

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ЭНИН

\_\_\_\_\_ В.М. Завьялов  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

## **УМЯГЧЕНИЕ ВОДЫ МЕТОДОМ ИОННОГО ОБМЕНА**

Методические указания для выполнения лабораторных работ по дисциплинам «Технология подготовки воды», «Водоподготовка», «Обработка воды на АЭС», для студентов IV курса, обучающихся по направлениям 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 13.03.03 «Энергетическое машиностроение» и 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

*Составители* **В.И. Николаева, К.В. Буваков, Долгих А.Ю.**

Издательство  
Томского политехнического университета  
2016

УДК 628.161(075.8)  
ББК 38.761.2я73  
У57

У57 Умягчение воды методом ионного обмена : методические указания для выполнения лабораторных работ по дисциплинам «Технология подготовки воды», «Водоподготовка», «Обработка воды на АЭС», для студентов IV курса, обучающихся по направлениям 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 13.03.03 «Энергетическое машиностроение» и 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг. / сост.: В.И. Николаева, К.В. Буваков, А.Ю. Долгих; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 21 с.

УДК 628.161(075.8)  
ББК 38.761.2я73

Методические указания рассмотрены и рекомендованы  
к изданию методическим семинаром кафедры  
парогенераторостроения и парогенераторных установок ЭНИН  
«25» мая 2016 г.

Зав. кафедрой ПГС и ПГУ  
доктор технических наук,  
профессор

\_\_\_\_\_ *А.С. Заворин*

Председатель  
учебно-методической комиссии

\_\_\_\_\_ *Б.Е. Кадлубович*

*Рецензент*  
Кандидат технических наук  
заведующий кафедрой АТЭС ЭНИН ТПУ  
*А.С. Матвеев*

© Составление. ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2016  
© Николаева В.И., Буваков К.В., Долгих А.Ю. составление, 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение. Общие сведения .....	4
1. Оборудование и реактивы.....	8
2. Порядок выполнения работы.....	10
2.1. Взрыхление катионита .....	10
2.2. Регенерация катионита.....	10
2.3. Отмывка ионитового материала.....	12
2.4. Умягчение жесткой воды.....	12
2.5. Определение жесткости .....	14
2.6. Определение кислотности.....	15
2.7. Определение щелочности .....	15
Вопросы для самоконтроля .....	16
Порядок проведения испытаний и составление отчета.....	18
Список литературы.....	19
Приложение А. Образец титульного листа отчета по лабораторной работе.....	20

## Введение. Общие сведения

Содержание в природных водах примесей различной степени дисперсности вызывает необходимость ее очистки в несколько стадий. На стадии предварительной очистки удаляются грубодисперсные и коллоидные примеси, но этого недостаточно при подготовке воды, потребляемой в качестве добавочной для котлов и подпиточной для тепловых сетей, поскольку основная часть примесей находится в виде ионнодисперсных примесей. Ионнодисперсные примеси (растворенные в воде кислоты, соли, основания), распределенные в воде в виде отдельных ионов, молекул, практически полностью удаляются с помощью ионообменной технологии. Обработка воды методом ионного обмена находит широкое применение в тепловой и атомной энергетике при подготовке питательной воды котлов и тепловых сетей, теплоносителя I и II контура, а также для очистки сточных вод [1, 2].

Сущность обработки воды методами ионного обмена основана на пропуске предварительно обработанной воды через фильтрующий слой ионообменного материала – ионита, практически нерастворимого в воде, но способного вступать в ионный обмен с содержащимися в обрабатываемой воде ионами.

Иониты представляют собой нерастворимые в воде высокомолекулярные вещества, которые благодаря наличию в них специальных функциональных групп способны к реакциям ионного обмена. Иониты способны поглощать из воды как положительные так и отрицательные ионы в обмен на эквивалентные количества других ионов, содержащихся в ионите, и имеющих заряд такого же знака. По знаку заряда обмениваемых ионов иониты разделяются на положительные катиониты и отрицательные аниониты. Катиониты извлекают из воды катионы, этот процесс называется катионированием, аниониты извлекают анионы и этот процесс называется анионированием [3].

Условно катиониты обозначаются  $K^+R$ , а аниониты  $R^+A^-$ , где  $K^+$  и  $A^-$  – обменные ионы ионита;  $R$  – сложная высокомолекулярная нерастворимая в воде структура ионита.

В энергетике для обработки вод применяются катиониты с обменными катионами натрия ( $NaR$ ), калия ( $KR$ ), водорода ( $HR$ ), лития ( $LiR$ ), аммония ( $NH_4R$ ) и аниониты с обменным анионом хлора ( $RCl$ ) и обменным гидроксидом ( $ROH$ ) [3].

