

# ГРАДОСТРОИТЕЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ. ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ

---

DOI 10.15593/2409-5125/2015.02.10

УДК 64.066.28

**Ю.В. Болотова, К.А. Карелина, С.В. Новиков**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ МИНИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ РЕАГЕНТОВ, ОБЪЕМА И СТОИМОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ И ИОНИТОВ ПРИ УМЯГЧЕНИИ ВОДЫ

Рассмотрены вопросы эффективного использования ресурсов в процессе умягчения воды на производстве. Изложена суть ионного обмена, строения ионитов, оценена их возможность к обмену ионами. Показан принцип работы ионообменных фильтров, достоинства и недостатки метода ионного обмена. Представлен обзор методов и способов экономии и эффективного использования ресурсов. Рассмотрена технология противоточной регенерации фильтров, в сравнении с прямоточной. Представлены результаты сравнительных испытаний фильтров прямоточного и противоточного способа регенерации. Обоснована необходимость новых технологий в области умягчения воды для ресурсосбережения.

**Ключевые слова:** умягчение воды, ионный обмен, ресурсосбережение, сохранение водных ресурсов, энергосбережение.

Промышленному умягчению воды уделяется много внимания, так как некоторые отрасли производства не могут обходиться без специальной подготовки воды. Известны различные методы умягчения воды, наиболее распространена технология умягчения с использованием ионообменных смол. В основе лежит процесс, при котором растворенные в воде ионы жесткости заменяются на ионы, без образования осадка в трубопроводах и на поверхности нагревательного оборудования.

Принцип работы ионообменных фильтров-умягчителей заключается в следующем: в воде, проходящей через слой ионообменной смолы, ионы кальция и магния заменяются на ионы натрия, связанные с активными ионогенными группами самого катионита. После прекращения обмена ионов требуется восстановление обменной емкости ионообменной смолы – регенерация, которая производится за счет подачи в фильтр водного раствора поваренной соли, и обратного замещения ионов кальция и магния на ионы натрия [9, 12].

Адсорбция с помощью ионообменных смол является наиболее эффективным способом очистки сточных вод от ртути, что позволяет снизить содержание ртути с 0,1–0,2 до  $5 \cdot 10^{-6}$  % [9].

Иониты представляют собой нерастворимые высокомолекулярные вещества, которые благодаря наличию в них специальных функциональных групп способны к реакциям ионного обмена. Другими словами, иониты способны поглощать из раствора положительные или отрицательные ионы в обмен на эквивалентные количества других ионов, содержащихся в ионите, имеющих заряд того же знака. По знаку заряда обменивающихся ионов различают катиониты и аниониты. Способность ионитов к обмену ионами с раствором определяется их строением. Иониты состоят из нерастворимой твердой основы (матрицы), получаемой чаще всего путем сополимеризации исходных продуктов: стирола ( $\text{C}_6\text{H}_5 - \text{CH} = \text{CH}_2$ ) и дивинилбензола ( $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{CH} = \text{CH}_2$ ), добавляемого в количестве около 8 % для поперечной сшивки линейного полистирола. Полученная в форме зерен пространственная сетка углеводородных цепей – матрица – при помещении ее в воду способна увеличивать свой объем в 1,1–2,0 раза за счет взаимодействия с полярными молекулами  $\text{H}_2\text{O}$ , что дает возможность взаимной диффузии обменивающихся ионов после завершения синтеза и превращения матрицы в ионит [11].

Уравнения реакций катионного и анионного обмена:



Иониты широко внедрены в лабораторной практике и промышленных процессах. С применением ионообменных смол ведется очистка воды от солей (обессоливание воды), очистка сахарных концентратов, извлечение ценных металлов (Au, Ag, Cu и др.) из отходов, получение химически чистых реактивов и т.д. Иониты служат активными катализаторами для многих реакций в органической химии [10].

Использование метода ионного обмена целесообразно в технологиях водоподготовки при слабой минерализации воды: ниже 100–200 мг/л солей, так как при умеренной минерализации воды (около 1 г/л содержания солей) для очистки 1 м<sup>3</sup> воды необходимо затратить 5 л 30% -го раствора соляной кислоты и 4 л 50% -го раствора щелочи [13]. Схема установки ионообменных фильтров представлена на рис. 1.

