

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

УТВЕРЖДАЮ:

Проектор-директор ЭНИН

\_\_\_\_\_ Ю.С. Боровиков

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2012г.

## **ЧАСТИЧНОЕ ОБЕССОЛИВАНИЕ ВОДЫ**

Методические указания к выполнению лабораторной работы  
для студентов III–IV курсов и магистрантов, обучающихся по направлениям  
141100 «Энергетическое машиностроение»,  
140100 «Теплоэнергетика и теплотехника»

*Составители* **В.И. Николаева, К.В. Буваков**

Издательство

Томского политехнического университета

2012

УДК 621.182.12(076.5)

ББК 31.361я73

Ч-25

Ч-25      **Частичное обессоливание воды:** методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов III–IV курсов и магистрантов, обучающихся по направлениям 141100 «Энергетическое машиностроение», 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника». / сост. В.И. Николаева, К.В. Буваков; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 16 с.

УДК 621.182.12(076.5)

ББК 31.361я73

Методические указания рассмотрены и рекомендованы  
к изданию методическим семинаром кафедры  
парогенераторостроения и парогенераторных установок ЭНИН  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2012 г.

Зав. кафедрой ПГС и ПГУ

доктор техн. наук,

профессор

\_\_\_\_\_ *А.С. Заворин*

Председатель

учебно-методической комиссии

\_\_\_\_\_ *Н.М. Космынина*

*Рецензент*

Кандидат технических наук  
доцент кафедры АТЭС ЭНИН

*Л.А. Беляев*

© Составление. ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2012

© Николаева В.И., Буваков КВ., составление, 2012

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| Общие сведения .....   | 4  |
| 1 Методика проведения работы .....                                 | 8  |
| 2 Порядок проведения эксперимента .....                            | 9  |
| 2.1 Определение жесткости.....                                     | 10 |
| 2.2 Определение кислотности .....                                  | 10 |
| 2.3 Определение щелочности.....                                    | 11 |
| 2.4 Определение сульфатов.....                                     | 12 |
| 2.5 Определение хлоридов .....                                     | 12 |
| 3 Обработка результатов и составление отчета.....                  | 13 |
| 4 Контрольные вопросы .....  | 13 |
| Список литературы .....  | 14 |
| Приложение А. Образец титульного листа по лабораторной работе..... | 15 |

## Общие сведения

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы «Частичное обессоливание воды» по дисциплине «Водоподготовка» для студентов III-IV курсов, обучающихся по направлениям 141100 «Энергетическое машиностроение» и 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника» и по дисциплине «Водные режимы ТЭС» для магистрантов, обучающихся по направлению 141100 «Энергетическое машиностроение».

Содержание в природных водах примесей различной степени дисперсности вызывает необходимость очистки ее в несколько стадий. На первом этапе, стадии предочистки, удаляются грубодисперсные и коллоидные примеси, но предварительная очистка недостаточна при подготовке воды, потребляемой в качестве добавочной для котлов и подпиточной для тепловых сетей. Основная часть примесей, находящихся в воде в виде ионнодисперсных примесей, удаляется с помощью ионообменной технологии.

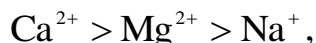
Обработка воды методами ионного обмена основана на способности некоторых практически нерастворимых в воде веществ, называемых ионообменными материалами или ионитами, изменять в желаемом направлении ионный состав воды. Другими словами, иониты способны поглощать из воды положительные или отрицательные ионы в обмен на эквивалентные количества других ионов, содержащихся в ионите и имеющих заряд такого же знака.

По знаку заряда обменивающихся 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.

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

По своей химической природе все катиониты являются кислотами, все аниониты – основаниями. Катиониты делятся на сильнокислотные, содержащие активные сульфо-группы ( $SO_3H$ ) и слабокислотные, содержащие в основном карбоксильные группы ( $COOH$ ). Сильнокислотные катиониты способны к обмену катионов при любом значении  $pH$ . Слабокислотные катиониты работают только в щелочной среде при  $pH > 7$ . Не все катионы извлекаются из растворов катионитами с одинаковой

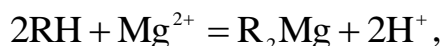
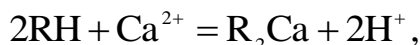
интенсивностью. Для катионитов справедливым является следующий ряд катионов:



в котором каждый предыдущий катион извлекается из воды катионитом более интенсивно и в большем количестве, чем последующий. С другой стороны каждый последующий катион вытесняется из катионита предыдущим катионом.

