

**МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Вологодский политехнический институт**

**Кафедра водоснабжения и водоотведения**

**ВОДОСНАБЖЕНИЕ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

методические указания к выполнению лабораторных работ

**Часть 1. СТАБИЛИЗАЦИЯ ВОДЫ**

Факультет технической экологии водных систем

Специальность: 290800 - водоснабжение и водоотведение

**Вологда**

**1998**

УДК 628.16

Водоснабжение промышленных предприятий: Методические указания к выполнению лабораторных работ / Часть 1. Стабилизация воды. - Вологда: ВоПИ, 1998. - 28 с.

Методические указания написаны в соответствии с учебной программой курса "Водоснабжение промышленных предприятий" и содержат теоретические основы технологических процессов кондиционирования воды для промышленного водоснабжения и практические рекомендации по определению технологических свойств технической воды, а также порядок выполнения ряда лабораторных анализов и последовательность обработки полученных результатов. К каждой теме даны контрольные вопросы для самостоятельной проработки.

Методические указания предназначены для студентов 5 курса специальности 290800 очной и заочной формы обучения.

Могут быть полезными инженерно-техническим работникам при работе в химических лабораториях анализа воды и эксплуатации систем водоподготовки.

Утверждено издательско-библиотечным советом ВоПИ

Составители: Медиоланская М.М., канд.техн.наук, доцент  
Пашичева Н.Н., ст.преп.,зав.хим.лабораторией

Рецензент: Чудновский С.М., канд. техн.наук,  
профессор кафедры КиОПР ВоПИ

## О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4
<b>1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ВОДЫ</b> .....	5
<b>Лабораторная работа 1</b>	
Определение стабильности воды по отношению к бетону.....	10
<b>Лабораторная работа 2</b>	
Определение стабильности воды по отношению к металлу.....	14
<b>2. СТАБИЛИЗАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ВОДЫ</b> .....	17
<b>Лабораторная работа 3</b>	
Определение индекса стабильности воды.....	18
<b>Лабораторная работа 4</b>	
Стабилизационная обработка воды при отрицательном индексе стабильности.....	20
<b>Лабораторная работа 5</b>	
Стабилизационная обработка воды при положительном индексе стабильности.....	23
<b>Приложения</b> .....	26
<b>Литература</b> .....	28

## **ВВЕДЕНИЕ**

Целью лабораторных работ является обобщение и закрепление знаний теоретического курса "**Водоснабжение промышленных предприятий**", а также приобретение практических навыков самостоятельного определения некоторых качественных характеристик технической воды различными аналитическими методами.

Работая в химической лаборатории, необходимо постоянно помнить о технике безопасности. Почти все случаи травматизма происходят вследствие нарушения правил работы или требований техники безопасности.

Внимательная и аккуратная работа избавит работающего в лаборатории от пореза рук стеклом, ожогов горячими предметами и концентрированными кислотами и щелочами.

До начала выполнения лабораторных работ каждый студент должен пройти инструктаж по технике безопасности при работе в химической лаборатории; внимательно ознакомиться с методикой проведения лабораторной работы и получить у преподавателя допуск к ее выполнению.

После выполнения каждой лабораторной работы студент должен привести в порядок рабочее место, дать ответы на контрольные вопросы и составить отчет, содержащий следующие основные пункты:

1. Цель работы.
2. Схемы лабораторных установок или приборов.
3. Таблицы результатов анализов, измерений и вычислений.
4. Обработка результатов измерений и оценка погрешности измерений.
5. Выводы.

### **1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ВОДЫ**

#### **Общие положения**

Стабильность воды является одним из основных показателей ее качества. Обесцвеченную и осветленную на очистных сооружениях воду нельзя считать удовлетворительной по качеству, если она, проходя по трубам, приобретает окраску или образует осадок. **Стабильной называется вода, которая не выделяет и не растворяет осадок карбоната кальция [ 1 ].**

Стабильность воды нарушается при повышенном содержании в ней растворенного углекислого газа, кислорода или сероводорода,

при низком значении **pH**, пересыщенности карбонатом кальция или гидроксидом магния, повышенной концентрации хлоридов или сульфатов и др. [ 2 ].

Различают стабильность воды по отношению к бетону и к металлам. Стабильность воды по отношению к бетону определяется прежде всего содержанием в ней растворенного углекислого газа (угольной кислоты) [ 3 ]. Угольная кислота находится в воде в связанном и в свободном состояниях. Связанная угольная кислота - это кислота, входящая в состав гидрокарбонатов и карбонатов [ 4 ].

Содержание карбонатов в природных водах незначительно и зависит от растворимости  $CaCO_3$ . Поэтому под связанной угольной кислотой следует подразумевать кислоту, входящую в состав гидрокарбонатов. Иногда такую угольную кислоту называют полусвязанной.

Наиболее распространенной солью, входящей в состав природных вод и содержащей угольную кислоту в связанном виде является гидрокарбонат кальция  $Ca(HCO_3)_2$ . Содержание гидрокарбоната кальция в воде обуславливает так называемый щелочной резерв (щелочность) воды. [ 5 ]

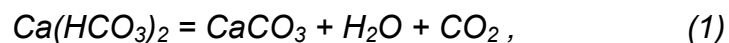
Свободную угольную кислоту, т.е.  $\Sigma(H_2CO_3+CO_2)$  делят на равновесную и агрессивную. Классификацию угольной кислоты, находящейся в воде иллюстрирует схема, представленная на рис.1.

### Классификация угольной кислоты



Рис.1

Содержание равновесной угольной кислоты в воде определяется химическим равновесием (1):



которое называется **углекислотным равновесием воды**. Как

видно из уравнения реакции (1), содержание равновесной угольной кислоты в воде зависит от содержания в ней гидрокарбоната кальция: чем оно больше, тем больше равновесной угольной кислоты находится с ним в равновесии.

**Если количество свободной угольной кислоты точно равно количеству равновесной угольной кислоты, то такая вода - стабильна, в противном случае - вода нестабильна.**

Нестабильность ее может быть двоякой. При пониженном содержании  $CO_2$  углекислотное равновесие воды смещается вправо, что приводит к выпадению карбоната кальция в осадок. Таким образом, вода с пониженным содержанием  $CO_2$  склонна к отложениям карбоната кальция, которые, например, уменьшают просветы в трубах водопроводов, их пропускную способность. Продолжительное протекание по трубопроводам воды, пересыщенной карбонатом кальция, может привести к полному зарастанию труб [ 6 ].