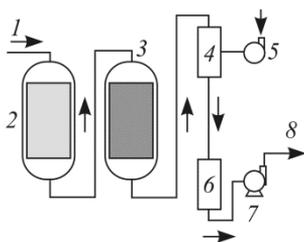


Рис. 1. Схема установки ионообменных фильтров: 1 – подача воды; 2 – водород-катионитовый фильтр; 3 – анионитовый фильтр; 4 – декарбонизатор; 5 – вентилятор; 6 – бак декарбонизированной воды; 7 – насос; 8 – обессоленная вода

Преимуществами ионного обмена являются:

- возможность получения сверхчистой воды;
- надежность и способность работать при меняющихся параметрах питающей воды;
- минимизация капитальных и энергозатрат;
- снижение объема отходов, возможность их переработки;
- к недостаткам ионного обмена относятся;

- высокий расход агрессивных реагентов;
- эксплуатационные расходы, растущие пропорционально солесодержанию воды;
- необходимость обработки регенератов.

Ионный обмен широко используется при подготовке природной воды для промышленности и энергетики (процессы водоподготовки), а также для очистки промышленных сточных вод (процессы водоочистки). В обоих случаях необходимо, при прочих равных условиях, обеспечить минимальный расход реагентов, объем и стоимость оборудования и ионитов. При очистке

сточных вод важнейшим показателем, кроме того, является объем получаемых регенератов, которые подвергаются дальнейшей переработке. Поэтому в целях сокращения вторичных отходов используются различные усовершенствования: противоточная регенерация, фракционирование регенерата и т.п. [4, 5].

Технология ионного обмена требует решения задач по увеличению рабочей обменной емкости ионитов и снижению затрат на эксплуатацию умягчителей [6].

В большинстве котельных России для смягчения воды, питающей котлы, удаления из нее образующих накипь соединений магния и кальция используют натрий-катионитные фильтры. Со временем фильтрующий материал (катионит) насыщается кальцием и магнием, теряет свою обменную способность. Для регенерации фильтров через них пропускают раствор поваренной соли.

Ежегодно российская промышленность потребляет миллионы тонн соли только на регенерацию фильтров ХВО. И вся эта соль сливается в дренаж, загрязняя водоемы. Поэтому проблема снижения расхода соли на регенерацию Na-катионитных фильтров была и остается актуальной.

Известно, что повышение расхода NaCl на регенерацию катионита не увеличивает его обменной способности, а приводит к перерасходу соли из-за сброса в канализацию неиспользуемой ее части. Кроме того, увеличивается время отмывки катионита, вследствие чего возрастает расход воды на собственные нужды [4].

Существуют различные методы сокращения расхода соли на регенерацию Na-катионитных фильтров водоподготовительных установок и, следовательно, уменьшения загрязнения водоемов:

- противоточная и ступенчато-противоточная регенерация,
- повторное использование отработанного регенерационного раствора соли,
- подогрев регенерационного раствора соли и умягчаемой воды,
- регенерация катионита раствором нарастающей концентрации,
- применение высокеемких катионитов [13].

Разработан простой и эффективный способ сокращения расхода соли, воды на собственные нужды и стоков в дренаж, основанный на повторном использовании избытка соли. Данная тех-

нология регенерации фильтров может быть применена со всеми типами фильтрующего материала.

На рис. 2 показан процесс обычной регенерации. По оси абсцисс отложен непрерывный расход раствора соли, по оси ординат – общая концентрация солей в регенерате. Отрезок АВ характеризует общую концентрацию солей, серый участок – концентрацию кальция и магния, вытесняемых из катионита. Пространство над этим серым участком является избытком соли.