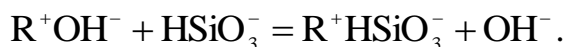
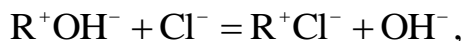
В водоподготовительных установках энергетических объектов применяются катиониты следующих марок: сульфуголь (наиболее дешевый), катиониты КУ-2, КУ-2-8 (обладающие более высокой обменной емкостью и механической прочностью, а также термостойкостью).

В практике водоподготовки основными обменными катионами являются натрий и водород. Обработка воды методом Н-катионирования предназначается для удаления всех катионов из воды с заменой их на ионы водорода. Вода после обработки содержит избыток ионов водорода и, вследствие этого, имеет кислую реакцию:



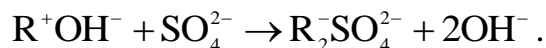
поэтому этот процесс применяют только совместно с другими процессами ионирования. Так при частичном обессоливании воды, Н-катионирование проводится совместно с процессом анионирования.

Аниониты подразделяются в зависимости от состава функционально активных групп на сильно- и слабоосновные. Сильноосновные аниониты 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:



Сильноосновные аниониты значительно дороже слабоосновных, поэтому их применяют для поглощения кремниевой кислоты в установках для полного химического обессоливания и обескремнивания воды. К сильноосновным анионитам относятся аниониты марки АВ-17, АВ-23 и др.

Слабоосновные аниониты способны обменивать свои активные обменные анионы только на анионы сильных кислот ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ), для удаления которых они и применяются:



Аниониты подобно катионитам характеризуются неодинаковой способностью к поглощению различных анионов, для большинства анионитов является соотношение:



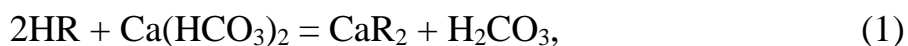
показывающее, что предыдущий анион поглощается более активно и в большем количестве, чем последующий.

Марки слабоосновных анионитов – АН-18, АН-31 и др.

При использовании последовательного комбинирования процессов Н-катионирования и ОН-катионирования происходит удаление из воды, как анионов, так и катионов, т. е. осуществляется химическое (ионитное) обессоливание воды, которое является одним из наиболее эффективных способов глубокого снижения солесодержания и кремнесодержания воды. При использовании сильноосновного ионита с целью увеличения кремнеемкости анионита перед поступлением Н-катионированной воды на слой сильноосновного анионита в схему включается декарбонизатор. Его место в схеме обеспечивает наиболее глубокое удаление углекислоты из Н-катионированной воды. Технологический процесс ионитного обессоливания может складываться из нескольких ступеней ионирования воды. В зависимости от требований, предъявляемых к качеству обработанной воды, и состава примесей исходной воды, число ступеней ионирования может быть различным.

В данной лабораторной работе студенты знакомятся с процессом обессоливания по упрощенной схеме, имеющей всего 2 ступени ионирования. Такую схему, называемую схемой частичного обессоливания, применяют для подготовки добавочной воды барабанных котлов давлением 80 атмосфер, когда необходимо снизить солесодержание и щелочность обрабатываемой воды и, если не требуется одновременное удаление кремниевой кислоты. В этой установке исходную воду сначала пропускают через слой сильноокислотного Н-катионита, а затем через слой низкоосновного ОН-анионита.

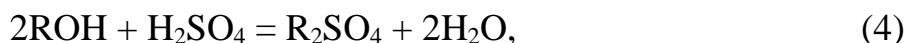
В слое катионита катионы, содержащиеся в растворе, замещаются ионами водорода, при этом протекают следующие реакции:



в результате удаления ионов кальция и магния достигается умягчение воды и снижение щелочности, выделившиеся катионы водорода с присутствующими в растворе сульфатами, хлоридами, нитратами преобра-

зуются в минеральные кислоты, вследствие чего катионированная вода является кислой, не пригодной для питания котлов. Поэтому для получения частично обессоленной воды, процесс Н-катионирования сочетают с анионированием, что дает возможность нейтрализовать кислотность.

