

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

# **КОАГУЛЯЦИЯ ВОДЫ**

Методические указания для самостоятельной подготовки  
к выполнению лабораторной работы по дисциплине  
«Обработка воды на АЭС» для студентов V курса  
обучения по специальности 140100 «Атомные станции»

Томск — 2017

УДК & 621.182.12

Коагуляция воды: Методические указания для самостоятельной подготовки к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Обработка воды на АЭС» для студентов V курса обучения по специальности 140100 «Атомные станции»

/ Сост.: Г.А. Черкашина. — Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — 16 с.

Рецензент: доцент, к.т.н

\_\_\_\_\_ Л.Л. Любимова

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию научно-методическим семинаром кафедры парогенераторостроения и парогенераторных установок ЭНИН «\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Для водоснабжения энергообъектов в качестве исходного сырья используются природные воды. В этих водах содержатся разнообразные примеси, находящиеся в грубодисперсном, коллоидном и истинно-растворенном состоянии. Из этих примесей, поступающих в циклы ТЭС и АЭС с добавочной водой, образуются отложения на поверхностях нагрева.

Поэтому обеспечение высокого качества водного теплоносителя является важнейшей задачей. Использование водного теплоносителя высокого качества упрощает получение чистого пара, снижает скорость коррозии конструктивных материалов котлов, турбин и оборудования конденсато-питательного тракта.

Для удовлетворения разнообразных требований к качеству воды, потребляемой при выработке электрической и тепловой энергии, возникает необходимость специальной физико-химической обработки воды.

В данной лабораторной работе приведены методы обработки воды коагуляцией. Работа позволяет углубить знания о примесях и показателях качества воды. Студенты в процессе выполнения лабораторной работы получают практические навыки по устранению коллоидных примесей в исходных водах.

## **1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Современная водоподготовка — это сложная химическая технология, в которой для обработки воды используются различные реагенты, материалы, физические воздействия и множество различных устройств. От характера взаимодействия примесей воды с используемыми веществами зависит эффективность подготовки воды различного назначения. В настоящее время невозможно предусмотреть поведение примесей воды в процессе ее обработки. Такие данные можно получить, определив так называемые технологические свойства воды. Они устанавливаются в процессе технологического анализа, включающего пробное коагулирование, умягчение, обезжелезивание, стабилизацию и т.д. На основе технологического анализа устанавливают оптимальные дозы реагентов для обработки воды, обеспечивающие наилучший эффект и экономичность процессов, определяют кинетику осаждения взвесей, позволяющую рассчитывать объем и размеры очистных сооружений, подбирают оптимальные скорости протекания воды в различных водо-обработывающих устройствах и т. д.

## **2 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

1. Познакомиться на практике с методикой пробного коагулирования.
2. На основании лабораторных определений установить оптимальную дозу коагулянта для осветления данной воды.

## **3 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ**

Одним из основных этапов предварительной очистки воды является ее коагуляция, имеющая целью снижение грубодисперсных и коллоидных примесей. Коагуляция воды может рассматриваться как метод соосаждения в практике обработки радиоактивных вод, когда вместе с нерадиоактивными примесями из воды удаляются и радионуклиды. Соосаждение как способ обработки радиоактивных вод находит применение в атомной энергетике в виде двух методов: объемной коагуляции и соосаждения с кристаллическими осадками.

**Коагуляция** – это физико-химический процесс укрупнения коллоидных частиц в крупные агрегаты (флокулы), который завершается выделением вещества в осадок, удаляемый осаждением и фильтрованием.