По своей химической природе все катиониты являются кислотами, все аниониты – основаниями. В зависимости от состава функционально активных групп катиониты подразделяют на сильно-, средне-, и слабокислотные, соответственно аниониты – на сильно-, средне-, и слабоос-

новные. По своим технологическим свойствам (фракционному составу, насыпной массе и обменной емкости) они имеют существенные различия. Сильнокислотные катиониты вступают в ионный обмен при любом значении pH. Слабокислотные катиониты работают только в щелочной среде при  $\text{pH} > 7$ . В водоподготовительных установках (ВПУ) энергетических объектов применяются катиониты следующих марок: сульфуголь (наиболее дешевый), катионит КУ-2 (катионит универсальный, термостойкий), КУ-2-8, реже КУ-1 [1, 2].

Сильноосновные анионы способны извлекать из воды анионы как сильных ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ), так и слабых ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{HSiO}_3^-$ ) кислот в широкой области значений pH, к ним относятся аниониты марки АН-18, АН-31 и другие.

Слабоосновные аниониты работоспособны только в кислой среде, при  $\text{pH} < 7$  и поглощают из воды только анионы сильных кислот  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , к ним относятся аниониты марки АВ-17, АВ-23 и другие.

Эффективность и экономичность ионообменных технологий определяется качеством ионитов, характеризующихся рядом физических и химических свойств. Одним из важнейших свойств ионитов является обменная ёмкость. На практике различают полную и рабочую обменные ёмкости. Полная обменная ёмкость ионита, выраженная в грамм-эквивалентах на единицу объема ионита, определяется количеством ионов, которые могут быть поглощены ионитом при полной замене всех обменных ионов. Рабочая обменная емкость характеризуется количеством ионов, поглощенных ионитом, до начала «проскока» в фильтрат поглощаемых ионов. Рабочая обменная емкость ионита выражается в грамм-эквивалентах ионов, поглощенных  $1 \text{ м}^3$  набухшего ионита (г-экв/ $\text{м}^3$ ).

Рабочая обменная емкость ионита зависит от концентрации и вида улавливаемых из воды ионов, значения pH, от высоты слоя ионита, скорости фильтрования, времени отключения ионитного фильтра на регенерацию, удельного расхода регенерационного раствора и других факторов.

Значения полной и рабочей обменных емкостей некоторых катионитов, наиболее часто используемых в схемах ВПУ, приведены в таблице 1.

Соотношение между полной и рабочей обменными емкостями можно изобразить графическими с помощью выходной кривой ионитного фильтра (см. рис. 1).

Таблица 1

Значения полной и рабочей обменной емкостей ( $E$ ) катионита

Катионит	При Н-катионировании		При Na-катионировании	
	$E$ полная	$E$ рабочая	$E$ полная	$E$ рабочая
Сульфуголь	500	250	550	400
Ку-2-8	1700	800	1700	800
КБ-4		1300		1500
Амберлайт IR-120	1800	800	1800	800

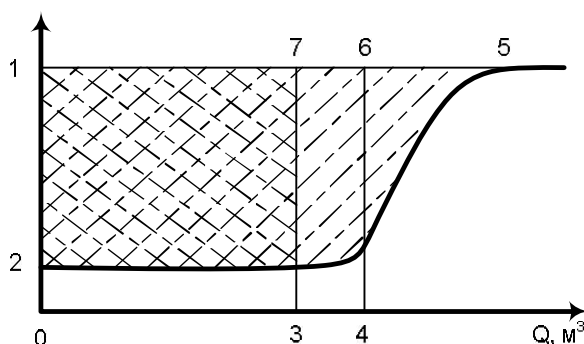


Рис. 1. Выходная кривая ионитного фильтра:

1 – исходная концентрация удаляемого иона; 2 – концентрация удаляемого иона в фильтрате; 3 – объем обработанного раствора до «проскока»; 4 – объем обработанного раствора за рабочий цикл

На рисунке 1 полное количество поглощенных фильтром ионов характеризуется моментом выравнивания концентраций поглощаемого иона, то есть площадью 1-2-3-5; количество поглощенных ионов до «проскока» – площадью прямоугольника 1-2-3-7, количество поглощенных ионов в рабочем цикле площадью фигуры 1-2-4-6. По выходной кривой можно рассчитать значение рабочей обменной емкости ионита  $E_p$ , г-экв/м<sup>3</sup>, загруженного в фильтр с известными характеристиками фильтра ( $S$  – площадь сечения, м<sup>2</sup>;  $h$  – высота слоя ионита, м):

$$E_p = \frac{(J_{и} - J_{ум}) \cdot Q_1}{V}, \text{ г-экв/м}^3, \quad (1)$$

где  $Q_1$  – количество воды, пропущенной через фильтр до «проскока» катионов жесткости, м<sup>3</sup>;  $J_{и}$  – жесткость исходной воды, г-экв/м<sup>3</sup>;  $J_{ум}$  – жесткость умягченной воды, г-экв/м<sup>3</sup>;  $V$  – объем фильтра, м<sup>3</sup>.