При последующем фильтровании воды через ОН-анионитные фильтры анионы, содержащиеся в Н-катионированной воде ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) обмениваются на ионы  $\text{OH}^-$ , содержащиеся в анионите:

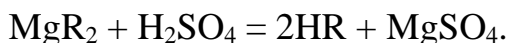
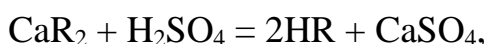


Ионы гидроксила  $\text{OH}^-$ , переходящие из анионита в раствор, связываются с ионами  $\text{H}^+$ , присутствующими в Н-катионированной воде, образуя молекулы воды.

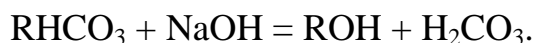
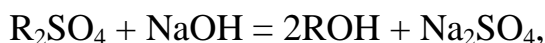
Таким образом, при последовательном процессе обрабатываемой воды через Н-катионитный и ОН-анионитный фильтры в результате удаления катионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  и анионов  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  получают обессоленную воду с солесодержанием порядка 2–5 мг/л.

С целью восстановления обменной способности ионитов проводится регенерация.

В качестве регенерационного раствора для Н-катионитного фильтра используют серную кислоту ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 1–1,5 % концентрации. Процесс регенерации характеризуется следующими уравнениями:



Регенерация анионитных фильтров производится 4 %-ным раствором  $\text{NaOH}$ , при этом происходят следующие реакции обмена:



Схему частичного обессоливания воды целесообразно применять при высоком общем солесодержании исходной воды – до 1500–2000 мг/л.

### **Цель и задача работы**

Основной *задачей* лабораторной работы является изучение технологической схемы частичного обессоливания воды.

*Целью* лабораторной работы является оценка эффективности работы каждой из ступеней и схемы в целом частичного обессоливания воды. Оценка проводится путем сравнения качества исходной, Н-катионированной, декарбонизированной и ОН-анионированной (обессоленной) воды.

## 1 Методика проведения работы

Перед началом работы следует определить жесткость, щелочность, кислотность, содержание хлоридов ( $\text{Cl}^-$ ) в исходной воде.

Частичное обессоливание проводится на лабораторном стенде (рис. 1), состоящем из Н-катионитного фильтра, декарбонизатора и ОН-анионитного фильтра.

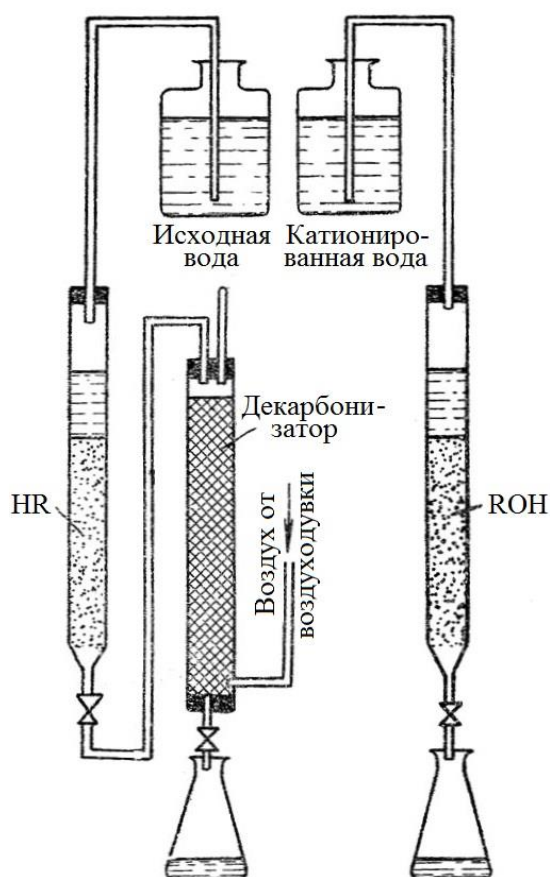


Рис. 1. Схема установки частичного обессоливания воды

Н-катионитный фильтр загружен сильнокислотным катионитом (КУ-2-8). ОН-анионитный фильтр загружен низкоосновным анионитом (АН-18). Декарбонизатор служит для удаления углекислого газа из воды. Ионитные фильтры заранее отрегенерированы и отмыты.

Прежде чем приступить к выполнению работы необходимо установить скорость фильтрования воды через Н-катионитный и ОН-анионитный фильтры.

Скорость фильтрования воды через Н-катионитный фильтр должна быть 10–15 м/ч, а ОН-анионитного фильтра – 10 м/ч. Для установления скорости фильтрования проводят наполнение пробирки объемом 20 мл по времени, которое находится расчетным путем:

$$t = \frac{3600Q}{f \cdot V},$$

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

После установления скорости фильтрования приступают к работе на установке.