Количество растворенного в воде углекислого газа может быть и значительно больше, чем требуется по приведенному выше уравнению углекислотного равновесия. Особенно это относится к подземным водам. В поверхностных водах содержание свободной угольной кислоты (определяемое в основном растворимостью углекислого газа воздуха) обычно незначительно (до 20 мг/л). Наличие агрессивной угольной кислоты в них мало вероятно. В подземных водах угольная кислота образуется вследствие протекания процессов разложения органических соединений, а также в результате биохимических процессов. Концентрация свободной угольной кислоты в подземных водах достигает 40 мг/л.

Повышенное содержание свободной угольной кислоты в воде обычно наблюдается после очистки ее коагуляцией, поскольку при взаимодействии гидрокарбонатов с кислотой, образующейся при гидролизе коагулянтов (сульфата алюминия и хлорида железа III), выделяется около 80 мг  $CO_2$  на 100 мг коагулянта [ 7 ].

Количество углекислого газа можно вычислить по уравнению (2):



**Избыточная свободная угольная кислота называется агрессивной**, поскольку она очень активна и реакционноспособна. Зависимость между количеством связанной ( $CO_{2связ}$ ) и равновесной ( $CO_{2равн}$ ) свободной угольной кислоты при температуре  $t = 15-18^\circ C$  показана на рис.2

### Зависимость между связанной и равновесной свободной угольной кислотой

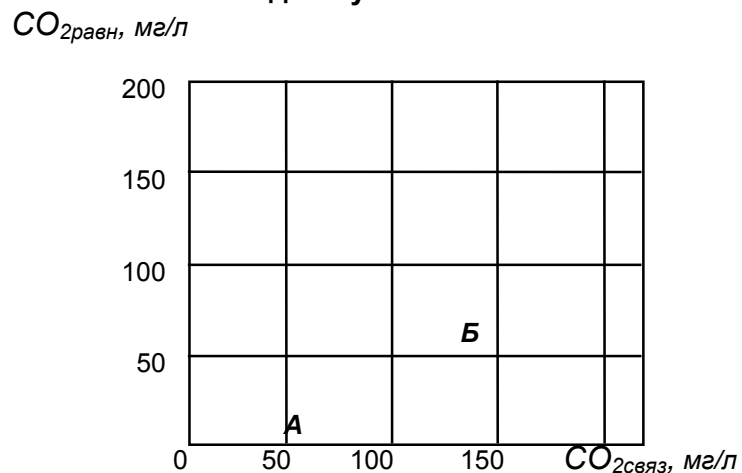


Рис. 2

В воде, состав которой характеризуется точкой **А**, содержится  $50 \text{ мг/л}$  связанной угольной кислоты, а равновесной угольной кислоты всего  $3 \text{ мг/л}$ . Следовательно, почти вся свободная угольная кислота будет агрессивной.

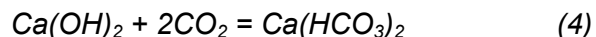
Вычислить количество агрессивной угольной кислоты как разность между количествами свободной и равновесной угольной кислоты нельзя, поскольку не весь избыток свободной угольной кислоты будет агрессивным, т.е. способным растворять карбонат кальция, а только часть его. Другая часть по мере образования гидрокарбоната кальция будет переходить в равновесную угольную кислоту. В воде, содержащей  $130 \text{ мг/л}$  связанной угольной кислоты (точка **Б**), количество равновесной угольной кислоты повышается до  $61 \text{ мг/л}$  и, соответственно, количество агрессивной угольной кислоты уменьшается. Особенно благоприятные условия для накопления агрессивной угольной кислоты создаются в период весеннего паводка, когда из-за высокой цветности очищаемой воды ( $150-200$ ) приходится применять повышенные дозы коагулянта при небольшом щелочном резерве воды, т.к. в этот период снижаются концентрации всех растворенных в воде солей.

Наличие в воде агрессивной угольной кислоты является основной причиной агрессивности воды по отношению к бетону.

Агрессивная угольная кислота, реагируя с карбонатом и гидро-

кислом кальция, содержащимся в бетоне, превращает их в растворимые гидрокарбонаты, способствуя быстрому разрушению бетонных сооружений.

Протекающие при разрушении бетона реакции можно записать уравнениями:



Агрессивная угольная кислота, находящаяся в воде, не является коррозионным агентом, непосредственно действующим на металл, но косвенно она может способствовать коррозии металла. На внутренней поверхности водопроводных труб образуются ржавокарбонатные отложения, предохраняющие металл от разрушения. Агрессивная угольная кислота, растворяя карбонатную часть этих отложений, оголяет металлическую поверхность внутренней части труб, чем создает благоприятные условия для коррозии металла. Таким образом, вода очищенная на водопроводных станциях и соответствующая требованиям ГОСТов, но содержащая агрессивную угольную кислоту, на пути к потребителю загрязняется продуктами коррозии труб, которые повышают цветность воды и содержание в ней железа выше установленных ГОСТом норм. Поэтому очень важно контролировать в очищенной воде содержание агрессивной угольной кислоты.

В последнее время на некоторых водопроводных станциях установлены вместо обычных песчаных фильтров - мраморно-песчаные. В результате фильтрования воды через такие фильтры получают не только осветленную, но и стабильную воду.

Стабильность воды по отношению к металлам определяется, главным образом, содержанием в ней растворенного кислорода. Кислород обычно попадает в воду непосредственно из воздуха, а также в результате жизнедеятельности водорослей и некоторых микроорганизмов, находящихся в поверхностных водах.

Концентрация кислорода в воде зависит от парциального давления его в воздухе и температуры воды. Если количество растворенного в воде кислорода при давлении 101 кПа (н.у.) выше указанного в таблице 1, то вода является агрессивной (коррозионно-активной) по отношению к металлу.