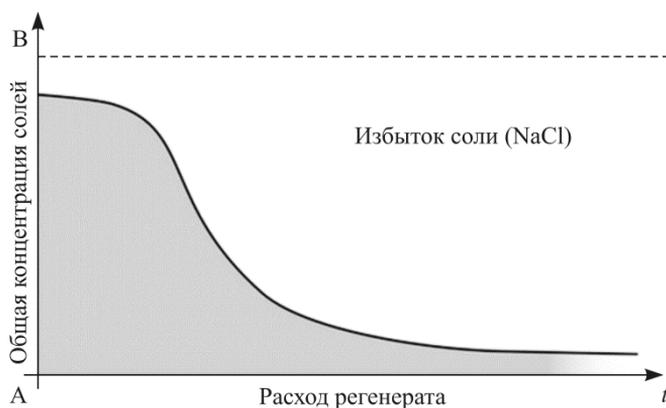


Рис. 2. Процесс обычной регенерации

Первые порции регенерата содержат незначительное количество неизрасходованной соли и большую концентрацию кальция и магния. К концу процесса регенерации соотношение меняется на противоположное: в дренаж сливается избыток NaCl, при этом концентрация солей кальция и магния в растворе минимальна.

Предлагаемый способ изменения технологии регенерации Na-катионитных фильтров основан на том, чтобы пускать раствор регенерата поздних стадий на частичную регенерацию следующих фильтров.

Применение метода позволяет:

- сократить расход соли на регенерацию фильтров на 25–30 % ,
- сократить расход воды на регенерацию фильтров на 20–40 % ,
- сократить объем стоков после регенерации на 20–40 % ,
- увеличить время работы фильтров.

Ионообменные фильтры периодического действия могут регенерироваться в прямоточном либо в противоточном режимах. При прямоточной регенерации очищаемый и регенерационный

растворы пропускаются через ионообменную смолу в одном направлении, а при противоточной – в противоположных. На рис. 3 представлена фотография противоточной ионообменной установки. При этом очищенный раствор контактирует с наиболее регенерированным ионитом, что обеспечивает максимальное качество очистки, которое незначительно зависит от степени регенерации остальных слоев. Это позволяет сократить расход регенерирующего агента и объем регенератов [5].



Рис. 3. Противоточная ионообменная установка

Преимущества противоточного фильтрования были известны давно, но промышленное применение оно нашло лишь с появлением специальных конструкций фильтров и развитого производства специальных высокоэффективных ионитов. За последние годы разработано большое число вариантов противоточной регенерации ионообменных смол.

Основной задачей при создании противоточных фильтров является необходимость обеспечения сплошности слоя и отсутствия его перемешивания при сорбции и регенерации. Это достигается различными методами, которые, как правило, усложняют конструкцию и эксплуатацию оборудования. Поэтому из предлагаемых конструкций в промышленной водоподготовке применение нашли два наиболее отработанных и надежных варианта [5].

1. *Фильтры с очисткой воды снизу вверх, а регенерацией сверху вниз.* Одной из первых запатентованных противоточных технологий была технология Schwebelbett фирмы Bayer AG [5]. Технология противоточного ионирования с так называемым «взвешенным» слоем ионита в восходящем потоке обрабатываемой воды воплощена в конструкциях системы АМБЕРПАК фирмы Rohm and Haas и ПЬЮРОПАК фирмы Purolite (рис. 4, 5).



Рис. 4. Противоточные Na-катионитные фильтры на тепловой станции «Люблино» в ГУП «Мостеплоэнерго»

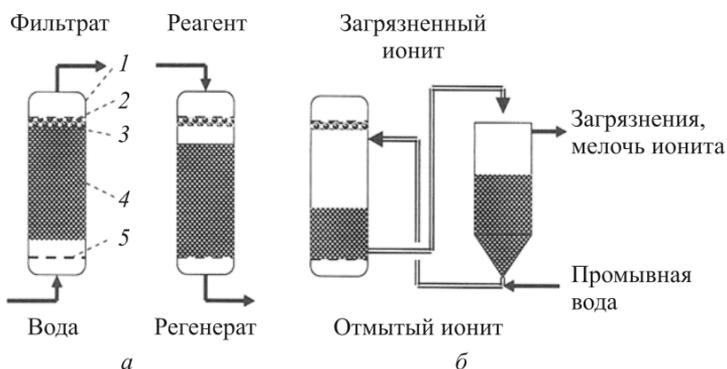


Рис. 5. Принцип работы системы АМБЕРПАК и ПЬЮРОПАК:  
*а* – очистка: 1 – корпус; 2 – верхний дренаж; 3 – слой инерта; 4 – ионит; 5 – нижний дренаж; *б* – отмывка ионита от взвесей и извлеченных частиц