## 2 Порядок проведения эксперимента

1. Открыть кран 4 и подать воздух к декарбонизатору;
2. Открыть краны 1, 2, 3 и подать исходную воду на Н-катионитовый фильтр с установленной скоростью и далее на декарбонизатор;
3. Поставить стакан емкостью 250 мл под сток воды, выходящей из декарбонизатора (для сбора воды, выходящей из декарбонизатора, использовать два стакана емкостью 250 мл);
4. После наполнения первого стакана водой подставить под сток воды из декарбонизатора второй стакан;
5. Из первого стакана мерной пипеткой отобрать пробу воды объемом 20 мл;
6. Пробу воды перенести в мерную колбу емкостью 250 мл;
7. Довести объем пробы до 100 мл дистиллированной водой;
8. В полученном растворе определить кислотность.
9. Оставшуюся в стакане воду вылить в бутылку с катионированной водой (поскольку движение воды в декарбонизаторе безнапорное, поэтому после него производят сбор воды в бутылку), а затем уже из нее подают воду на анионитный фильтр.
10. После наполнения второго стакана отобрать из него мерной пипеткой пробу воды объемом 20 мл;
11. Перенести пробу воды в мерную колбу емкостью 250 мл;
12. Довести объем пробы воды до 100 мл дистиллированной водой;
13. В полученном растворе определить жесткость;
14. Оставшуюся в стакане воду сливают в бутылку с катионированной водой.

Определение кислотности и жесткости проводят в каждой из последовательно отбираемой порции воды после декарбонизатора.

Постоянная величина кислотности в отбираемых порциях воды указывает на то, что рабочий цикл Н-катионитного фильтра еще не закончен (проскок  $\text{Na}^+$  не наступил) и эти порции декарбонизированной воды сливают в бутылку, из которой вода должна поступать на ОН-анионитный фильтр.

Если величина кислотности декарбонизированной воды уменьшилась, то такую воду *нельзя* пропускать через ОН-анионитный фильтр (т. е. в Н-катионитном фильтре наступил проскок  $\text{Na}^+$ ). Подачу воды на Н-катионитный фильтр следует прекратить (закрыть краны 1, 2, 3).

15. Открыть краны 5, 6 и собранную в бутылку катионированную воду после декарбонизатора подать на ОН-анионитный фильтр со скоростью  $\approx 10$  м/ч.

16. Фильтрат после ОН-анионитного фильтра собрать в мерную колбу емкостью 500 мл.
17. В полученном фильтрате провести определение сульфатов (качественно), щелочности, определение концентрации ионов  $\text{Cl}^-$ .

### **Меры безопасности:**

Перед выполнением лабораторной работы студенты обязаны пройти инструктаж по технике безопасности. При выполнении лабораторной работы необходимо строго соблюдать все меры предосторожности.

## **2.1 Определение жесткости**

Для определения общей жесткости используется комплексонометрический метод, основанный на образовании ионами  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  прочных внутрикомплексных соединений с трилоном Б и индикатором эриохромом черным.

### **Проведение анализа:**

1. 20 мл анализируемой пробы воды вылить в мерную колбу и довести до 100 мл дистиллированной водой;
2. Добавить 1 ложечку сухого индикатора эриохрома черного, тщательно перемешать;
3. Из бюретки добавить 5 мл аммиачно-буферной смеси, раствор приобретет вишневую окраску;
4. В полученный раствор прибавляют каплями (титруют) 0,1N раствор трилона Б до перехода вишневой окраски в синюю.

Титрование проводят при постоянном перемешивании раствора.

Жесткость рассчитывается по формуле:

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

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

## **2.2 Определение кислотности**

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

### **Проведение анализа:**

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

2. К полученному раствору добавляют 2–3 капли фенолфталеина;
3. В раствор, при постоянном перемешивании, прибавляют по каплям раствор щелочи NaOH 0,1N концентрации до появления слаборозовой окраски, не исчезающей в течение 1–2 мин.

Кислотность рассчитывают по формуле:

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

где  $a$  – расход раствора щелочи NaOH, пошедшей на титрование, мл;  
 $N$  – нормальность раствора щелочи NaOH,  $N = 0,1$ ;  $V$  – объём анализируемой пробы (20 мл).