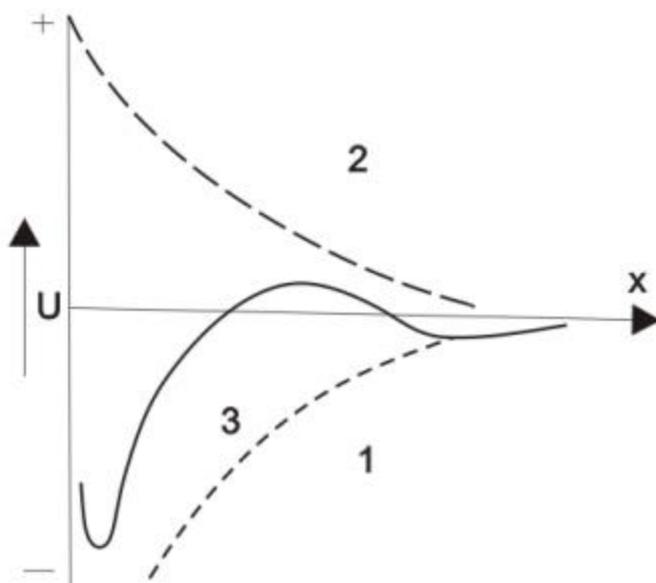
Коллоидные частицы имеют весьма малые размеры, участвуют в броуновском движении, обладают заметной скоростью диффузии, агрегативной устойчивостью, т. е. неспособностью к самопроизвольному укрупнению, седиментационной устойчивостью (постоянством концентрации примесей по всему объему воды). Коллоидные частицы не осаждаются даже при длительном отстаивании и не могут быть отфильтрованы, как, например, грубодисперсные примеси воды.

Причиной устойчивости коллоидных систем воды является наличие заряда на их поверхности за счет диссоциации поверхностных молекул. Так как коллоидные вещества амфотерны, то вид и степень их диссоциации зависят от значения рН раствора. Значение рН, при котором эти вещества не диссоциируют, не имеют заряда и способны коагулировать, называют изоэлектрическим – рН и.э.

Коллоидные частицы носят одноименный заряд, поэтому между ними действуют электростатические силы отталкивания (кулоновское взаимодействие) и молекулярные силы притяжения (силы Ван-дерВаальса). Устойчивость коллоидных систем определяется соотношением этих сил. Характер изменения энергии отталкивания и энергии притяжения представлен на рисунке выше, на котором результирующая кривая 3, определяющая общую потенциальную энергию взаимодействия частиц, получена путем геометрического сложения соответствующих кривых отталкивания 2 и притяжения 1.

Из данного рисунка (кривая 3) следует, что для разных расстояний между частицами «х» существуют два энергетических минимума в области притяжения, когда между частицами преобладает сила притяжения, и один энергетический максимум (потенциальный барьер), когда между частицами преобладает сила отталкивания. Этот потенциальный барьер препятствует слипанию частиц при их сближении и отвечает за агрегативную устойчивость коллоидных систем. Поскольку в природной воде отсутствуют силы, позволившие бы преодолеть потенциальный барьер, коагуляцию воды осуществляют при взаимной коагуляции разнородных дисперсных систем. Для этого в обрабатываемую воду специально вводят минеральные соли

(реагенты-коагулянты), способные при гидролизе при определенных значениях pH образовывать труднорастворимые соединения.



*Потенциальные кривые взаимодействия между коллоидными частицами:  
1 – энергия притяжения; 2 – энергия отталкивания;  
3 – результирующая кривая*

В качестве реагентов-коагулянтов для коагуляции используются водные соединения сернокислого алюминия  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ , сернокислого закисного железа  $FeSO_4$ , хлорного железа  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ , сернокислого оксидного железа  $Fe_2(SO_4)_3$ , диоксида марганца  $MnO_2$ , а также фосфаты натрия и калия  $Na_3PO_4$ ,  $KH_2PO_4$  и др..

При добавлении к воде сернокислого алюминия происходит его гидролиз:



Наличие в обрабатываемой воде бикарбонатов приводит к реакции нейтрализации серной кислоты с выделением коррозионно-агрессивного углекислого газа:



Объединяя выражения (1.1) и (1.2), суммарную реакцию можно выразить в виде уравнения:



Изoeлектрическое значение pH для  $Al(OH)_3$  находится в диапазоне  $pH = 5,5 \dots 7,5$ . При этом гидроокись алюминия образует коллоидный раствор, делающий коллоидную систему неустойчивой, вместе с которым коагулируют все коллоидные примеси воды, в том числе и радиоколлоиды.

При недостатке бикарбонатов в обрабатываемой воде ее следует подщелачивать едким натром NaOH или известью Ca(OH)<sub>2</sub>.

Из уравнения (1.3) следует, что добавление в обрабатываемую воду реагента-коагулянта приводит к снижению щелочности воды на дозу вводимого коагулянта, но при этом возрастает концентрация углекислоты и количество сульфатов, т. е. некарбонатная жесткость, на дозу вводимого коагулянта.