Таблица 1



**Зависимость количества растворенного в воде кислорода от температуры при давлении 101 кПа**

Температура воды	Количество кислорода		Температура воды	Количество кислорода,		Температура воды	Количество кислорода	
	мг/дм <sup>3</sup>	см <sup>3</sup> /дм <sup>3</sup>		мг/дм <sup>3</sup>	см <sup>3</sup> /дм <sup>3</sup>		мг/дм <sup>3</sup>	см <sup>3</sup> /дм <sup>3</sup>
0	10,19	14,56	11	7,69	10,99	22	6,11	8,73
1	9,91	14,16	12	7,52	10,75	23	6,00	8,58
2	9,64	13,78	13	7,35	10,50	24	5,89	8,42
3	9,39	13,42	14	7,19	10,28	25	5,78	8,26
4	9,14	13,06	15	7,04	10,06	26	6,67	8,11
5	8,91	12,73	16	6,89	9,85	27	5,56	7,95
6	8,68	12,41	17	6,75	9,65	28	5,46	7,81
7	8,47	12,11	18	6,61	9,45	29	5,36	7,67
8	8,20	11,81	19	6,48	9,26	30	5,26	7,52
9	8,06	11,52	20	6,36	9,09			
10	7,87	11,25	21	6,23	8,90			

Протекание коррозионных процессов в железе обусловлено микрогальваническими парами, возникающими за счет содержания в железе примесей (например, углерода) или неоднородности обработки различных его участков.

При коррозии железа протекают следующие процессы:

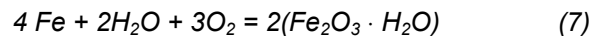
На аноде железо растворяется, образуя ионы железа и избыточные электроны:



На катоде ионы водорода присоединяют электроны, т.е. восстанавливаются до газообразного водорода:



При соприкосновении металла труб с водой, содержащей кислород, выделяющийся атомарный водород непрерывно окисляется до  $H_2O$ , что вызывает усиленное растворение железа, процесс коррозии прогрессирует:



## **Лабораторная работа 1**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ВОДЫ ПО ОТНОШЕНИЮ К БЕТОНУ**

**Цель работы:** установить количественное и качественное влияние угольной кислоты на характеристику стабильности воды по отношению к бетону.

#### **Приборы, посуда и реактивы**

1. pH-метр;
2. Аппарат для перемешивания;
3. Две плоскодонные колбы вместимостью по 0,5 л;
4. Бюретка, ГОСТ 20292-74;
5. Штатив;
6. Коническая колба емкостью 150 мл;
7. Раствор метилового оранжевого;
8. 0,1н раствор едкого натра;
9. 0,1н раствор соляной кислоты;
10. Карбонат кальция (порошок);

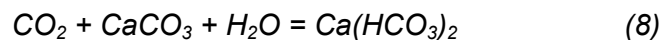
#### **Общие положения**

Для характеристики стабильности воды по отношению к бетону прежде всего определяют содержание в ней свободной и связанной угольной кислоты, что дает только общее представление о ее стабильности.

Если свободной угольной кислоты в воде содержится очень мало, то вода к бетону неагрессивна. При большом содержании свободной угольной кислоты в воде судить об агрессивности последней трудно, так как здесь важную роль играет содержание связанной гидрокарбонатной угольной кислоты и необходимо знать, какая часть свободной угольной кислоты является равновесной, а какая - агрессивной. Агрессивность воды зависит также и от содержания растворенных в воде солей. При повышении их содержания количество свободной угольной кислоты, необходимой для поддержания углекислотного равновесия воды, уменьшается. Таким образом, при одинаковом содержании свободной угольной кислоты вода, содержащая большее количество солей, более агрессивна.

Чтобы точнее определить стабильность воды по отношению к бетону, используют **метод карбонатных испытаний**, по которому

нестабильность, а значит агрессивность воды характеризуют изменением количества связанной угольной кислоты после контакта исследуемой воды с карбонатом кальция. Если вода стабильна, то в ней карбонат кальция растворяться не будет, если она агрессивна - то содержащаяся в ней угольная кислота частично прореагирует с карбонатом кальция с образованием гидрокарбоната кальция:



Следовательно, количество связанной угольной кислоты после контакта агрессивной воды с карбонатом кальция увеличивается. Если же количество связанной угольной кислоты при этом уменьшается, значит вода была пересыщена карбонатом кальция, который выпал в осадок.

### **1.1. Определение содержания свободной угольной кислоты**

Предварительно определяют наличие в воде свободного углекислого газа по метиловому оранжевому (кислая реакция) или измеряют  $pH$  ( $pH < 4,5$ ).

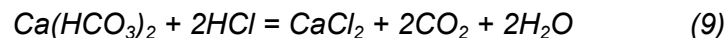
Если установлено наличие свободного  $\text{CO}_2$ , то проводят количественное определение свободной и общей кислотности воды.

### **1.2. Определение свободной кислотности воды**

К 100 мл исследуемой воды добавляют 2 капли раствора метилового оранжевого и титруют 0,1N раствором едкого натра до появления желтой окраски (при электрометрическом определении титруют до  $pH = 4,5$ ).

### **1.3. Определение связанной угольной кислоты**

Связанная угольная кислота - это кислота, входящая в состав химических соединений (карбонатов и гидрокарбонатов). Обычно в воде находятся только гидрокарбонаты, количество которых определяют также, как и величину общей щелочности воды (т.е. титрованием раствором  $\text{HCl}$ ). Гидрокарбонаты при этом переходят в хлориды.



#### **Ход определения**

В коническую колбу пипеткой отмеряют 100 мл исследуемой

воды, добавляют несколько капель раствора метилового оранжевого и приливают из бюретки 0,1*N* раствор соляной кислоты до перехода желтой окраски раствора в розовую.

Количество связанной угольной кислоты  $CO_{2св}$  рассчитывают по формуле (10) :

$$CO_{2св} = \frac{V_1 \cdot N \cdot 22 \cdot 1000}{V_2}, \text{ мг/л} \quad (10)$$

где  $V_1$  - объем раствора  $HCl$ , израсходованный на титрование, мл;

$N$  - нормальность раствора  $HCl$ ;

$V_2$  - объем исследуемой воды, мл;

22 - мг-эквивалент  $CO_2$ .

#### **1.4. Определение стабильности воды по отношению к бетону**

##### **Ход определения**

В две плоскодонные колбы вместимостью по 0,5 л наливают по 400 мл исследуемой воды, добавляют в каждую из них по 15 г порошкообразного карбоната кальция, плотно закрывают резиновыми пробками и помещают в аппарат для перемешивания. Содержимое одной колбы перемешивают в течение 1 часа, другой - в течение 2 часов, чтобы убедиться в установлении равновесия.

По окончании перемешивания пробки в колбах быстро заменяют другими, в которые вставлена трубка с натронной известью **1** и сифонная трубка **2**, соединенная с воронкой для фильтрования **3** (рис.3).