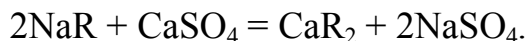
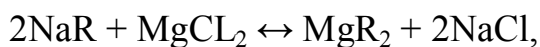
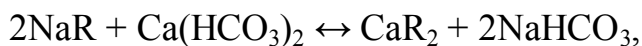
Полная обменная емкость катионита рассчитывается по формуле:

$$E_{п} = E_p + \frac{(J_{и} - J_{ум}) \cdot (Q - Q_1)}{2V}, \text{ г-экв/м}^3, \quad (2)$$

где  $Q$  – количество воды, пропущенной через фильтр за полный цикл работы фильтра, м<sup>3</sup>.

В данной лабораторной работе при Na-катионировании используется сульфоуголь, при H-катионировании катионит марки КУ-2-8.

При **Na-катионировании** происходит обмен катионов, находящихся в исходной воде, на ион натрия:

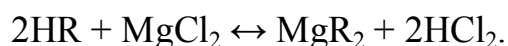
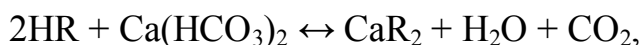


Приведенные выше реакции показывают, что при натрий-катионировании карбонатная жесткость исходной воды переходит в умягченной воде в натриевую щелочность, иными словами щелочность воды не меняется. Анионный состав обрабатываемой воды остается практически постоянным, что является основным недостатком этого процесса.

Солесодержание воды несколько повышается, так как на каждый удаленный грамм-ион кальция и магния в раствор переходит по 2 грамм-иона натрия, что также является недостатком процесса. Остаточная жесткость Na-катионированной воды снижается до 10 мкг-экв/дм<sup>3</sup>.

Процесс Na-катионирования может иметь самостоятельное значение только при подготовке воды для подпитки теплосети и добавочной воды для котлов низкого и среднего давлений при сравнительно низкой щелочности исходной воды [3].

При **H-катионировании** воды происходит обмен катионов, присутствующих в воде, на ион водорода:



В результате удаления ионов кальция и магния, как при Na-катионировании, так и при H-катионировании достигается умягчение воды, общая жесткость водород-катионированной воды снижается до 10–15 мкг-экв/дм<sup>3</sup>. Одновременно с умягчением в H-катионированной воде взамен щелочности появляется кислотность, обусловленная наличием ионов H<sup>+</sup>, поступивших в воду из катионита, так как ионы H<sup>+</sup> взаимодействуют с находящимися в воде бикарбонат-ионами, приводя к образованию угольной кислоты, поэтому щелочность при H-катионировании уменьшается:



Вследствие удаления карбонатной жесткости происходит снижение солесодержания (сухого остатка) исходной воды. Соли кальция, магния, натрия переходят в свободные кислоты и общая кислотность воды будет при этом равна сумме присутствующих в воде анионов сильных мине-

ральных кислот  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ . Н-катионированная вода является кислой и непригодной для питания паровых котлов. На ВПУ процесс Н-катионирования применяется всегда в сочетании с Na-катионированием или другими процессами. Достоинство Н-катионирования – снижение щелочности исходной воды до заданного значения.

**Целью** настоящей лабораторной работы является:

1. Проведение полного цикла процессов Н- или Na-катионитных фильтров: взрыхление, регенерация, отмывка и умягчение на каждом из указанных фильтров.

2. Определение рабочей и полной обменной емкости Н- и Na-катионита марки КУ-2-8 и сульфоугля.

Для определения обменной емкости катионита пригодна вода с жесткостью для сульфоугля – 3-5 мг-экв/дм<sup>3</sup>, для катионита КУ-2-8 с жесткостью 8-10 мг-экв/дм<sup>3</sup>.

При выполнении работы студенты выбирают один из способов катионирования и выполняют все операции на выбранной установке.

## 1. Оборудование и реактивы

Работа проводится на лабораторных установках, имитирующих устройство промышленных катионитовых фильтров. Схема установки приведена на рисунке 2.

В процессе проведения работы выполняются все технологические операции полного рабочего цикла фильтра: взрыхление катионита, его регенерация, отмывка и катионирование (умягчение) воды.

Для обеспечения эффективной работы все вышеперечисленные операции осуществляются при оптимальных значениях движения рабочей среды (регенерационный раствор, жесткая вода, дистиллированная вода).

О завершении каждой из операций судят по изменению контролируемых показателей качества фильтрата жесткости, кислотности, щелочности.