Процесс коагуляции сложен и зависит от целого ряда факторов. К таким факторам относится не только состав обрабатываемой воды, но и оптимальное значение температуры 25...30 °С и ее постоянство, скорость перемешивания, оптимальные значения водородного показателя рН среды и дозы коагулянта Дк и т. д., потому для воды индивидуального качества каждый раз проводят пробную коагуляцию с целью установления оптимальных условий этого процесса.

При отсутствии данных о потребных дозах коагулянта, полученных при пробной обработке воды, они могут быть приняты на стадии проектирования коагуляционных устройств примерно следующими:

Таблица 1

Применяемые в проектировании дозы коагулянта

Исходная вода		Доза коагулянта, мг-экв/дм <sup>3</sup>
Щелочность, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Окисляемость, мг/дм <sup>3</sup>	
При Що ≥ 2	Ок ≤ 5	Дк = 0,5
При Що ≥ 1,5	Ок ≤ 10	Дк = 0,75
При Що < 1,5	Ок > 10	Дк = 1,0

Ориентировочную дозу сернокислого алюминия можно также принять равной 0,12 мг-экв на 1 мг удаляемой окисляемости. Практика проектирования коагуляционных устройств показывает, что доза коагулянта находится в диапазоне значений 0,5...1,2 мг-экв/дм<sup>3</sup>, меньшая для воды с малой окисляемостью и большая с большей окисляемостью. Когда отмечаются случаи плохой коагулируемости воды, дозу коагулянта увеличивают до 1,5 мг-экв/дм<sup>3</sup>.

Соблюдение оптимальных условий для коагуляции обеспечивает снижение окисляемости до 50 % от исходной величины, содержания взвешенных веществ до 1...2 мг/дм<sup>3</sup>, снижение кремнекислых соединений на 60...90 %, остаточного содержания железа до 0,03...0,3 мг/дм<sup>3</sup> и остаточного содержания алюминия менее 0,05 мг/дм<sup>3</sup>.

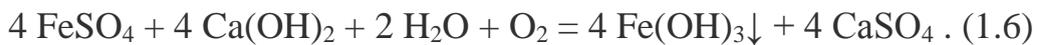
При использовании в качестве коагулянта сернокислого железа происходят следующие реакции:



При достаточно высокой концентрации кислорода в воде гидроксид железа  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  доокисляется до малорастворимой гидроокиси  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , которая выделяется в виде шлама в объеме воды:



Процесс доокисления, описываемый уравнением (1.5), при значениях pH, близких к нейтральным, протекает медленно и не имеет в этой связи практического значения. Однако образование гидроксида  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  происходит достаточно полно в щелочной среде при  $\text{pH} > 8$  (оптимальное значение водородного показателя для этого процесса находится в диапазоне значений  $\text{pH} = 10 \dots 11$ ), для чего необходимо дозировать в воду щелочь совместно с коагулянтом или сочетать коагуляцию с известкованием:



При  $\text{pH} = 10$  время окисления железа составляет 2...3 мин. Из приведенной реакции (1.6) следует, что процесс коагуляции с сернокислым железом нуждается в окислителях, и если кислорода в воде оказывается недостаточно, то прибегают к аэрации (насыщению воды кислородом) или вводят в воду хлор, который окисляет  $\text{Fe}^{2+}$  в  $\text{Fe}^{3+}$ .

Потребная доза хлора определяется выражением:

$$\text{Cl} \approx 17,5 ( \text{Дк} - \text{O}_2 / 4 ), \text{ мг/дм}^3,$$

где Дк – доза коагулянта, мг-экв/дм<sup>3</sup>;  $\text{O}_2$  – концентрация в воде растворенного кислорода, мг/дм<sup>3</sup>.

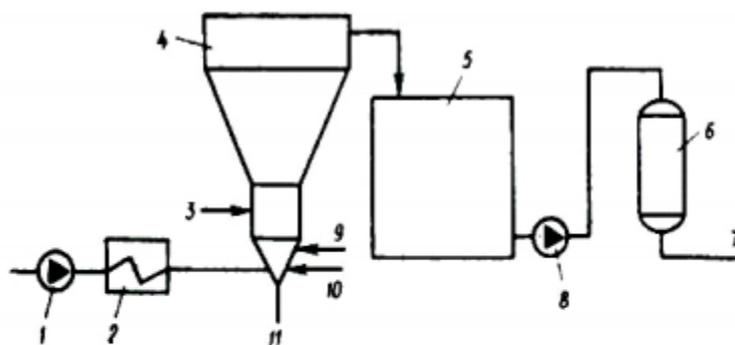
Доза же коагулянта устанавливается также экспериментально, ее нельзя установить по результатам анализа воды, но на основании статистических данных о работе коагуляционных установок она находится в диапазоне значений 0,25...0,75 мг-экв/дм<sup>3</sup> – меньшее значение для зимы, большее для паводкового периода.