В этом варианте обрабатываемая вода направляется снизу вверх, регенерационный раствор – сверху вниз. Смола размещается в фильтре между двумя дренажными устройствами. Над слоем смолы располагается слой плавающего гранулированного инертного материала, который предотвращает вынос мелких фракций ионита из фильтра через верхнее колпачковое дренажное устройство в процессе сорбции, а также обеспечивает оптимальное распределение реагента при регенерации. Поскольку смола в процессах сорбции – регенерации изменяет объем, то необходимо дополнительное свободное пространство в фильтре [14].

Очистку воды производят при ее подаче снизу вверх. При этом слой ионита поднимается вверх и вместе со слоем инерта прижимается к верхнему дренажу. В нижней части фильтра образуется слой псевдооживленного ионита, который является дополнительным распределителем для воды по сечению фильтра.

Регенерация такого фильтра отличается от прямоточной отсутствием операции промывки от взвесей. При загрязнении нижнего слоя взвесями этот слой выводится из аппарата в специальную безнапорную колонну, где и отмывается, после отмывки возвращается в аппарат.

Преимущества системы АМБЕРПАК и ПЬЮРОПАК:

- большая эффективность регенерации ионитов в противотоке;
- существенно большее количество ионита в одном корпусе, что позволяет либо увеличить продолжительность фильтроцикла, либо применять фильтры меньших размеров, либо при больших производительностях сократить количество фильтров.

В качестве недостатка отмечается то, что слой ионита очень чувствителен к изменению расхода обрабатываемой воды и перебивам в работе, необходимо регулярно проводить взрыхляющие промывки, чтобы избежать попадания измельченной смолы или механических загрязнений в фильтрат [7].

*2. Фильтры с очисткой воды сверху вниз, а регенерацией снизу вверх.* Около 10 лет назад фирма Dow Chemical разработала технологию UP.CO.RE. (Up flow Coun tercurrent Regeneration – противоточная регенерация восходящим потоком) [5].



Технология Up flow обладает следующими преимуществами:

- высокое качество очищенной воды;
- высокая эффективность процесса умягчения;
- снижение продолжительности регенерации;
- отсутствие специальных требований к конструкции фильтра

при использовании специальных устройств управления [6].

Преимущества использования технологии Up flow в установках малой производительности иллюстрируются следующим расчетом: фильтр-умягчитель на корпусе  $10 \times 54$  с автоматическим устройством управления Slack при постоянном водопотреблении  $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ , исходной общей жесткости воды  $\text{ОЖ} = 5 \text{ мг-экв/л}$ . Объем цилиндрической части данного корпуса составляет  $57 \text{ л}$ , рабочая обменная емкость катионита  $E = 1,1 \text{ г-экв/л}$ . Для удобства расчета принимается умягчение до  $\text{ОЖ} = 0 \text{ мг-экв/л}$ , а расход соли на регенерацию  $120 \text{ г/л}$  катионита.

Коэффициент заполнения корпуса катионитом составляет:

- для обычной технологии регенерации  $67 \%$  (объем  $38,2 \text{ л}$  катионита);
- для технологии Up flow около  $90 \%$  ( $51,3 \text{ л}$  катионита).