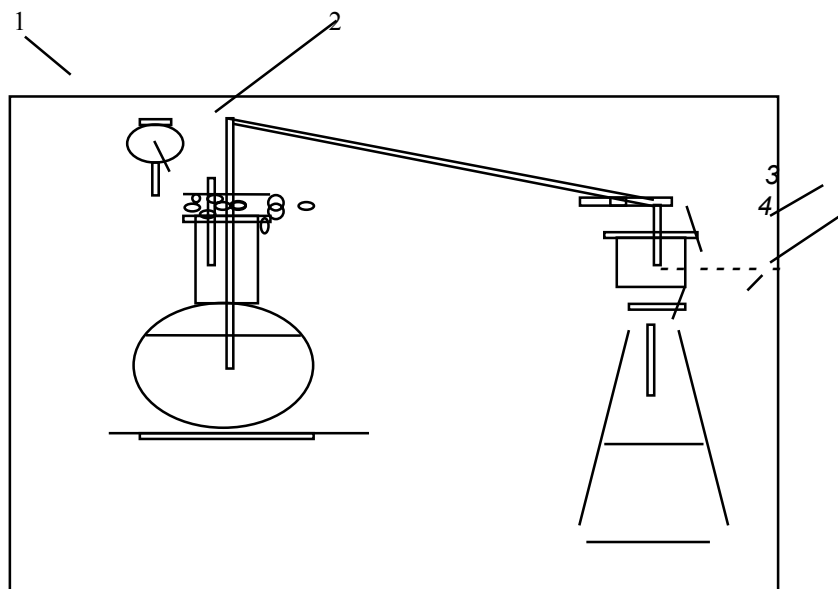
Сифон заряжают, присоединяя нижний конец воронки к водоструйному насосу. После зарядки сифона воронку вставляют в коническую колбу **4**, расположенную примерно на 75 см ниже дна плоскодонной колбы. Описанное устройство позволяет фильтровать воду без доступа  $CO_2$  воздуха. В обоих фильтрах определяют количество связанной угольной кислоты. Если разница между двумя определениями не превышает 1,2 мг/л, то за расчетное принимают второе определение при условии более длительного перемешивания воды с карбонатом кальция.

Результат определения стабильности воды  $S$  выражают дробью, числителем которой является содержание связанной угольной кислоты в исследуемой воде в природном состоянии, а знаменателем

- количество связанной угольной кислоты после предельного насыщения воды карбонатом кальция:

(11)

Если  $C = 1$ , то количество связанной угольной кислоты не изменяется при перемешивании с карбонатом кальция. Следовательно, состав такой воды не изменяется и при соприкосновении с бетоном или известковыми породами, т.е. при  $C = 1$  - **вода стабильна**. Если  $C > 1$ , то **вода склонна к отложениям**. Если  $C < 1$ , то **вода агрессивна**, т.е. содержание связанной угольной кислоты после перемешивания с карбонатом кальция увеличилось за счет растворения последнего агрессивной угольной кислотой.



Результаты проведенных опытов записывают в таблицу (форма 1).

**Таблица результатов измерений и вычислений**

Место отбора пробы воды	Количество свободной угольной кислоты, мг/л	Количество связанной угольной кислоты, мг/л		Стабильность воды С, характеристика воды по отношению к бетону
		до перемешивания с CaCO <sub>3</sub>	после перемешивания с CaCO <sub>3</sub>	

**Вопросы:**

- 1) Как классифицируют угольную кислоту, содержащуюся в воде?
- 2) В чем состоит сущность процесса разрушения бетона и известковых пород водой, содержащей агрессивную угольную кислоту?
- 3) Как определяют стабильность воды по отношению к бетону?

**Лабораторная работа 2**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ВОДЫ ПО ОТНОШЕНИЮ К МЕТАЛЛУ**

**Цель работы:** установить количественное и качественное влияние растворенного в воде кислорода на характеристику стабильности (коррозионностойкости) воды по отношению к металлу (железу).

**Приборы, посуда и реактивы**

1. Стальная проволока;
2. Емкость 1 л с пробкой;
3. Стеклянная палочка;
4. Мерный цилиндр на 10 мл;
5. Наждачная бумага;
6. Эфир для обезжиривания;
7. Соляная кислота (концентрированная) HCl;  $\rho = 1,12 \text{ мг/л}$
8. Роданид калия;
9. Фотоэлектроколориметр КФК-2.

Для общей характеристики стабильности (коррозионностойкости) воды по отношению к металлу важно знать содержание растворенного в ней кислорода.

Для количественного выражения коррозионности воды по отноше-

нию к металлу (железу) исследуют возможность протекания реакции между водой и железом определенного стандартного состава, например, фортепианной проволокой.

## **2.1. Определение общей коррозионности воды по отношению к железу**

### **Ход определения**

Стеклянную банку вместимостью 1 л наполняют исследуемой водой до краев и закрывают ее резиновой пробкой, к которой снизу на шелковой нитке подвешен отрезок стальной проволоки длиной  $50 \pm 1$  мм. Закрывая банку пробкой, выдавливают часть воды так, чтобы под пробкой не оставалось воздуха.

Проволоку перед испытанием очищают наждачной бумагой и обезжиривают эфиром. Выдерживают проволоку в воде в течении 2 часов, затем банку открывают, отрезок проволоки вынимают так, чтобы вода стекла в банку.

Поверхность проволоки тщательно очищают от продуктов коррозии небольшим кусочком фильтровальной бумаги так, чтобы они полностью попали в банку. Туда же опускают и фильтровальную бумагу, которой очищали проволоку. Доливают в банку 5 мл концентрированной соляной кислоты и содержимое перемешивают стеклянной палочкой в течении 10 минут, после чего определяют содержание железа в полученном растворе.

Одновременно определяют содержание железа в исходной воде. По изменению содержания железа в воде, находившейся в течение 2 часов в контакте с проволокой, по сравнению с содержанием железа в исходной исследуемой воде характеризуют ее нестабильность (коррозионность).

**Коррозионность воды** вычисляют по формуле (12):

$$K = \frac{\Delta_a \cdot 12 \cdot 10^6}{10^3 \cdot \pi \cdot d \cdot l} \quad (12)$$

где  $\Delta_a$  - увеличение содержания железа в воде после 2-х часового контакта с проволокой, мг/л;

$d$  - диаметр, мм;

$l$  - длина проволоки, мм.

Стабильность воды оценивают в баллах, используя данные

таблицы 2.

