплуатации.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что разработанный метод определения времени работы фильтра наиболее полно отображает процесс насыщения (отработки) ионита в рабочей зоне, который зависит от формы образующегося концентрационного фронта, исходной концентрации воды, неравновесных условий и скорости фильтрования. Следовательно, применение формулы (8) для определения рабочего периода фильтра в процессе его эксплуатации позволяет получить самые адекватные результаты. На основе предложенного метода расчета была разработана компьютерная программа для автоматического выполнения необходимых расчетов и построения выходной кривой на экране компьютера, а также показа всех основных параметров фильтра [22].

## ВЫВОДЫ

Как показали проведенные исследования, обработка сточных вод позволяет снизить общую жесткость до 0,6 - 4,0 мг -экв/л, концентрацию кальция – 0,375 - 2,7 мг-экв/л, магния - 0,225 - 1,3 мг-экв/л. Это дает возможность использовать умягченную воду для регенерации натрий - катионитовых фильтров.

В результате проведенных исследований разработаны метод расчета натрий – катионитового фильтра для определения рациональных технологических параметров и технические решения по переводу системы регенерации Натрий-катионитовых фильтров на замкнутый режим работы, позволяющий исключить сброс засоленных сточных вод и получить значительную экономию реагентов (поваренной соли).

Регулирование технологических рабочих параметров в процессе эксплуатации дает экономию расхода воды и реагентов на собственные нужды водоподготовки в среднем на 10 – 15%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Айрапетян Т. С. 2008 Умягчение промывных (регенерационных) сточных вод натрий-катионитовых фильтров // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ.– Вип.46.- 154-157.
2. Айрапетян Т.С., Пантелят Г.С. 2005 Рекомендуемая схема замкнутого цикла регенерации натрий-катионитовых фильтров предприятий теплоэнергетики // 36. допов. Міжнар. конгр. "Екологія, технологія, економіка, водопостачання, каналізація" (ЕТЕВК-2005). – Крим, м. Ялта.- 390-394.
3. Айрапетян Т.С., Пантелят Г.С., Сыроватский АА, Карагур АС. 2005 Использование промывных (регенерационных) сточных вод натрий-катионитовых фильтров в замкнутом циркуляционном контуре // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – Вип. 33.- 179-182.
4. Беспалов В. И. 2010 Природоохранные технологии на ТЭС: учебное пособие / В. И. Беспалова, С. У. Беспалова, М. А. Вагнер; Томский политехнический университет.– 2-е изд.– Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 240.
5. Валкина Е., Вернези С., Николенко И., Богущий П. 2010 Использование методов водоочистки в новейших энергосберегающих технологиях // Motrol. Motoryzacja I energetyka rolnictwa. – Simferopol – Lublin – Vol. 12 С. – 114-120.
6. Громогласов А.А. 1990 Водоподготовка: Процессы и аппараты: Учеб. пособие для вузов/ А.А.Громогласов, А.С.Копылов, А.П.Пильщиков; Под ред. О.И. Мартыновой. – М.: Энергоатомиздат. – 272.
7. Долгоносов А.М., Сенявин М.М., Волощик И.Н. 1993 Ионный обмен и ионная хроматография.- М., «Наука». – 222.
8. Кишневський В.А. 1999 Сучасні методи обробки води в енергетиці: Навчальний посібник для студентів спеціальностей «Теплоенергетика»,

«Атомна енергетика» та експлуатаційного персоналу ТЕС и АЕС. – Одесса: ОГПУ.–196.

9. Комарова И.В., Галкина Н.К. и др. 1998 Комплекс программ расчета процесса химводоочистки на основе математической модели / Наука производству. 2 (4). 61-63.

10. Кульский Л. А., Строкач П. П. 1986 Технология очистки природных вод. – 2-е изд., перераб. и доп.-К.: Вища шк. – 352.

11. Копылов А.С. 2003 Водоподготовка в энергетике./ Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф.–М.: Изд-во МЭИ. – 309 [11].

12. Мартынова О.И., Никитин А.В., Очков В.Ф. 1990 Водоподготовка: Расчеты на персональном компьютере. М.: Энергоатомиздат. – 215.

13. Никитин К.В., Старостина К.В., Талтыкин С.Е. 1996 Малоотходная технология ионообменного умягчения воды в аппаратах с подвижным слоем катионита и утилизацией регенерирующего раствора // Химия и технология воды. – т.18, № 4. - 120-123.

14. Очков В.Ф. 1999 Решение инженерно-технических задач в среде Mathcad. Теплоэнергетика и теплотехника. Т.1. М.: Издательство МЭИ, – 528.

15. Пантелют Г. С., Эпоян Т. С. 2002 Использование сточных вод от регенерации натрий-катионитовых фильтров предприятий теплоэнергетики // Сб. матер. Пятого междунар. конгр. «Вода: экология и технология» (ЭКВАТЭК-2002). – М.: – 409–410.

16. Пантелют Г. С., Колотило А. Н., Сыроватский А. А. 2001 Разработка системы водоснабжения передельного металлургического завода // Водоснабжение и санитарная техника. – № 5.– 15–17.

17. Перлов А.В., Легенченко И.А., 1990 Метод технологического расчета ионитового фильтра/ Химия и технология воды, т. 12. №4.-. 368-374

18. Практикум по ионному обмену / В.Ф.Селеменев, Г.В.Славинская, В.И.Горшков, В.Ю.Хохлов // Воронеж, ВГУ– 2004. 159.

19. Теоретические основы очистки воды / Куликов Н. И., Найманов А. Я., Омельченко Н. П., Чернышев В. Н., Маслак В. Н., Зотов Н. И.– Макеевка.: ДГАСА, 1999. – 277.

20. Хамизов Р.Х., Новицкий Э.Г., Миронова Л.И., Фокина О.В., Жигулева Т.И., Крачак А.Н. 1996 Переработка природных и техногенных вод с использованием модифицированных цеолитов // Техника машиностр.. № 4, 112–118.

21. Хожайнов Ю. М. 1995 Комплексные технологические схемы для опреснения и концентрирования промышленных и природных вод электродиализом // Хим. пром.. № 9, 518–523.

22. Чуб И.Н. 2008 Повышение эффективности работы Na-катионитовых установок на основе разработанного АРМа/ И.Н.Чуб // Науковий вісник будівництва.– Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ – Вип. 46. – 208– 212.

23. Чуб И. Н. 2006 Расчет сорбционных фильтров с неподвижным слоем для процессов водоподготовки/ И.Н.Чуб // Сборник тезисов докладов участников I Всеукраинской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Киев. – 134.

24. Эпоян Т. С. 2002 Замкнутый цикл регенерации натрий-катионитовых фильтров предприятий теплоэнергетики // Коммунальное хозяйство городов.- Науч. техн. сб. – ХГАГХ. – К.: Техніка. – Вып. 36.– 294-297.

## RESOURCE TECHNOLOGIES IN THE WATER TREATMENT PROCESS FOR HPP

**Summary.** There results of theoretical and experimental researches that allow to increase the work efficiency of water treatment plants are presented in the article.

**Key words:** energy saving technology, water treatment plants, sodium-cation filters, water softening, reverse cycle closed, time filter cycle, worker capacity, technological parameters, worker zone.