### 2.3 Определение щелочности

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

#### Проведение анализа:

1. Для определения щелочности 20 мл анализируемой пробы воды выливают в мерную колбу емкостью 250 мл и доводят до 100 мл дистиллированной водой;
2. К полученному объёму добавляют 2–3 капли фенолфталеина, раствор окрасится в розовый цвет;
3. Раствор титруют 0,1N 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:

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

где  $N$  – нормальность кислоты ( $N=0,1$ );  $a$  – расход кислоты, пошедшей на титрование;  $V$  – объём пробы, взятой для анализа (20 мл).

## 2.4 Определение сульфатов

Качественно сульфаты обнаруживают по появлению мути при добавлении к анализируемой пробе раствора хлористого бария (образование  $\text{BaSO}_4$ ).

### Проведение анализа:

1. В пробирку налить 5 мл анализируемой воды;
2. Добавить одну каплю концентрированной азотной кислоты ( $\text{HNO}_3$ );
3. Добавить 3–4 капли раствора хлористого бария.

Если через 3 минуты наблюдается образование мути, то это указывает на наличие в анализируемой пробе сульфатов.

## 2.5 Определение хлоридов

Для определения концентрации хлоридов в исходных и производственных водах используют ртутный (меркурометрический) метод. Этот метод основан на образовании при  $\text{pH} = 2,4\text{--}2,6$  весьма малорастворимой соли  $\text{HgCl}_2$  при добавлении к раствору, содержащему ионы хлорида, ионов  $\text{Hg}^{2+}$  в виде азотнокислой ртути.

Для определения концентрации хлоридов необходимы следующие реактивы:

- а) азотная кислота  $\text{HNO}_3$ , 0,5 %-й раствор;
- б) нитрат ртути  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ , 0,05Н раствор;
- в) смешанный индикатор дифенилкарбазон.

### Проведение анализа:

В коническую колбу отмеривают мерным стаканом  $100\text{ см}^3$  исследуемой воды, прибавляют 5–6 капель индикатора дифенилкарбазона и окрасившийся в синеватый или фиолетовый цвет раствор (что указывает на щелочность жидкости) нейтрализуют азотной кислотой ( $\text{HNO}_3$ )  $1,5\text{--}2,0\text{ см}^3$  до появления желтой или зеленовато-желтой окраски. Нейтрализованную пробу титруют раствором азотнокислой ртути  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ , до сине-сиреневого цвета.

Определение  $\text{Cl}^-$ -ионов в  $\text{мг/дм}^3$  проводят по формуле:

$$\text{Cl}^- = \frac{(a - b) \cdot N \cdot 1000}{V},$$

где  $a$  – объём раствора азотнокислой ртути (II)  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ , израсходованной на титрование,  $\text{см}^3$ ;  $b$  – объём раствора  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ , израсходованного на титрование контрольного опыта,  $\text{см}^3$ ;  $V$  – объём пробы, взятой для анализа,  $\text{см}^3$ ;  $N$  – нормальность раствора азотнокислой ртути  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ .

### 3 Обработка результатов и составление отчета

На основании полученных аналитических данных вычислить:

а) концентрацию ( $C$ ) сульфатов в исходной воде по разности между величиной кислотности Н-катионированной воды (представляющей сумму концентраций хлоридов  $\text{Cl}^-$  и сульфатов  $\text{SO}_4^{2-}$ ) и найденной концентрацией ионов  $\text{Cl}^-$ , выраженной в мг-экв/дм<sup>3</sup>.

б) концентрацию натрия в исходной воде, исходя из уравнения электронейтральности раствора:

$$C_{\text{Ca}^{2+}} + C_{\text{Mg}^{2+}} + C_{\text{Na}^+} = C_{\text{Cl}^-} + C_{\text{SO}_4^{2-}} + C_{\text{HCO}_3^-},$$

где сумма  $C_{\text{Ca}^{2+}} + C_{\text{Mg}^{2+}} = \text{Ж}_0$  (жесткости исходной воды); сумма  $C_{\text{Cl}^-} + C_{\text{SO}_4^{2-}} = \text{К}$  (кислотности Н-катионированной воды);  $C_{\text{HCO}_3^-} = \text{Щ}_{\text{БК}}$  (щелочность бикарбонатной исходной воды).

в) концентрацию  $\text{CO}_2$  в воде перед декарбонизатором.

Аналитические найденные и рассчитанные величины, характеризующие состав воды на различных ступенях обработки представить в виде таблицы 1.