При коагуляции воды с целью ускорения процесса хлопьеобразования применяют флокулянты – в отечественной практике ПАА – полиакриламид. Доза ПАА лежит в пределах 0,5...1,0 мг/дм<sup>3</sup> в пересчете на 100 %-й продукт.

Для повышения эффективности коагуляции при очистке воды от радиоактивных изотопов дозы коагулянтов следует увеличивать по сравнению с обычно используемыми для осветления воды.

Добавление к воде некоторого количества соответствующего нерадиоактивного изотопа также увеличивает глубину очистки.

Принципиальная схема коагуляции с известкованием приведена на рисунке:



*Принципиальная технологическая схема удаления  
грубодисперсных и коллоидных примесей :*

*1, 8 – насосы; 2 – подогреватель; 3, 9 – растворы флокулянта  
и коагулянта; 4 – осветлитель; 5 – промежуточный бак;  
6 – осветлительный (механический) фильтр;  
7 – осветленная вода; 10 – известковое молоко; 11 – дренаж*

Диоксид марганца, применяемый на АЭС в технологиях коагуляции коллоидных примесей и радиоколлоидов, получают восстановлением марганца до четырехвалентного при взаимодействии перманганата калия с гидразингидратом:



При коагуляции с сернокислым железом степень очистки от радионуклидов стронция и цезия составляет, соответственно, 97 и 27 %, при коагуляции гидроксидом алюминия степень очистки от указанных выше радионуклидов не превышает 15 %.

Диоксид марганца обладает более сильными сорбционными свойствами и образует более плотный осадок. Однако вследствие и более высокой стоимости исходных реагентов коагуляция с его помощью находит применение на АЭС только в установках небольшой производительности, где к тому же требуется более высокая степень очистки, например в схемах регенерации борной кислоты.

Степень соосаждения радионуклидов с коагулянтами определяется в первую очередь состоянием радиоактивных изотопов в жидких отходах атомных электростанций: взвесь, коллоид, ионная форма и др.

Так, радионуклиды цинка, стронция, циркония, ниобия и церия, находящиеся в гидролизованной форме, почти полностью извлекаются диоксидом марганца. Их коэффициенты очистки  $K_{оч} = 1000$ , в то время как радионуклиды цезия, присутствующие в воде в виде акваионов, диоксидом марганца почти не сорбируются. При  $\text{pH} = 3 \dots 4$  удовлетворительно сорбируется рутений, находящийся в этих условиях в коллоидной форме. При изменении величины  $\text{pH}$  и снижении устойчивости коллоида сорбция рутения резко падает.

Гидроксид алюминия удовлетворительно очищает воду от радионуклидов циркония, ниобия, рутения, церия (Коч = 5...10). Практически не удаляются находящиеся в ионной форме стронций, йод, цезий при Коч = 1,1...1,2. Несколько увеличивается коэффициент очистки при подщелачивании воды кальцинированной содой вместо щелочи (для йода Коч = 1,35). При использовании гидроксида железа удаление радионуклидов происходит лучше, чем при использовании гидроксида алюминия. Коэффициент очистки для радионуклидов циркония, ниобия и церия возрастает до 10...100, для рутения до 5...25, для йода Коч = 1,5.

В таблице 2 ниже приведены сведения о степени извлечения из воды растворимых форм радиоактивных загрязнений.