Таблица 2

**Оценка стабильности воды по отношению к металлу**

Потеря массы металла, г/м <sup>3</sup> в сутки	Характеристика воды	Балл
менее 2,5	Стабильна	1
2,5-25	Менее стабильна	2
25-75	Слабо агрессивна	3
75-250	Агрессивна	4
более 250	Сильно агрессивна	5

Результаты измерений и вычислений заносят в таблицу (форма 2).

Форма 2

**Таблица результатов измерений и вычислений**

Место отбора пробы воды	Содержание, растворенного в воде железа, мг/л		Потеря массы металла, г/м <sup>3</sup> в сутки	Характеристика воды	Балл
	кислорода, мг/л	до контакта с про-волокой			

**Вопросы:**

- 1) Какие химические реакции протекают при определении содержания в воде растворенного O<sub>2</sub>?
- 2) Как вычисляют количество растворенного в воде кислорода?
- 3) Влияет ли содержание растворенного в воде кислорода на процесс коррозии металлов?
- 4) Какую роль играет растворенный в воде кислород в различных биологических процессах?
- 5) Как определяют коррозионность воды по отношению к железу?

**2. СТАБИЛИЗАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ВОДЫ**

**2.1. Выбор способа стабилизационной обработки воды**



Выбор способа обработки воды зависит от ее показателя стабильности, для определения которого рекомендуются два метода: основной и вспомогательный. По первому методу показатель стабильности  $S$  находят из выражения:

$$C_1 = \frac{\text{Щ}_{\text{исх}}}{\text{Щ}_H}, \quad (13)$$

где  $\text{Щ}_{\text{исх}}$  - исходная фактическая щелочность воды в естественном состоянии, мг-экв/л;

$\text{Щ}_H$  - щелочность воды после смешивания (насыщения) ее с карбонатом кальция, мг-экв/л.

При взбалтывании воды, содержащей агрессивную угольную кислоту, с карбонатом кальция (это, так называемый, **метод карбонатных испытаний**) последний растворяется, переходя в гидрокарбонат кальция, в результате чего щелочность и  $pH$  воды повышаются.



Если же вода пересыщена карбонатом кальция, то он отлагается на зернах введенного в воду перед началом взбалтывания карбоната кальция;  $pH$  и щелочность воды при этом понижаются.

По второму методу показатель стабильности  $S$  находят из выражения

$$C_2 = \frac{pH_{\text{исх}}}{pH_s} \quad (15)$$

где  $pH_{\text{исх}}$  -  $pH$  исходной воды;

$pH_s$  -  $pH$  воды, насыщенной карбонатом кальция.

Показатель стабильности  $S$ , вычисленный по формулам (13) и (15) и равный 1, указывает на стабильность воды.

Кроме того, стабильность может быть установлена по значению **индекса стабильности  $J$**  [1] согласно уравнению (16) :

$$J = pH_{\text{исх}} - pH_s \quad (16)$$

Значение  $pH_s$  определяется с помощью данных анализа воды по номограммам приложения 5 СНиП [1] или по формуле (17) [4]:

$$pH_s = f_1(t) + f_2(\text{Ca}^{2+}) - f_3(\text{Щ}) + f_4(P) \quad (17)$$

где  $f_1(t)$  - функция температуры воды;

$f_2(\text{Ca}^{2+})$  - функция содержания в воде кальция;

$f_3(\text{Щ})$  - функция щелочности;

$f_4(P)$  - функция общего содержания в воде солей.

Номограмма для определения параметров  $pH_s$ ,  $f_1(t)$ ,  $f_2(Ca^{2+})$ ,  $f_3(Щ)$ ,  $f_4(P)$  представлена в приложении 1.

При  $C=1$ , а также  $J=0$  вода стабильна. Если  $C < 1$ , а  $J < 0$  вода агрессивна. Если  $C > 1$ , а  $J > 0$  - вода способна к отложению карбоната кальция.

### **Лабораторная работа 3**

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА СТАБИЛЬНОСТИ ВОДЫ**

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** установить количественное значение индекса стабильности воды известного состава. Дать сравнительную оценку лабораторным и расчетным методам определения индекса стабильности. Выбрать способ стабилизационной обработки воды.

##### **Приборы, посуда и реактивы**

1. pH-метр;
2. Аппарат для перемешивания;
3. Две плоскодонные колбы вместимостью по 0,5 л;
4. Бюретка, ГОСТ 20292-74;
5. Штатив;
6. Коническая колба емкостью 250 мл;
7. Раствор фенолфталеина;
8. 0,1н раствор едкого натра;
9. 0,1н раствор соляной кислоты;
10. Карбонат кальция (порошок);
11. Раствор метил оранжевого.

##### **Порядок выполнения работы**

###### **3.1. Измерение pH исходной воды**

###### **3.2. Определение щелочности исходной воды**

К 100 мл исследуемой воды, отмеренной пипеткой в коническую колбу на 250 мл, добавляют 2-3 капли раствора фенолфталеина. Если появится розовая окраска, воду титруют 0,1 н раствором соляной кислоты до обесцвечивания. Затем в ту же колбу добавляют 2-3 капли раствора метил оранжевого и продолжают титрование 0,1 н раствором соляной кислоты до перехода желтой окраски в розовую.

Записывают объем 0,1 н раствора  $HCl$ , израсходованной на титрование воды с фенолфталеином, и общий объем 0,1 н раствора  $HCl$ , израсходованной на титрования.

**Общую щелочность  $Щ_{об}$  воды** вычисляют по формуле:

$$\text{Щ}_{\text{об}} = \frac{N \cdot V \cdot 1000}{V_1}, \text{ мг-экв/л} \quad (18)$$

где  $V$  - общий объем раствора  $\text{HCl}$ , израсходованной на титрование исследуемой воды,  $\text{мл}$ ;

$V_1$  - объем воды, взятый для исследования,  $\text{мл}$ ;

$N$  - нормальность раствора  $\text{HCl}$ .

### 3.3. Определение стабильности воды методом карбонатных испытаний

Метод карбонатных испытаний (см. лабораторную работу 1, п.1.4, с.11-12).

3.4. **Определение щелочности воды после насыщения ее карбонатом кальция** проводится аналогично п. 3.2.

3.5. **Расчет показателя стабильности  $C_1$**  по формуле (13).

3.6. **Измерение  $\text{pH}_s$  воды после насыщения ее карбонатом кальция** проводится с помощью  $\text{pH}$ -метра (аналогично п. 3.1).