Для проведения лабораторной работы необходимы следующее оборудование и реактивы:

- оборудование:
  - установка Na- и Н-катионирования (см. рис. 2);
  - бюретки градуировочные емкостью 25 мл;
  - колбы конические мерные емкостью 250 мл;
  - стакан мерный емкостью 500 мл;
  - цилиндр мерный емкостью 25 мл;



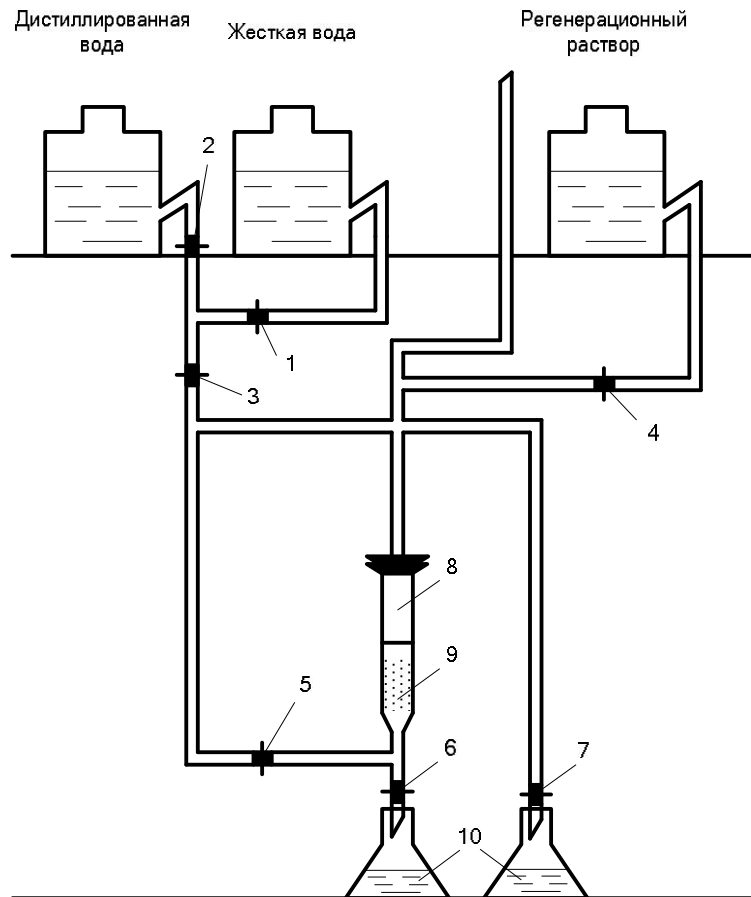


Рис. 2. Установка умягчения воды:  
1–7 – краны; 8 – фильтр; 9 – катионит; 10 – колбы

- реактивы:
  - катионит сульфуголь;
  - катионит КУ-2-8;
  - регенерационный раствор NaCl – 8%;
  - регенерационный раствор H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 1–1,5%;
  - трилон Б 0,1Н концентрации;
  - соляная кислота HCl 0,1Н концентрации;
  - едкий натрий NaOH 0,1Н концентрации;
  - аммиачно-буферный раствор;
  - индикатор эриохром черный;
  - фенолфталеин 1% раствор;
  - метилоранжевый 1% раствор;
  - азотнокислая ртуть HgNO<sub>3</sub> 0,0141% концентрации;
  - азотная кислота 0,2 Н концентрации;
  - индикатор на хлориды дифенилкарбазон.

## 2. Порядок выполнения работы

Перед началом умягчения воды необходимо определить показатели качества исходной воды:

- для Н-катионирования определить жесткость и кислотность;
- для Na-катионирования – жесткость и щелочность.

Затем последовательно провести все операции умягчения воды: взрыхление, регенерация, отмывка и умягчение.

### 2.1. Взрыхление катионита

Операция взрыхления производится с целью устранения уплотнения слоя катионита для обеспечения свободного доступа регенерационного раствора к зернам катионита. Кроме того, при взрыхлении происходит удаление мелких частиц, образующихся при истирании катионита и частиц, привнесенных в фильтр недостаточно осветленной водой и регенерационным раствором.

Взрыхление катионита осуществляется жесткой водой снизу вверх с определенной интенсивностью. Интенсивность взрыхления должна обеспечивать приведение во взвешенное состояние всей массы ионитового материала. Длительность операции взрыхления составляет 12–15 мин.