Таблица 2

Снижение радиоактивности воды при использовании различных коагулянтов

Изотоп	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ (20...100мг/дм <sup>3</sup> )	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$ (50...200мг/дм <sup>3</sup> ) с известковой водой	$KMnO_4$ (100мг/дм <sup>3</sup> ), NaOH (150мг/дм <sup>3</sup> ), $MnO_2$ (150 мг/дм <sup>3</sup> )	$Na_3PO_4$ , 300 мг/дм <sup>3</sup>
<sup>144</sup> Ce – <sup>144</sup> Pr	100	100	100	99...100
<sup>95</sup> Zr – <sup>95</sup> Nb	100	100	100	99...100
<sup>137</sup> Cs	10...15	4...27	1	15...20 93...95 (при замутнении глиной)
<sup>106</sup> Ru – <sup>106</sup> Rh	30...45	36...48	43,3	16...20
<sup>90</sup> Sr	8...10	9...20	47	99
<sup>90</sup> Y	100	–	–	–
<sup>90</sup> Sr – <sup>90</sup> Y	–	58,5...61	75	–

С целью увеличения степени очистки воды от радионуклидов методом объемной коагуляции процесс интенсифицируют добавлением в обрабатываемую воду сорбентов и реагентов, образующих с радионуклидами труднорастворимые соединения. Например, добавление мелкозернистого (0,1...0,5 мм) активированного угля увеличивает коэффициент очистки от йода до 3...8, рутения до 5...8, циркония до 50, церия до 100.

Добавление нитрата серебра, с которым йод образует труднорастворимое соединение, увеличивает коэффициент очистки до 10...12.

Если радионуклид присутствует в растворе в ионном или молекулярном состоянии, то он может соосаждаться с определенными

кристаллическими осадками при выпадении последних из раствора. При этом соосаждение радионуклидов происходит тем полнее, чем менее растворимо образующееся соединение. Это явление используется в практике обработки радиоактивных вод АЭС в виде содово-известкового умягчения и фосфатной коагуляции.

В таблице 3 приведены данные по удалению радиоактивных элементов на осадках фосфатов.

Таблица 3

Удаление радиоактивных изотопов при коагуляции фосфатами

Изотоп	Коагулянт	Концентрация коагулянта, мг/дм <sup>3</sup>	Степень очистки, %
<sup>144</sup> Ce – <sup>144</sup> Pr	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	200	99,8
<sup>89</sup> Sr	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	120	99,9
	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	100	81,3
	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	240	97,8
<sup>91</sup> Y	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	100	99,8
<sup>124</sup> Sb	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	100120	66,167,4
<sup>65</sup> Zn	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	50	99,6
<sup>185</sup> W	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	200	10,7
<sup>95</sup> Zr	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	100	99,5
<sup>95</sup> Nb	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	100	99,2

#### 4 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ПРОБНОГО КОАГУЛИРОВАНИЯ

Оборудование и реактивы:

- 1%-ный раствор сульфата алюминия – Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>
- 10 г сульфата алюминия помещают в мерную колбу на литр, наливают
- 500 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, хорошо перемешивают до растворения реактива и доводят до метки;
  - 0,1 N раствор редкого натра — готовится из фиксанала;
  - 10 стеклянных стаканов, вместимостью один литр;
  - колба мерная, вместимостью 1000 см<sup>3</sup>;
  - пипетки измерительные градуированные и без промежуточных делений на 5,

10, 20, 100 см<sup>3</sup>;

- палочки стеклянные;
- колбы конические, вместимостью 250 см<sup>3</sup>;
- воронки для фильтрования;
- фильтры бумажные, белая лента.

#### 4.1 Ход работы

1. Определить в исходной воде до проведения коагуляции следующие показатели: щелочность, цветность, рН. Результаты записать в отчет.

2. Если щелочность обрабатываемой воды меньше 1 мг-экв/дм<sup>3</sup>, то воду подщелачивают. Расчет дозы раствора щелочи производят по формуле:  $\Delta\text{Щ}_к = d_k + 0,4 - \text{Щ}_о$ , мг-экв/дм<sup>3</sup>, где  $d_k$  – доза коагулянта, мл;  $\text{Щ}_о$  – общая щелочность исходной воды, мг-экв/дм<sup>3</sup>

3. Результаты расчетов заносят в таблицу 4.