3.7. **Расчет показателя стабильности  $C_2$**  по формуле (15).

3.8. **Расчет индекса стабильности  $J_1$**  по уравнению (16) :

$$J_1 = \text{pH}_{\text{исх}} - \text{pH}_s$$

3.9. **Определение  $\text{pH}_s$**  с помощью данных анализа воды по приложению 1, номограммам приложения 5 СНиП [1] или по формуле (17)

$$\text{pH}_s = f_1(t) + f_2(\text{Ca}^{2+}) - f_3(\text{Щ}) + f_4(P)$$

3.7. **Определение индекса насыщения  $J_2$**  аналогично п.3.8.

$$J_2 = \text{pH}_{\text{исх}} - \text{pH}_s^*$$

Результаты измерений и вычислений заносят в таблицу (форма 3).

Форма 3

#### Результаты измерений и вычислений стабилизационных характеристик воды

Исходная вода	Вода после насыщения карбонатом кальция	Стабилизационная характеристика	
		Показатель стабильности	Индекс стабильности

$pH_{исх}$	$\Sigma_{исх}$	$pH_s$	$\Sigma_n$	$C_1$	$C_2$	$J_1$	$J_2$

**Вопросы:**

1. Каким образом можно определить показатель стабильности воды?
2. Какими свойствами обладает вода, если после 2-х часового контакта ее с карбонатом кальция произошло снижение щелочности воды?
3. Какими свойствами обладает вода, если после 2-х часового контакта ее с карбонатом кальция наблюдается увеличение pH?
4. Перечислите все известные Вам способы определения индекса стабильности воды.
5. Каким образом влияет на стабильность воды общее солесодержание?

**Лабораторная работа 4**

**СТАБИЛИЗАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ВОДЫ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНОМ ИНДЕКСЕ СТАБИЛЬНОСТИ**

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** освоение практических методов получения стабильной воды.

**Приборы и реактивы**

1. pH-метр;
2. Аппарат для перемешивания;
3. Плоскодонные колбы вместимостью по 0,5 л;
4. Коническая колба емкостью 250 мл;
5. Известковый раствор (1 мг/мл CaO);
6. Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (5% раствор).

**Общие положения**

Стабилизационная обработка воды при отрицательном индексе стабильности заключается в ее подщелачивании, фильтровании через мраморную крошку или магномассу, либо удалении оксида углерода аэрированием. При этом предусматривается также создание условий для образования защитной карбонатной пленки на внутренней поверхности труб.

В качестве подщелачивающих реагентов применяют известь или соду. Соду применяют только в том случае, если в воде содержатся ионы кальция в количестве, достаточном для образования защитной пленки карбоната кальция. Щелочные реагенты следует подавать

в очищенную воду перед вторичным хлорированием и поступлением ее в резервуары чистой воды, в связи с чем необходимо обеспечить хорошее осветление растворов реагентов. Допускается введение щелочных реагентов до отстойников или фильтров, если это не ухудшает технологического процесса очистки воды и не снижает эффективности ее стабилизационной очистки.

Стабилизацию воды, содержащей оксид углерода (IV), производят фильтрованием ее в открытых безнапорных фильтрах через мраморную крошку  $\text{CaCO}_3$ , полубоженный доломит - магномассу  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgO}$  или обожженный магнезит  $\text{MgO}$ . Такой метод стабилизации воды перспективен для небольших водоочистительных комплексов, так как не требует контроля процесса и сложного оборудования известкового хозяйства. Фильтры загружают крошкой перечисленных выше материалов с размером частиц  $0,5-3,0$  мм, высоту слоя принимают равной до 2 м, скорость фильтрования воды через мраморную крошку - до 10 м/ч, через магномассу - 10-20 м/ч; она зависит от температуры и щелочности воды, а также от концентрации в ней агрессивного оксида углерода. Промывают фильтрующий слой восходящим потоком воды с интенсивностью  $15 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$  в течение 10-15 минут; при водовоздушной промывке интенсивность подачи воздуха  $20-25 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$  в течение 5 минут с последующей промывкой водой интенсивностью  $3-4 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$  в течение 2-3 минут. Содержание железа в поступающей на фильтры воде не должно превышать  $0,5 \text{ мг}/\text{л}$ . Большие концентрации железа приводят к цементированию зерен фильтрующей загрузки. Фильтры периодически догружают зернистым активным материалом, пополняя его расход на стабилизационную обработку воды; для связывания  $1 \text{ мг}$  агрессивного оксида углерода расходуется  $2,3 \text{ мг}$  мрамора или  $1,1 \text{ мг}$  магномассы.

Стабилизация воды на малых водоочистных комплексах при отрицательном индексе стабильности может быть достигнута удалением из нее избыточного оксида углерода. с этой целью воду аэрируют. Например, пропускают через вентиляторную градирню с кольцевой пластмассовой насадкой или насадкой из колец Рашига. Нагрузка на градирню в первом случае составляет  $70$ , во втором  $60 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , расход воздуха принимают  $20 \text{ м}^3/\text{м}^3$  воды. Значение  $\text{pH}$  воды после градирни определяют по номограмме СНиП [1] или по рис. 4, принимая остаточное содержание  $\text{CO}_2$  в воде  $8-10 \text{ мг}/\text{л}$  и щелочность воды, равной исходной.

### **Порядок выполнения работы**

Убедиться одним из рассмотренных в лабораторной работе 3

способов в том, что индекс насыщения воды карбонатом кальция действительно  $J < 0$ .

#### 4.1. Определение дозы щелочного реагента

В соответствии с рекомендациями СНиП (приложение 5, п.5[1]) при отрицательном индексе насыщения воды карбонатом кальция для получения стабильной воды следует предусматривать ее обработку щелочными реагентами (известью, содой или этими реагентами совместно), гексаметафосфатом или триполифосфатом натрия.

Дозу извести следует определять по формуле:

$$D_u = 28 \times \beta_u \times K_t \times \text{Щ} \quad (19)$$

где  $D_u$  - доза извести, мг/л, в расчете на  $\text{CaO}$ ;

$\beta_u$  - коэффициент, определяемый по номограмме (приложение 2) в зависимости от pH воды (до стабилизационной обработки) и индекса насыщения J;

$K_t$  - коэффициент, зависящий от температуры воды: при  $t = 20$  °C -  $K_t = 1$ ; при  $t = 50$  °C -  $K_t = 1,3$ ;

$\text{Щ}$  - щелочность воды до стабилизационной обработки,  $\text{Щ} = \text{Щ}_{\text{исх}}$ , мг-экв/л.