#### 2.1.1 Порядок проведения

- 1) Открыть полностью краны 1, 3, 5 (см. рис. 2).
- 2) Подставить под кран 7 колбу 10 и, медленно открывая кран 7, увеличить скорость подачи воды таким образом, чтобы весь объем катионита (9) пришел во взвешенное состояние. При этом наблюдают за положением верхнего слоя катионита, он должен быть на 15–20 мм ниже верхней границы фильтра (8), чтобы исключить вынос катионита. В противном случае немного прикрывают кран 7.
- 3) Взрыхление продолжают около 10 минут.
- 4) После окончания взрыхления закрывают краны 1, 3, 5.
- 5) Открыть краны 6 и 7 для слива взрыхляющей воды.

### 2.2 Регенерация катионита

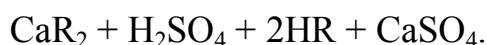
Регенерация катионита проводится с целью восстановления его обменной способности. Оптимальная скорость движения регенерационного раствора должна составлять 10–15 м/ч и устанавливается по времени наполнения пробирки 20 мл, которое находится расчетным путем:

$$t = \frac{3600 \cdot Q}{f \cdot V}, \text{ ч}, \quad (3)$$

где  $Q$  – количество собранной воды,  $2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ ;  $f$  – площадь сечения фильтра,  $\text{м}^2$ ;  $V$  – скорость регенерации, 10–15 м/ч.

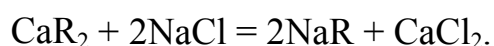
При регенерации **Н-катионитового** фильтра раствор серной кислоты с концентрацией 1–1,5% подается со скоростью не менее 10 м/ч. При большей концентрации серной кислоты и меньшей скорости возникает опасность обрастания зерен Н-катионита отложениями сульфата кальция (загипсование) из-за его малой растворимости, следствием этого является потеря катионитом ионообменной способности.

В процессе регенерации катионы водорода регенерационного раствора будут поглощаться катионитом, а взамен в раствор будут поступать катионы жесткости:



В результате чего в начале регенерации жесткость регенерационного раствора на стоке будет максимальной, а кислотность минимальной, в конце регенерации они будут равны жесткости и кислотности регенерационного раствора.

Для регенерации **Na-катионита** следует применять 6–10% раствор поваренной соли NaCl. В процессе регенерации катионы натрия будут поглощаться катионитом, а взамен в раствор будут поступать катионы жесткости:



Катионит отрегенирован, когда жесткость на входе и на выходе из фильтра будут равны, т. е. равны жесткости регенерационного раствора.

### 2.2.1 Порядок проведения

- 1) Рассчитать по формуле 3 время наполнения пробирки.
- 2) Открыть кран 4 (см. рис.2), все другие краны должны быть закрыты.
- 3) Подставить под кран 6 пробирку.
- 4) Медленно открыть кран 6.
- 5) Установить такую скорость движения регенерационного раствора, при которой наполнение пробирки объемом 20 мл будет происходить за расчетное время.
- 6) Регенерация считается законченной, когда кислотность фильтрата будет равна кислотности регенерационного раствора ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) для Н-катионита. Для Na-катионита концентрация хлоридов в фильтрате будет равна концентрации хлоридов регенерационного раствора (NaCl). Время регенерации обычно составляет 20–30 минут.

## 2.3 Отмывка ионитового материала

Отмывка ионитового материала производится с целью удаления из слоя катионита продуктов регенерации и избыточного количества регенерационного раствора.

Отмывка катионита осуществляется дистиллированной или умягченной водой со скоростью 4–5 м/ч от поваренной соли при **Na-катионировании** и 9–10 м/ч от серной кислоты при **H-катионировании**. Скорость отмывки устанавливается, как и при регенерации по времени наполнения пробирки 20 мл, которое находится по расчету по формуле (3).

### 2.3.1 Порядок проведения:

- 1) Открыть полностью краны 2 и 3 (см. рис.2).
- 2) Подставить пробирку под сток и медленным открыванием крана 6 установить скорость отмывочной воды, при которой заполнение пробирки 20 мл будет происходить в течение расчетного времени.
- 3) Через 5 минут после начала отмывки отобрать 20 мл отмывочной воды и определить:

- концентрацию хлоридов Na-катионитного фильтра;
- кислотность H-катионитного фильтра.

Определения повторяют через 100 мл пропущенной через фильтр отмывочной воды (определения проводят с целью убедиться в полноте отмывки регенерирующих реагентов – NaCl и H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

4) Отмывка закончена, когда концентрация хлоридов при Na-катионировании и кислотность при H-катионировании станет равной концентрации их в дистиллированной воде, т. е. минимальными.

- 5) Отмывочная вода сбрасывается в дренаж.

## 2.4 Умягчение жесткой воды

По окончании отмывки катионита приступают к основной операции – операции умягчения жесткой воды.

Для наиболее полного использования обменной ёмкости катионита должна выдерживаться определённая скорость фильтрования, которая зависит от жесткости исходной умягченной воды (табл. 2).