Ресурс системы при традиционной регенерации ( $P_{\text{тр}}$ ) и регенерации Up flow ( $P_{\text{пр}}$ ) и время до первой регенерации ( $T$ ) составят соответственно:

$$P_{\text{тр}} = 38,2 \times 1,1 = 42,0 \text{ г-экв}; P_{\text{пр}} = 51,3 \times 1,1 = 56,4 \text{ г-экв};$$

$$T_{\text{тр}} = 42 \text{ г-экв} / (0,005 \text{ г-экв/л} \times 1000 \text{ л/ч}) = 8,4 \text{ ч};$$

$$T_{\text{пр}} = 56,4 \text{ г-экв} / (0,005 \text{ г-экв/л} \times 1000 \text{ л/ч}) = 11,3 \text{ ч}.$$

Таким образом, для обычной системы требуется регенерация 3 раза, а противоточной – 2 раза в сутки. Требуемый объем соли в сутки на регенерацию ионита составит:

- для обычной технологии регенерации  $V_{\text{соли}} = 38,2 \times 0,12 \times 3 = 13,8 \text{ кг/сут}$ ;
- для технологии Up flow  $V_{\text{соли}} = 51,3 \times 0,12 \times 2 = 12,4 \text{ кг/сут}$ .

Разница составляет  $1,4 \text{ кг/сут}$ , т.е. в месяц экономия соли в случае использования системы с технологией Up flow составит порядка  $40 \text{ кг}$  [6].

К преимуществам описываемой технологии относится экономия реагента и увеличение ресурса системы. При использовании технологии Up flow можно сокращать продолжительность вспомогательных стадий регенерации. Более глубокая степень умягчения позволяет сократить количество ступеней умягчения или уменьшить размер фильтра, организовав процесс на более высоких скоростях. Это достигается, в первую очередь, за счет увеличения высоты слоя и изменения характера процесса фильтрации, при котором исходная вода поочередно проходит слои ионита от менее к более отрегенированному, что обеспечивает более глубокое и полное удаление солей жесткости.

Работа предусматривает исследование и сравнение эффективности прямоточной регенерации, противоточной по способу АПКОРЕ и противоточной по способу ПЬЮРОПАК. Для проведения испытаний была создана опытная установка (рис. 7).

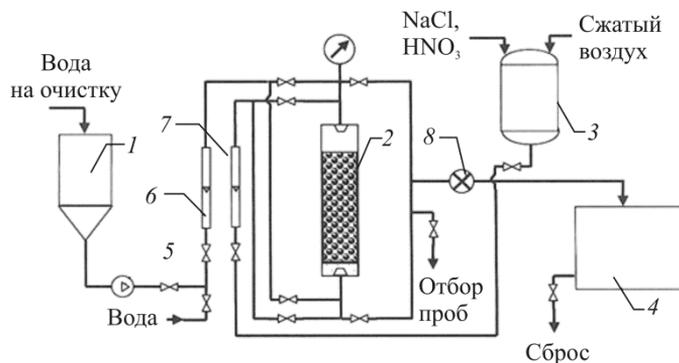


Рис. 7. Установка для исследования и сравнения технологических характеристик прямоточной и вариантов противоточной регенерации ионитов [5]: 1 – емкость для исходной воды; 2 – фильтр диаметром 200 мм; 3 – монжус; 4 – сборная емкость объемом 1000 л; 5 – насос; 6, 7 – ротаметры; 8 – водосчетчик

Вода из емкости 1 подается насосом 5 через ротаметр 6 на фильтр 2 диаметром 200 мм и высотой 900 мм. Для наблюдения за работой фильтра он сделан из оргстекла. Подача воды и регенерационного раствора может производиться как сверху, так и снизу. Этим обеспечивается возможность проведения сорбции и регенерации как в прямотоке, так и в любых известных вариантах противотока. Объем пропущенной воды контролируется по водосчет-

чику 8. Подача регенерирующего раствора на фильтр 2 производится через ротаметр 7 из монжуса 3 давлением воздуха.

Для исследования противоточных режимов фильтр был загружен сильнокислотным монодисперсным катионитом PUROFINE C-100 на 90 % от объема фильтра, высота загрузки 0,7 м. Для исследования прямоточного режима 3 л смолы из фильтра отгружали. Регенерация производилась раствором NaCl. Исследования проводились на водопроводной воде со средней исходной жесткостью 4,0–4,8 мг-экв/л. Во всех циклах сорбция осуществлялась в одинаковых условиях, расход исходной воды составлял 500 л/ч, отбирались пробы для анализа на остаточную жесткость. Сорбция велась до проскока по жесткости 0,2 мг-экв/л. Результаты исследования представлены в таблице.