Дозу соды в расчете на  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , мг/л, надлежит принимать в 3-3,5 раза больше дозы извести в расчете на  $\text{CaO}$ .

Если по формуле (19) доза извести  $D_u/28$ , мг-экв/л, окажется больше величины  $d_{\text{щ}}$ , мг-экв/л, определяемой по формуле:

$$d_{\text{щ}} = 0,7[(\text{CO}_2)/22 + \text{Щ}], \quad (20)$$

то в воду кроме извести в количестве  $d_{\text{щ}}$ , мг-экв/л, необходимо вводить также соду, дозу которой  $D_c$ , мг/л, надлежит определять по формуле:

$$D_c = (D_u/28 - d_{\text{щ}}) \times 100. \quad (21)$$

Следует предусматривать возможность одновременно с введением щелочных реагентов дозировать гексаметафосфат или триполифосфат натрия дозой 0,5-1,5 мг/л (в расчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) - для повышения степени равномерности распределения защитной карбонатной пленки по длине трубопроводов.

#### 4.2. Обработка исходной воды щелочным реагентом

4.3. Определение стабильности воды любым из рассмотренных ранее способов.

Результаты измерений и вычислений заносят в таблицу (форма 4).

Форма 4

**Результаты измерений и вычислений**

**стабилизационных характеристик воды при  $J < 0$**

Исходная вода		Вода после обработки щелочным реагентом		Характеристика стабильности воды			
				Показатель стабильности $C$		Индекс стабильности $J$	
$pH_{исх}$	$\Sigma_{исх}$	$pH$	$\Sigma$	до обработки	после обработки	до обработки	после обработки

**Вопросы:**

1. Какими свойствами обладает вода, если показатель стабильности ее меньше 1?
2. Какими свойствами обладает вода, если индекс стабильности отрицательный?
3. Какими реагентами необходимо обрабатывать воду с отрицательным индексом стабильности?
4. В каких случаях для обработки воды используют соду?
5. В каких пределах должна быть доза гексаметафосфата (триполифосфата) натрия и с какой целью вводится этот реагент при стабилизационной обработке воды в системах водоснабжения предприятий?

**Лабораторная работа 5**

**СТАБИЛИЗАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ВОДЫ ПРИ ПОЛОЖИТЕЛЬНОМ ИНДЕКСЕ СТАБИЛЬНОСТИ**

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** приобретение практических навыков и освоение методов получения стабильной воды с помощью ее обработки кислотными или фосфатными реагентами.

**Приборы и реактивы**

1.  $pH$ -метр;
2. Аппарат для перемешивания;
3. Плоскодонные колбы вместимостью по 0,5 л;
4. **Техническая**  $H_2SO_4$  или  $HCl$ .

**Общие положения**

При положительном индексе стабильности воду стабилизируют подкислением серной или соляной кислотой, обработкой гексаме-

тафосфатом или триполифосфатом натрия.

#### **Обработка воды подкислением**

При подкислении понижается содержание в воде гидрокарбонатов и увеличивается концентрация оксида углерода, который, находясь в равновесном состоянии с гидрокарбонатами, препятствует образованию карбоната кальция и зарастанию трубопроводов. Подкисляют воду технической серной или соляной кислотой.

#### **Обработка воды фосфатными реагентами**

Для борьбы с коррозией стальных и чугунных труб в промышленном водоснабжении применяют гексаметафосфат или триполифосфат натрия. Их действие проявляется в образовании защитных пленок на катодных и анодных участках поверхности металла и в торможении коррозионного процесса. Доза гексаметафосфата или триполифосфата натрия, применяемых для обработки воды, используемой в промышленном водоснабжении, принимается 2-4 мг/л. При вводе в эксплуатацию новых участков трубопроводов предусматривается заполнение их на 2-3 суток раствором указанных реагентов с концентрацией 200-250 мг/л.

При стабилизационной обработке фосфатными реагентами воды, используемой для питьевых целей, остаточное содержание фосфат-ионов не должно превышать 3,5 мг/л.

#### **Порядок выполнения работы**

Убедиться в том, что индекс насыщения воды карбонатом кальция действительно  $J > 0$ .

#### **4.1. Определение необходимых доз реагентов**

В соответствии с п.4 приложения 5 [1] при  $J > 0$  для предупреждения зарастания труб карбонатом кальция воду следует обрабатывать кислотой (серной или соляной), гексаметафосфатом или триполифосфатом натрия.

Дозу кислоты  $D_{кис}$ , мг/л, (в расчете на товарный продукт) следует определять по формуле:

$$D_{кис} = 100 \times \alpha_{кис} \times Щ \times e_{кис} / C_{кис}, \quad (22)$$

где  $\alpha_{кис}$  - коэффициент, определяемый по номограмме (рис. );

$Щ$  - щелочность воды до стабилизационной обработки,  
 $Щ = Щ_{исх}$ , мг-экв/л;

$e_{кис}$  - эквивалентная масса кислоты, мг/мг-экв (для серной



кислоты  $e_{кис} = 49$ , для соляной кислоты  $e_{кис} = 36,5$ );  
 $C_{кис}$  - содержание активной части в товарной кислоте, %.

#### 4.2. Обработка исходной воды кислотой

4.3. **Определение стабильности воды** любым из рассмотренных ранее способов.

Результаты измерений и вычислений заносят в таблицу (форма 5).

Форма 5

#### Результаты стабилизационной обработки воды с $J > 0$

Исходная вода		Вода после обработки кислотой		Характеристика стабильности воды			
				Показатель стабильности $C$		Индекс стабильности $J$	
$pH_{исх}$	$\Sigma_{исх}$	$pH$	$\Sigma$	до обработки	после обработки	до обработки	после обработки

#### Вопросы:

1. Какие способы стабилизации воды применимы при положительном индексе насыщения воды карбонатом кальция?
2. В каких случаях для стабилизации воды применение технической серной кислоты нецелесообразно?
3. С какой целью применяется гексаметафосфат натрия?
4. Возможно ли применение фосфатных реагентов для стабилизационной обработки воды систем питьевого водоснабжения?