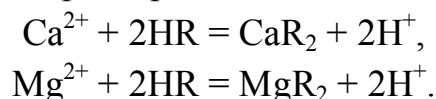
Таблица 2

*Рекомендуемые скорости фильтрования*

Жесткость воды, мг-экв/дм <sup>3</sup>	1–2	2–3	3–6	6
Скорость фильтрования, м/ч	25–30	20–15	15–10	10–5

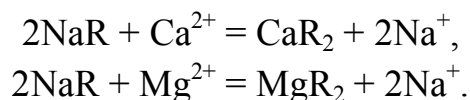
Скорость фильтрования, как и в предыдущих операциях, устанавливается по времени наполнения пробирки 20 мл, которое рассчитывается по формуле (3).

При **H-катионировании** катионы жесткости из воды поглощаются катионитом, а взамен в воду поступают катионы водорода, обуславливающие кислую реакцию фильтрата:



Вследствие чего в начале процесса жесткость фильтрата будет близкой или равной нулю, а кислотность максимальной, а в конце процесса они будут равны жесткости и кислотности исходной воды.

При **Na-катионировании** воды происходит обмен катионов, находящихся в исходной воде на ион натрия, поэтому в начале процесса Na-катионирования жесткость фильтрата будет близкой или равной нулю, а в конце процесса она будет равна жесткости исходной воды, щелочность обрабатываемой воды не меняется:



#### **2.4.1 Порядок проведения процесса умягчения воды на установках H-катионирования и Na-катионирования**

При умягчении обрабатываемая вода проходит через слой катионита в направлении сверху вниз.

Перед началом умягчения определить жесткость исходной воды по п. 2.5.

- 1) По таблице 2 определить рекомендуемую скорость фильтрования по жесткости исходной воды.
- 2) Рассчитать время наполнения пробирки по формуле (3), подставив в формулу рекомендуемую скорость фильтрования.
- 3) Подставить под кран 6 пробирку и полностью открыть краны 1 и 3, затем медленным открытием крана 6 установить оптимальную скорость фильтрования по расчетному времени наполнения пробирки.
- 4) Набрать 20 мл фильтрата и отдать на анализ для определения жесткости.
- 5) Не закрывая краны набрать в пробирку следующую порцию фильтрата 20 мл и отдать на определение кислотности при H-катионировании. При Na-катионировании – определить жесткость и щелочность в отобранных по 20 мл порциях фильтрата.
- 6) Слить 100 мл фильтрата, устанавливая при этом оптимальную скорость, если её не удалось установить за два первых отбора.
- 7) Не закрывая краны, опять отобрать по 20 мл фильтрата на определение жесткости и кислотности H-катионированной и жесткости и щелочности Na-катионированной воды соответственно.

8) Каждый последующий отбор проводить через 100 мл. Умягчение продолжать до полного истощения катионита.

9) Закрывать краны 1, 3, 6.

### 2.4.2 Обработка результатов

Результаты анализов заносят в таблицу 3.

Таблица 3

*Изменение показателей качества воды в процессе катионирования*

Показатели качества, г-экв/дм <sup>3</sup>	Расход воды, дм <sup>3</sup> ·10 <sup>-3</sup>													
	40	140	280	420	560	700	840	980	1120	1260	1400	1540	1700	1840
	Н-катионирование													
Жесткость														
Кислотность														
	Na-катионирование													
Жесткость														
Щелочность														

Вычисляют рабочую и полную обменную ёмкость Н- или Na-катионитовых фильтров, результаты заносят в табл. 3.

Таблица 4

*Обменные ёмкости катионитов*

Наименование катионита	Значение обменной ёмкости, г-экв/м <sup>3</sup>			
	E <sub>р</sub>	E <sub>р</sub> пасп.	E <sub>п</sub>	E <sub>п</sub> пасп.
КУ-2-8 Сульфоуголь				

На основе сравнения вычисленных E<sub>р</sub> и E<sub>п</sub> с паспортными значениями E<sub>р</sub> и E<sub>п</sub> для каждого катионита делают вывод о качестве выполненной работы.

## 2.5 Определение жесткости

Для определения общей жесткости используется комплексометрический метод [4], основанный на образовании ионами Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> прочных внутрикомплексных соединений с трилоном Б и индикатором эриохром черный.

### 2.5.1 Проведение анализа

1) 20 мл анализируемой пробы вылить в мерную колбу и довести до 100 мл дистиллированной водой.

2) Из бюретки добавить 5 мл аммиачно-буферной смеси, раствор приобретет вишневую окраску.

3) Добавить 1 ложечку сухого индикатора эриохрома черного, тщательно перемешать.

4) В полученный раствор прибавляют каплям (титруют) 0,1 Н раствор трилона Б до перехода вишневой окраски в синюю. Титрование проводят при постоянном перемешивании раствора.