#### Результаты сравнительных испытаний прямоточной регенерации

Показатель	Противоточная регенерация		Прямоточная регенерация
	АПКОРЕ	ПЬЮРОПАК	
Объем загрузки, л	13		10
Остаточная жесткость фильтрата, мкг-экв/л	Не превышает 20	На уровне 40	65
Расход соли на регенерацию, г-экв/л катионита	1,3	1,8–2,0	1,8–2,0
Значение обменной емкости катионита, мг-экв/л	1200–1400	1200–1300	1050

Проведенные длительные сравнительные технологические испытания показали, что при производительности фильтра 500 л/ч очистка от солей жесткости лучше всего происходит при работе фильтра в режиме АПКОРЕ, поскольку остаточная жесткость фильтрата в данном случае не превышает 20 мкг-экв/л.

При регенерации в режиме ПЬЮРОПАК и прямотока такая жесткость обеспечивалась при расходе соли на регенерацию 1,8–2,0 г-экв/л катионита.

Наиболее высокое значение обменной емкости катионита было достигнуто при регенерации фильтра в режиме АПКОРЕ.

Другим важным преимуществом исследованных вариантов противоточной регенерации является то, что фильтр почти полно-

стью заполнен сорбентом и продолжительность фильтроцикла у них почти вдвое больше.

Выбор способа регенерации определяется режимом работы установки. При частых остановках подачи раствора и при наличии в питающей воде взвесей предпочтительнее АПКОРЕ. Его основной недостаток заключается в необходимости иметь дополнительный насос большой производительности для поднятия слоя ионообменной смолы в первой стадии регенерации, и емкость с соответствующим запасом очищенной воды.

Этот способ регенерации обеспечивает максимальное заполнение сорбентом объема фильтра (примерно 90 %), т.е. его высокую емкость, высокое насыщение ионита, минимальный проскок ионов, от которых осуществляется очистка, в фильтрат при высокой степени регенерации минимальным количеством регенерирующего агента (120–150 % от стехиометрического) и при минимальном объеме регенерата. При фракционировании регенерата удается получить существенно больший коэффициент концентрирования, чем при прямоточной регенерации.

При сравнении противоточных и прямоточных способов работы фильтра установлено, что по показателям «средняя остаточная жесткость фильтрата» и «динамическая обменная емкость катионита», противоточная регенерация в режиме АПКОРЕ предпочтительнее регенерации в режиме ПЬЮРОПАК и в режиме прямотока.

Продолжительность цикла фильтрации при работе в противоточных режимах в 1,5 раза больше, чем при прямотоке. Объем вторичных отходов при использовании противоточной регенерации в режиме АПКОРЕ в 1,5 раза меньше, чем при работе в других режимах.

Прямоточная регенерация (рис. 8, а) наиболее просто осуществима, поэтому и наиболее распространена. Однако для достаточно полного вытеснения всех катионов из слоя ионита она требует существенного (2–3-кратного) избытка регенерирующего агента. Из-за «размазывания» наиболее сорбируемых ионов по слою ионита они оказываются в результате в нижней части его слоя, там, где из него выходит очищенная вода; качество очистки, особенно в первое время, оказывается недостаточно высоким.

Противоточная регенерация (рис. 8, б) реализуется сложнее, она может производиться с минимальным расходом реагентов (избыток от 1,1) и объемом отходов. Поскольку очищаемый раствор на выходе из фильтра контактирует с наиболее регенерированным ионитом, качество очистки максимально [8].

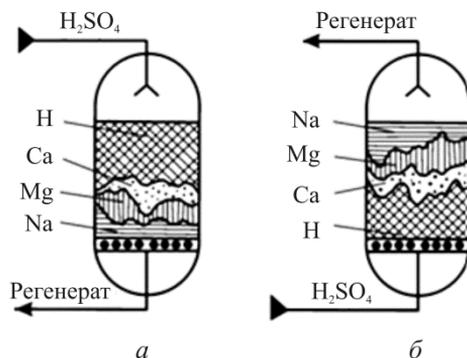


Рис. 8. Распределение ионов в слое катионита при прямоточной (а) и противоточной (б) регенерации [8]

Применение рассмотренных методов позволяет экономить реагент и увеличивать ресурс системы, тем самым повышая ее производительность.