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

### Таблицы для определения $pH_s$

<b>t</b>	0	4	8	12	16	20	25	30	35	40	47	54	61	67	75
<b>f<sub>1</sub>(t)</b>	2,6	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2

(Ca <sup>2+</sup> )	1	2	4	8	10	20	40	60	80	100	200	400
<b>f<sub>2</sub>(Ca<sup>2+</sup>)</b>	0	0,3	0,6	0,9	1,0	1,3	1,6	1,8	1,9	2,0	2,3	2,6

(Ca <sup>2+</sup> )	500	800	1000	1500	2000	3000	4000	5000
<b>f<sub>2</sub>(Ca<sup>2+</sup>)</b>	2,7	2,9	3,0	3,19	3,3	3,45	3,61	3,7

<b>Щ</b>	0,1	0,2	0,4	0,8	1	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10
<b>f<sub>3</sub>(Щ)</b>	0	0,3	0,6	0,9	1,0	1,3	1,5	1,6	1,7	1,76	1,9	2,0

<b>P</b>	50	100	150	200	250	300	400	500	600
<b>f<sub>4</sub>(P)</b>	8,68	8,72	8,747	8,769	8,790	8,806	8,835	8,86	8,886

<b>P</b>	700	1000	2000	3000	5000	8000	10000	15000
<b>f<sub>4</sub>(P)</b>	8,9	8,94	9,02	9,08	9,2	9,32	9,38	9,49

Приложение 2

#### ФОСФАТНЫЕ РЕАГЕНТЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ СТАБИЛИЗАЦИИ ВОДЫ

1). Натрий фосфорно-кислый - **тринатрийфосфат**,  $Na_3PO_4$ , ГОСТ 201-76, одноводный технический  $Na_3PO_4 \cdot H_2O$ , содержание  $P_2O_5$  - 38,8%; двенадцативодный  $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$  технический и пищевой, содержание  $P_2O_5$  18,5-18,7%.

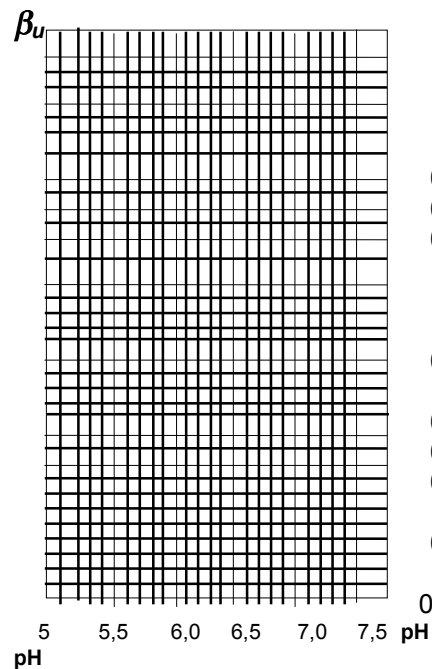
2). Натрий фосфорно-кислый - **динатрийфосфат**  $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ , ГОСТ 451-41, содержание активной части: первый сорт 96%, второй сорт 92%, третий сорт 88%.

3). Натрий **триполифосфат**  $Na_5P_3O_{10}$ , ГОСТ 13493-77, содержание  $Na_5P_3O_{10}$ : пищевой и высшие сорта - 97%, 1-й сорт - 92%, 2-й сорт - 88%.

4). **Гексаметафосфат** натрия (соль Грахама)  $(NaPO_3)_6$ , ГОСТ 20291-74, содержание  $P_2O_5$ : сорт А 60%, сорт Б 52%, в том числе неактивной (ортофосфатной) 8%.

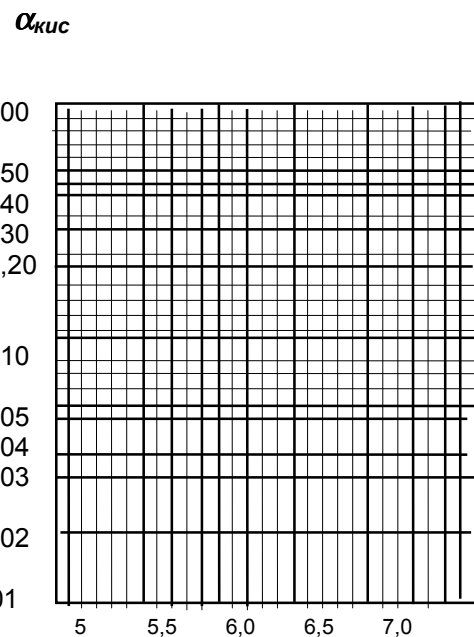
Приложение 3

Номограмма для определения коэффициента  $\beta_u$  при расчете дозы щелочи



Приложение 4

Номограмма для определения коэффициента  $\alpha_{кис}$  при расчете дозы кислоты



Приложение 5

### Индикаторы

Индикатор	Цвет раствора		Интервал перехода индикатора соответствует pH раствора	Приготовление раствора индикатора
	в кислой среде	в щелочной среде		
1	2	3	4	5
Метил-оранж.	Розовый	Желтый	3,1-4,4	0,5 г в 100 мл воды
Метилкрасный	Красный	Желтый	4,2-6,2	0,2 г в 100 мл воды
Лакмус	Красный	Синий	5,0-8,0	1,9 г в 100 мл воды
Нейтральный красный	Красный	Желтый	6,8-8,0	0,1 г в 70 мл спирта +30 мл воды

Фенолфталеин	Бесцветный	Красно-фиолетовый	8,2-10,0	0,1 г в 100 мл спирта
Тимолфталеин	Бесцветный	Синий	9,3-10,5	0,1 г в 100 мл спирта

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Строительные нормы и правила. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.* - М.: Стройиздат, 1985. - 134 с.
2. *Кульский Л.А. Теоретические основы технологии кондиционирования воды.* - Киев: Наукова думка, 1980. - 564 с.
3. *Кульский Л.А., Левченко Т.М., Петрова М.В. Химия и микробиология воды: Практикум.* - Киев: Віща школа, 1987. - 175 с.
4. *Николадзе Г.И., Минц Д.М., Кастальский А.А. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения.* - М.: Высшая школа, 1984. - 560 с.
5. *Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод.* - М.: Химия, 1984. - 447 с.
6. *Лабораторный практикум по общей химии: Учеб. пособие для нехимических вузов/ Под ред. А.А.Таперовой.* - М.: Высшая школа, 1976. - 319 с.
7. *Толстоусов В.Н., Эфрос С.М. Задачник по количественному анализу.* - Л.: Химия, 1986. -161 с.