Жесткость рассчитывается по формуле:

$$Ж_0 = \frac{a \cdot Н \cdot 1000}{V} = 5 \cdot a, \text{ мг-экв/дм}^3,$$

где  $a$  – расход трилона Б, пошедшего на титрование пробы, мл;  $Н$  – нормальность раствора трилона Б, 0,1;  $V$  – объем анализируемой пробы, 20 мл.

## 2.6 Определение кислотности

Кислотность воды определяют методом нейтрализации [4], титруют раствором сильного основания в присутствии индикатора фенолфталеина.

### 2.6.1 Проведение анализа

1) 20 мл анализируемой пробы выливают в мерную колбу и доводят до 100 мл дистиллированной водой.

2) К полученному объему добавляют 2-3 капли фенолфталеина.

3) В раствор, при постоянном помешивании, прибавляют по каплям раствор щелочи NaOH 0,1 Н концентрации до появления слабозимой окраски, не исчезающей в течение 1–2 мин.

Кислотность рассчитывают по формуле:

$$К = \frac{a \cdot Н \cdot 1000}{V} = 5 \cdot a, \text{ мг-экв/дм}^3,$$

где  $a$  – расход раствора щелочи, пошедшей на титрование, мл;  $Н$  – нормальность раствора щелочи, 0,1;  $V$  – объем анализируемой пробы, 20 мл.

## 2.7 Определение щелочности

Сущность метода определения щелочности состоит в нейтрализации щелочных компонентов соляной кислотой в присутствии индикаторов фенолфталеина и метилоранжа [4].

### 2.7.1 Проведение анализа

1) Для определения щелочности 20 мл анализируемой пробы выливают в колбу и доводят до 100 мл дистиллированной водой.

2) К полученному объему добавляют 2–3 капли фенолфталеина, раствор окрасится в розовый цвет.

3) Раствор титруют 0,1 N раствором соляной кислоты до обесцвечивания, отмечают расход кислоты на титрование.

4) В тот же раствор добавляют 2 капли метилоранжа, раствор окрасится в желтый цвет.

5) Затем в раствор при постоянном перемешивании по каплям добавляют тот же раствор соляной кислоты HCl до перехода окраски в оранжевую. Замечают общий расход кислоты на титрование.

Величину общей щелочности вычисляют по формуле:

$$\text{Щ}_0 = \frac{N \cdot Q \cdot 1000}{V} = 5 \cdot a, \text{ мг-экв/дм}^3,$$

где N – нормальность кислоты, 0,1; a – расход кислоты, пошедшей на титрование; V – объем пробы, взятой для анализа, 20 мл.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Какие примеси удаляются при умягчении воды?
- 2) Какие методы применяются для умягчения воды?
- 3) В чем заключается сущность ионного обмена?
- 4) Назвать и кратко пояснить основные правила, которым подчиняется реакция ионного обмена.
- 5) Перечислить и кратко охарактеризовать технологические характеристики ионитов.
- 6) Что такое рабочая, полная обменная емкость ионитов, от каких факторов она зависит?
- 7) Что такое регенерация фильтров? Перечислить основные операции регенерации.
- 8) Какие реагенты могут быть использованы для регенерации Na и H-катионитных фильтров кроме H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и NaCl?
- 9) Как влияет на процесс Na-катионирования присутствие в воде растворенной углекислоты?
- 10) Как изменяется солесодержание воды при Na-катионировании и при H-катионировании?
- 11) Напишите ряды селективности для типичных катионов и анионов природных вод при их участии в ионообменных реакциях.
- 12) Назвать преимущества и недостатки процесса Na-катионирования.
- 13) Напишите уравнения регенерации для Na-катионитного фильтра, для H-катионитного фильтра.
- 14) Можно ли на одной и той же установке умягчения перейти от Na-катионирования к H-катионированию и наоборот?



- 15) Нарисуйте выходную кривую Н-катионитного фильтра и поясните ее характерные особенности.
- 16) Какие параметры ионообменной технологии можно получить с помощью выходной кривой ионитного фильтра?
- 17) Какие показатели качества воды меняются при Н- и Na-катионировании?
- 18) Назвать и кратко пояснить способы регенерации ионитов, привести схемы.
- 19) Написать реакции умягчения при Н-катионировании, почему эта технология применяется совместно с другими процессами ионирования?
- 20) Назовите преимущества и недостатки процесса Na-катионирования при его организации в одну и две ступени.
- 21) С какой целью проводится анионирование воды? В каких схемах используют слабоосновной анионит, сильноосновной?
- 22) Написать реакции регенерации анионитных фильтров. Назвать и кратко пояснить основные операции эксплуатации анионитных фильтров.
- 23) Почему перед сильноосновным анионитом в схему включается декарбонизатор?
- 24) Какие способы борьбы используют с «загипсованием» катионита?
- 25) Напишите уравнения регенерации для Н-катионитного фильтра.
- 26) Почему после обработки воды фильтрат кислый? Напишите уравнения реакций.
- 27) По какому показателю качества воды определяют, что рабочий цикл Н-катионитового фильтра закончен?
- 28) Почему в схемах обессоливания воды первой ступени является Н-катионирование, второй – ОН-анионирование, а не наоборот?
- 29) Почему нельзя подавать Н-катионированную воду на ОН-анионитный фильтр после проскока катиона  $\text{Na}^+$ ?
- 30) От каких показателей зависит рабочая обменная емкость ионита?