### Библиографический список

1. Beltle C., Lisson C. A Comparison of Three Different Counterflow Regeneration Systems in a 640 m<sup>3</sup>/h Water Plant? // International Water. – 2002. – № 16.
2. Strauss S.D. Consider up flow regeneration as demineralization alternative // Power. – 1995. – July. – P. 43–44.
3. Промышленное умягчение воды [Электронный ресурс] // Сайт Научно-производственного института «Генерация». – URL: <http://vodopodgotovka-vodi.ru> (дата обращения: 01.04. 2015).
4. Способ сокращения расхода соли на регенерацию Накатионитных фильтров [Электронный ресурс] // Сайт компании «РАБИКА-энергосбережение». – URL: <http://www.rabika.ru> (дата обращения: 01.12. 2014).
5. Сравнительные исследования эффективности регенерации ионообменного фильтра различными способами [Электронный ре-

сурс] // Сайт ЗАО «НПК Медиана-Фильтр». – URL: <http://www.mediana-filter.ru/> (дата обращения: 09.10. 2014).

6. Технология UP FLOW, или как сэкономить на эксплуатации умягчителей воды [Электронный ресурс] // Сайт компании «Экодар». – URL: <http://www.ekodar.ru> (дата обращения: 09.10. 2014).

7. Система с обратной промывкой уплотненного слоя «Амберпак». Проспект фирмы Rohm and Haas, 1994. – 28 с.

8. Захаров Е.И., Рябчиков Б.Е., Дьяков В.С. Ионообменное оборудование атомной промышленности. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 248 с.

9. Кафаров В.В. Принципы создания безотходных химических производств. – М.: Химия, 1982. – 288 с.

10. Кульман А.Г. Общая химия. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Колос, 1979. – 528 с.

11. Балаев И.С., Кусманов Б.К., Бондарев Н.Т. Водоподготовка: новая противоточная технология // Аква-терм. – 2001. – № 6. – С. 46–47.

12. Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике. – М.: Изд-во МЭИ, 2003. – 309 с.

13. Резник Я.Е. Оптимизация ионообменной технологии: фильтрование с противоточной регенерацией // Аква-терм. – 2003. – № 4. – С. 42–44.

14. Аширов А. Ионообменная очистка сточных вод, растворов и газов. – Л.: Химия, 1983. – 293 с.

15. Николадзе Г.И. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. – М.: Высшая школа, 1984. – 368 с.

### References

1. Beltle C., Lisson C. A Comparison of Three Different Counterflow Regeneration Systems in a 640 m<sup>3</sup>/ h Water Plant? *International Water*, July 2002, no. 16.

2. Strauss S.D. Consider upflow regeneration as demineralization alternative. *Power*, 1995, July, pp. 43–44.

3. Promyishlennoe umyagchenie vody [Industrial water softening]. *Sajt Nauchno-Proizvodstvennogo Instituta Generatsiya*, available at: <http://vodopodgotovka-vodi.ru> (accessed 1 April 2015).

4. Sposob sokrashcheniya raskhoda soli na regeneratsiyu Nakhoditnykh filtrov [Way of reduction of a consumption of salt on

regeneration Na-kationitnykh of filters]. *Sajt Kompaniya «RABIKA-energoberezhnie»*, available at: <http://www.rabika.ru> (accessed 1 December 2014).

5. Sravnitelnyie issledovaniya effektivnosti regeneratsii ionoobmennogo filtra razlichnyimi sposobami [Comparative researches of efficiency of regeneration of the ion-exchange filter in various ways]. *Sajt ZAO «NPK Mediana-Filtr»*, available at: <http://www.mediana-filter.ru/> (accessed 9 October 2014).