Таблица 4

Значения количества раствора коагулянта и щелочи, необходимых для проведения процесса коагуляции

Номер цилиндра	1	2	3	4	5	6
Количество 1 % раствора коагулянта, см <sup>3</sup>	1,0	5,0	10	15	30	50
Количество 0,1 Н раствора едкого натра, см <sup>3</sup>						

4. В мерные цилиндры наливают 500 мл исходной воды, подлежащей коагуляции, предварительно подогретой до 300С. Затем после дозирования в соответствии с таблицей 1 вносят дозы раствора щелочи (если есть необходимость) и дозы раствора коагулянта. Содержимое цилиндров перемешивают стеклянной палочкой в течение 30 секунд и оставляют в покое на 30 минут. Во время отстаивания наблюдают за процессом коагуляции. Отмечают в таблице 2 начало образования хлопьев, вид хлопьев (очень мелкие, мелкие, крупные, рыхлые, плотные), а также их осаждение. Наименьшая доза коагулянта, при которой получены наилучшие хлопья через 15 минут и их более полное осаждение через 30 минут, считается оптимальной. Эту дозу уточняют количественным контролем.

5. Через 30 минут после отстаивания верхний слой воды в стаканах (150 см<sup>3</sup>) осторожно сливают в мерные стаканы вместимостью 250 мл и перемешивают. В каждом стакане определяют цветность, щелочность и рН. Для определения цветности воду отфильтровывают через бумажный фильтр (белая лента). Остальные

показатели определяют без фильтрования (щелочность, рН). Результаты заносят в таблицу 5.

Таблица 5

Результаты показателей качества обработанной воды

Номер цилиндра	Доза коагулянта, см <sup>3</sup>	Доза коагулянта, мг/дм <sup>3</sup>	Вид хлопьев	Показатели качества		
				щелочность, мг-экв/дм <sup>3</sup>	цветность, град.	рН
Исходная вода						
1	1	10				
2	5	50				
3	10	100				
4	15	150				
5	30	300				
6	50	500				

6. На основании полученных результатов графически выражают зависимость цветности, щелочности обработанной воды от дозы коагулянта и определяют его оптимальную дозу.

## 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ

### 5.1 Определение щелочности (РД 34.37.523.7-88)

- Аппаратура, материалы, реактивы:
- Кислота соляная, фиксанал (ТУ 6-09-2540-72).
- Индикатор метиловый оранжевый ч.д.а. (ТУ 6-09-4530-77).
- Индикатор фенолфталеин ч.д.а. (ГОСТ 5850-72).
- Спирт этиловый ректификованный технический (ГОСТ 18300-72).
- Вода дистиллированная (ГОСТ 6709-72).
- Весы лабораторные 1 и 2 классов точности (предел взвешивания — 200 гр, погрешность — не более 0,2 мг).
- Бюретки для титрования вместимостью 25 см<sup>3</sup> по ГОСТ 20292-74.
- Пипетки измерительные градуированные и без промежуточных делений на 10, 50, 100 см<sup>3</sup> по ГОСТ 20292-74.
- Колбы мерные вместимостью 50, 100, 500, 1000 см<sup>3</sup> по ГОСТ 1770-74.
- Колбы конические вместимостью 250 см<sup>3</sup> по ГОСТ 25336-82.
- Воронки простые конусообразные по ГОСТ 23932-79.

### 5.2 Ход определения

В коническую колбу вместимостью 250 см<sup>3</sup> пипеткой отмеривают 100 см<sup>3</sup> исследуемой воды, добавляют 5–6 капель фенолфталеина. Раствор окрасится в розовый цвет (в случае присутствия гидратов и карбонатов). Титруют 0,1 Н раствором соляной кислоты до перехода розовой окраски в бесцветную. Отмечают расход кислоты, пошедший на титрование. Затем к этой же пробе прибавляют 5–6 капель метилоранжа и окрасившийся в желтый цвет раствор титруют 0,1 Н раствором соляной кислоты до перехода окраски из желтой в оранжевую. Отмечают расход раствора соляной кислоты. Расчет ведут по формуле 3.

$$M = \frac{a \cdot 0,1 \cdot 1000}{V}, \quad (3)$$

где  $M$  — щелочность, мг-экв/дм<sup>3</sup>;  $a$  — расход 0,1 Н раствора соляной кислоты, пошедший на титрование по фенолфталеину и метилоранжу;  $V$  — объем исследуемой воды, см<sup>3</sup>; 0,1 — концентрация раствора соляной кислоты, мг-экв/дм<sup>3</sup>.

Допустимые погрешности результатов определения щелочности с доверительной вероятностью  $P = 0,95$  указаны в таблице 6.