## Порядок проведения испытаний и составление отчета

Все студенты обязаны ознакомиться с правилами безопасности при работе с химическими веществами (внутренняя инструкция №14.13-114) и строго их выполнять.

Прежде чем приступить к работе, студенты обязаны ознакомиться с ее содержанием, изучить теоретический материал, выяснить цели и задачи работы, подготовить таблицы для записей результатов измерений, ознакомиться с оборудованием.

Перед началом работы преподаватель проводит предварительную беседу со студентами, по результатам которой студенты допускаются к работе.

Студенты, не подготовившиеся к занятию, к работе не допускаются.

Для выполнения работы студенты делятся на группы по 2–3 человека и выбирают один из способов катионирования.

В ходе лабораторной работы необходимо соблюдение всех рекомендаций по ее выполнению. Результаты опытов предоставляются преподавателю для предварительного согласования.

После выполнения всех экспериментов и обработки их результатов, проводится оформление отчета согласно [5].

Отчет должен содержать:

– Титульный лист (Приложение А);

*Примечания: 1. Наименование Института/Направления/Кафедры печатаются строчными буквами кроме первой прописной.*

*2. Наименование лабораторной работы печатается прописными буквами.*

*3. В расшифровке подписи инициалы располагаются перед фамилией.*

– Введение;

– Цель и задачу работы;

– Краткое описание методик проведения экспериментов;

– Формулы и расчеты;

– Таблицы с основными данными и результаты анализов;

– Выводы на основании полученных результатов;

– Список использованных источников.

## Список литературы

1. Копылов А.С., Лавыгин В.М. Водоподготовка в энергетике. – М.: МЭИ, 2003. – 306 с.
2. Стерман Л.С., Покровский В.Н. Химические и термические методы обработки воды на ТЭС. – М.: Энергия, 1991. – 232 с.
3. Кострикин Ю.М., Мещерский М.А. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления. – М.: Энергия, 1990. – 251 с.
4. РТМ 24.030.24-72 Котлы паровые низкого и среднего давления. Организация и методы химического контроля за водно-химическим режимом. – М.: Министерство тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения, 1973. – 43 с.
5. Система образовательных стандартов. Занятия лабораторные. Общие требования к организации и проведению. СТО ТПУ 2.3.05-2006 / Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 15 с.

**Приложение А.**  
**Образец титульного листа отчета по лабораторной работе**

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт \_\_\_\_\_  
Направление подготовки \_\_\_\_\_  
Кафедра \_\_\_\_\_

**НАИМЕНОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

Отчет по лабораторной работе № \_\_\_\_\_  
по дисциплине « \_\_\_\_\_ »  
(Наименование учебной дисциплины)

Вариант № \_\_\_\_\_

Выполнил студент гр. \_\_\_\_\_      \_\_\_\_\_      \_\_\_\_\_      И.О. Фамилия  
(Подпись)      (Дата)

Проверил \_\_\_\_\_      \_\_\_\_\_      \_\_\_\_\_      И.О. Фамилия  
(Должность)      (Подпись)      (Дата)

Томск – 201\_

Учебное издание

## УМЯГЧЕНИЕ ВОДЫ МЕТОДОМ ИОННОГО ОБМЕНА

Методические указания для выполнения лабораторных работ по дисциплинам «Технология подготовки воды», «Водоподготовка», «Обработка воды на АЭС», для студентов IV курса, обучающихся по направлениям 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 13.03.03 «Энергетическое машиностроение» и 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

*Составители*

НИКОЛАЕВА Валентина Ивановна  
БУВАКОВ Константин Владимирович  
ДОЛГИХ Александр Юрьевич


**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии  
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 08.06.2016. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл. печ. л. 1,22. Уч.-изд. л. 1,29.  
Заказ 1127-16. Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Издательства Томского политехнического университета  
сертифицирована в соответствии с требованиями ISO 9001:2008



**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, [www.tpu.ru](http://www.tpu.ru)