6. Tekhnologiya UP FLOW, ili kak sekonomit na ekspluatatsii umyagchiteley vodyi [The UP FLOW technology or how to save on operation of softeners of water]. *Sajt kompanii «Ekodar»*, available at: <http://www.ekodar.ru> (accessed 9 October 2014).

7. Sistema s obratnoj promyvkoj uplotnennogo sloya Amberpak [Sistem backwashing of the compacted layer Amberpak] Prospekt firmy Rohm and Haas, 1994.

8. Zakharov E.I., Ryabchikov B.E., Dyakov V.S. Ionoobmennoe oborudovanie atomnoj promyshlennosti [Ionexchange equipment of the nuclear industry]. Moscow: Energoatomizdat, 1987. 248 p.

9. Kafarov V.V. Printsipy sozdaniya bezothodnyikh khimicheskikh proizvodstv [Principles of creation of waste-free chemical productions]. Moscow: Khimiya, 1982. 288 p.

10. Kulman A.G. Obshchaya khimiya [General chemistry]. Moscow: Kolos, 1979. 528 p.

11. Balaev I.S., Kusmanov B.K., Bondarev N.T. Vodopodgotovka: novaya protivotochnaya tekhnologiya [Water treatment: new counterflow technology]. *Akva-term*, 2001, no. 4, pp. 46–47.

12. Kopyilov A.S., Lavyigin V.M., Ochkov V.F. Vodopodgotovka v energetike [Water treatment in an energy drink]. Moscow: MEI, 2003.

13. Reznik Ya.E. Optimizatsiya ionoobmennoj tekhnologii: filtrovanie s protivotochnoy regeneratsiej [Optimization of ion-exchange technology: filtering with counterflow regeneration]. *Akva-term*, 2003, no. 4, pp. 42–44.

14. Ashirov A. Ionoobmennaya ochistka stochnyikh vod, rastvorov i gazov [Ion-exchange sewage treatment, solutions and gases]. Leningrad: Khimiya, 1983. 293 p.

15. Nikoladze G.I. Podgotovka vody dlya pitevogo i promyshlennogo vodosnabzheniya [Preparation of water for drinking and industrial water supply]. Moscow: Vysshaya shkola, 1984. 368 p.

Получено 3.05.2015

**Yu. Bolotova, K. Karelina, S. Novikov**

**PROVIDING THE MINIMUM EXPENSES  
OF REAGENTS, VOLUME AND COST OF THE EQUIPMENT  
AND IONITES WHEN SOFTENING WATER**

The article focuses on the efficient use of resources in the process of water softening in manufacturing. The article describes the essence of ion exchange, as well as the structure of ion exchangers and their ability to exchange ions. The principle of operation of ion exchange filters, the advantages and disadvantages of the method of ion exchange. A review of methods and techniques for saving and efficient use of resources. The detailed review of the technology of countercurrent regeneration filters, compared to once-through. The paper pre-presented results of comparative tests of the filter regeneration process ram and counter the example test setup. The necessity of application of new technologies in the field of water softening, with a view to resource conservation.

**Keywords:** water softening, ionic exchange, resource-saving, preservation of water resources, energy saving.

***Болотова Юлия Владимировна (Пермь, Россия) – студентка, кафедра теплогазоснабжения, вентиляции и водоснабжения, водоотведения, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: BWJulia@mail.ru).***

***Карелина Кристина Александровна (Пермь, Россия) – студентка, кафедра теплогазоснабжения, вентиляции и водоснабжения, водоотведения, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: Karelina\_Kristina93@mail.ru).***

**Новиков Сергей Васильевич** (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и водоснабжения, водоотведения, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: [vvstf@pstu.ru](mailto:vvstf@pstu.ru)).

**Bolotova Yuliya** (Perm, Russian Federation) – Student, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: [BWJyulia@mail.ru](mailto:BWJyulia@mail.ru)).

**Karelina Kristina** (Perm, Russian Federation) – Student, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: [Karelina\\_Kristina93@mail.ru](mailto:Karelina_Kristina93@mail.ru)).

**Novikov Sergey** (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate professor, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: [vvstf@pstu.ru](mailto:vvstf@pstu.ru)).