Таблица 6

Допустимые погрешности результатов определения щелочности

Щелочность, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Погрешность, %
0,1	20–30
0,2	15–20
0,5	10–15
1,0	5–10
2,0	2–5
5,0	1–2
10,0	1

## 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦВЕТНОСТИ, ФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД

Аппаратура, материалы, реактивы (ГОСТ 3351-74):

- Фотоэлектроколориметр любой марки с набором кювет;
- пипетки мерные по ГОСТ 29227, вместимостью 25, 50, 100 см<sup>3</sup>;
- пипетки мерные по ГОСТ 29227, вместимостью 1, 2, 5, 10 см с делениями 0,1 см;
- колбы мерные вместимостью 50, 100 см<sup>3</sup>;
- воронки стеклянные;
- серная кислота, ГОСТ 4204-77;

- калий двухромовый кислый;
- кобальт сернокислый.

### 6.1 Ход определения

Осветленную воду после коагуляции отфильтровывают от взвешенных веществ (около 50 см<sup>3</sup>) и измеряют оптическую плотность на фотоэлектроколориметре при  $\lambda = 413$  нм и кювета с толщиной поглощающего свет слоя 50 мм. Холостой пробой служит дистиллированная вода.

### 6.2 Построение градуировочного графика

Градуировочный график строится по шкале цветности. Для этого в каждый цилиндр Несслера вносят раствор № 1 и раствор № 2 в соотношениях, указанных в таблице 6. Затем определяют оптические плотности растворов и строят графическую зависимость градусов цветности от плотности растворов или рассчитывают математически.

Таблица 7

Раствор №1	0	1	2	3	4	5	6	8	10	12
Раствор №2	100	99	98	97	96	95	94	92	90	88
Градусы цветности	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60

## 7 ПОРЯДОК РАБОТЫ НА КФК-3-01

### 7.1 Подготовка фотометра к работе

- Установить прибор на рабочем месте (следить за тем, чтобы на фотометр не падали прямые солнечные лучи).
- Тумблер «Сеть» установить в выключенном положении. Открыть крышку кюветного отделения.
- Подсоединить фотометр к сети 220 В. Включить тумблер «Сеть».
- На верхнем индикаторе отобразится символ завода-изготовителя, на нижнем — «Прогрев прибора».
- По истечении 2,5 минут на верхнем индикаторе отобразится надпись «КФК-3-01».
- По истечении 10 минут фотометр издает звуковой сигнал готовности к работе и на нижнем индикаторе отобразится надпись «Готов к работе», введите режим. Фотометр готов к работе.

### 7.2 Порядок работы

- Ручкой установки длин волн установить необходимую длину волны.

Установку длин волн необходимо выполнять подводкой со стороны коротких волн к более длинным.

— Установить в кюветное отделение кюветы с холостой пробой и исследуемым раствором. Кювету с холостой пробой установить в дальнее гнездо юветодержателя, а кювету с исследуемым раствором — в ближнее гнездо (рабочая длина кюветы выбирается в соответствии с методикой определения). При установке кювет нельзя касаться рабочих участков поверхностей (ниже уровня жидкости в кювете). Жидкость наливается в кюветы до метки на боковой стенке. Ручку перемещения кювет установить в крайнее левое положение, при этом в световой пучок вводится кювета с холостой пробой. Закрывать крышку кюветного отделения.

— Клавишей выбора режима «Д» выбрать режим измерения оптической плотности «А».

— Нажать клавишу «#». На нижнем индикаторе отобразится «Градуировка», через 3–5 секунд данная запись исчезнет и вместо нее отобразится «Измерение», на нижней строке ( $0,000 \pm 0,002$ ). Если значение «0,000» отобразилось с большим отклонением, повторно нажать клавишу «#».

— Ручку перемещения кювет установить вправо до упора. При этом в световой пучок вводится кювета с исследуемым раствором. На нижнем индикаторе отобразится значение оптической плотности.

— Кювету с исследуемым раствором после измерения вынимают из кюветодержателя, выливают раствор, а кювету опрокидывают на фильтр, чтобы избежать попадания капель раствора на боковую поверхность кювет.

— Кювету ополаскивают дистиллированной водой и заполняют следующим исследуемым раствором.

### **7.3 Порядок окончания работы**

— Слить исследуемые растворы и холостую пробу из кювет. Кюветы хорошо промыть мыльным раствором и залить дистиллированной водой.

— Тумблер «Сеть» отключить.