Таблица 1. – Состав воды

| Исследуемая вода      | Ж <sub>0</sub>         | Щ <sub>0</sub> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Na <sup>+</sup> | CO <sub>2</sub> |
|-----------------------|------------------------|----------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|
|                       | мг-экв/дм <sup>3</sup> |                |                 |                               |                 | мгэкв/л         |
| Исходная              |                        |                |                 |                               |                 |                 |
| Н-катионированная     |                        |                |                 |                               |                 |                 |
| После декарбонизатора |                        |                |                 |                               |                 |                 |
| Обессоленная          |                        |                |                 |                               |                 |                 |

**Отчет по работе должен содержать:**

1. Титульный лист (см. приложение А);
2. Цель и задачи работы;
3. Краткое описание схемы частичного обессоливания воды;
4. Рабочие записи, сделанные при выполнении анализов воды с указанием методик определения;
5. Расчеты по нахождению концентраций сульфатов и натрия в исходной воде.
6. Выводы по работе.

### 4 Контрольные вопросы

1. Какие реагенты могут быть использованы для регенерации анионитных фильтров?
2. В чем отличие сильноосновных и слабоосновных анионитов?
3. Можно ли получить обессоленную воду, если срабатывать Н-катионитный фильтр до проскока жесткости?

4. Почему в схемах обессоливания воды первой ступени является Н-катионирование, второй – ОН-анионирование, а не наоборот?
5. Что такое «выходная кривая» ионитного фильтра?
6. С какой целью после Н-катионитного фильтра устанавливают декарбонизатор?
7. По какому показателю качества судят, что рабочий цикл Н-катионитного фильтра закончен?
8. Почему нельзя подавать Н-катионированную воду на ОН-анионитный фильтр после проскока  $\text{Na}^+$ ?
9. Что применяют в качестве регенерационного раствора для ОН-анионитных фильтров?
10. В чем заключается принцип работы декарбонизатора?
11. Написать уравнения регенерации для Н-катионитного фильтра.
12. Нарисовать выходную кривую Н-катионитного фильтра и пояснить ее характерные особенности.
13. Написать ряды селективности для типичных катионов и анионов природных вод.
14. Назвать преимущества и недостатки Н-катионирования.
15. Назвать основные характеристики ионообменных материалов.
16. Как влияет величина рН исходной воды на обменную емкость катионита, анионита?
17. Почему после обработки воды Н-катионированием фильтрат кислый? Написать уравнения реакций.
18. Какие показатели качества воды меняются при частичном обессоливании воды?
19. Пояснить сущность процесса анионирования, написать уравнения реакций.
20. Какой состав имеет вода после частичного химического обессоливания?

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стерман Л.С., Покровский В.Н. Химические и термические методы обработки воды на ТЭС. – М.: Энергия, 1991. – 232 с.
2. Копылов А.С. Водоподготовка в энергетике: учебное пособие для вузов / А.С. Копылов, В.М. Лавыгин, В.Ф. Очков. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 309 с.
3. Гребенюк В.Н., Мазо А.А. Обессоливание воды ионитами. – М.: Химия, 1980. – 253 с.
4. Кострикин Ю.М., Мещерский Н.А., Коровина О.В. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 253 с.

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

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Институт – \_\_\_\_\_  
Направление – \_\_\_\_\_  
Кафедра – \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Наименование лабораторной работы

Отчет по лабораторной работе № \_\_\_\_  
по курсу « \_\_\_\_\_ »  
Наименование учебной дисциплины

Вариант № \_\_\_\_

|                            |                  |               |                      |
|----------------------------|------------------|---------------|----------------------|
| Выполнил студент гр. _____ | _____<br>Подпись | _____<br>Дата | _____<br>И.О.Фамилия |
| Проверил _____             | _____<br>Подпись | _____<br>Дата | _____<br>И.О.Фамилия |
| Должность                  |                  |               |                      |

Томск – 2012

**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.

Учебное издание

## ЧАСТИЧНОЕ ОБЕССОЛИВАНИЕ ВОДЫ

Методические указания к выполнению лабораторной работы  
для студентов III–IV курсов и магистрантов, обучающихся по направлениям  
141100 «Энергетическое машиностроение»,  
140100 «Теплоэнергетика и теплотехника»

*Составители*

НИКОЛАЕВА Валентина Ивановна  
БУВАКОВ Константин Владимирович


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

Подписано к печати . Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл.печ.л. . Уч.-изд.л. .  
Заказ . Тираж экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN 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)