— Закрывать крышку кюветодержателя.

— Вынуть шнур из сети.

## **8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОРОДНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ (PH)**

Аппаратура, материалы, реактивы:

— рН-метр любой марки;

— электроды;

— стеклянные стаканы вместимостью  $100 \text{ см}^3$ .

### **8.1 Порядок работы с прибором**

Клавишей «Выбор» рН-метра выбрать режим «Измерение». В стеклянный стакан вместимостью 100 см<sup>3</sup> налить исследуемую воду и поставить на подставку прибора. Ввести в исследуемую пробу электрод температурный датчик. Нажать клавишу «Ввод» и на экране высветятся показания температуры раствора и рН. Дождаться стабилизации показаний и результат занести в таблицу 2.

После определения нажать клавишу «Выход». Стакан с исследуемой водой убрать, электроды ополоснуть и ввести в стакан с дистиллированной водой.

## **9 ПРАВИЛА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТЫ**

К выполнению лабораторной работы допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности.

Допущенные к работе пользуются спецодеждой — белым х/б халатом с кислотощелочной пропиткой.

Запрещается без разрешения преподавателя включать, выключать электроприборы, открывать, нюхать емкости с растворами и реактивами.

Требуется осторожности обращение со стеклянной посудой.

В случае попадания на кожу рук вредных веществ, немедленно обратиться к преподавателю. В зависимости от вещества произвести нейтрализацию растворами слабой уксусной кислотой (если это щелочь) или углекислого натрия (если это кислота).

## **10 ТРЕБОВАНИЯ К СОСТАВЛЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА**

Оформление отчета производится в соответствии с требованиями СТП ТПУ 2,5.01-99 «Система образовательных стандартов. Работы выпускные квалификационные, проекты и работы курсовые. Общие требования и правила оформления».

В основной части отчет должен включать аналитический обзор литературных данных по теме выполняемой работы, цели и задачи работы, описание методики эксперимента, результаты опыта, графические зависимости, обсуждение результатов и соответствующие выводы.

## **11 ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ**

1. Что называют коагулированием воды? От каких примесей избавляются с помощью этой операции?
2. Физико-химические основы процесса коагуляции.
3. Объяснить, почему примеси находящиеся в коллоиднодисперсном состоянии не могут образовывать крупные агрегаты?
4. Какие коагулянты используют для осуществления технологического

процесса коагуляции?

5. Привести уравнения реакции гидролиза серно-кислого алюминия. От чего зависит этот процесс?

6. Рассказать о процессе осветления воды путем фильтрования.

7. Какие преимущества имеет сернокислое железо по сравнению с сернокислым алюминием?

8. Какие фильтрующие материалы применяют в осветлительных фильтрах?

9. Какие технологические требования предъявляют к ним?

10. Физико-химические основы фильтрования.

11. Что называют контактной коагуляцией? Принцип работы контактных осветлителей.

12. Графически показать ход процесса осветления воды при фильтровании.

13. Объяснить характер протекания процесса осветления воды.

14. Почему при использовании в качестве коагулянта алюминия сернокислого, перед проведением процесса коагулирования, необходимо знать щелочность исходной воды? Показать на примере химических реакций.

15. Объяснить, что называют потерей напора в фильтре? Какие показатели работы фильтра при этом изменяются?

16. На примере химических реакций объяснить гидролиз серно-кислого железа.

17. Какие показатели изменяются после проведения процесса коагуляции с сернокислым железом?

18. Какие коагулянты применяют для очистки радиоактивных вод. Назовите наиболее эффективные.

## **12 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Шкроб М.С., Вихрев В.Ф. Водоподготовка. — М. Энергия, 1973. — 416 с.

2. Лифшиц О.В. Справочник по водоподготовке котельных установок. — М.: «Энергия», 1976. — 288 с.: ил.

3. Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике: Учебное пособие для вузов. — М.: Издательство МЭИ, 2003. — 310 с.: ил.

# КОАГУЛЯЦИЯ ВОДЫ

Методические указания для самостоятельной подготовки к  
выполнению лабораторных работ

Составитель  
Галина Анатольевна Черкашина

Подписано к печати XX.XX.XXXX. Формат 60×84/16. Бумага  
«Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл.печ.л. X,XX. Уч.-изд.л. X,XX.  
Заказ. Тираж 100 экз.

---

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