

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.

ОБЩИЙ АНАЛИЗ 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 621.182.1(076.5)

ББК 31.361я73

О-28

О-28 **Общий анализ 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. – 28 с.

УДК 621.182.1(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

Введение.....	4
1 Общие сведения	4
2 Отбор пробы	5
3 Определение основных химических показателей качества воды	6
3.1 Определение взвешенных веществ.....	6
3.2 Определение водородного показателя.....	7
3.3 Определение жесткости воды	8
3.4 Определение щелочности воды	9
3.5 Определение кислотности воды.....	11
3.6 Определение содержания хлоридов	12
3.7 Определение содержания нитритов.....	13
3.8 Определение сульфатов.....	14
3.9 Определение содержания кальция и магния	16
3.10 Определение содержания железа.....	17
3.11 Определение содержания кислорода.....	19
4 Обработка результатов анализа.....	21
5 Меры безопасности.....	23
6 Порядок проведения лабораторной работы и составление отчета...	24
7 Требования к содержанию отчета	24
8 Вопросы для самостоятельной подготовки	24
Список литературы.....	26
Приложение А. Образец титульного листа по лабораторной работе.....	27

Введение

Оборудование современных ТЭС и АЭС эксплуатируется при высоких тепловых нагрузках, что требует жесткого ограничения толщины отложений на поверхностях нагрева. Такие отложения образуются из примесей, поступающих в циклы электростанций, поэтому обеспечение высокого качества водных теплоносителей современных энергообъектов является важнейшей задачей. Для оценки качества природных вод и вод энергообъектов на различных стадиях технологического процесса должны быть представлены полные анализы воды.

При наличии полного анализа воды можно судить о ее пригодности для энергетических целей и сделать выбор соответствующих методов обработки воды, а также решить вопросы, связанные с утилизацией образующихся при этом сточных вод.

Целями лабораторной работы являются:

1. Изучение новейших методик по определению основных показателей качества природных и производственных вод.
2. Получение практических навыков по определению показателей качества воды.

Задачи лабораторного занятия:

1. Определить основные показатели качества воды.
2. Оценить качество воды и по результатам анализа наметить рациональные схемы водоподготовки.

1 Общие сведения

При выработке электрической и тепловой энергии в качестве рабочего агента, теплоносителя используют воду, чему способствует ее широкое распространение в природе и особые термодинамические свойства. Для водоснабжения энергообъектов используются воды как поверхностных, так и подземных водоисточников, а также вода циркуляционных систем предприятий и малозагрязненные сточные воды.

Вода является хорошим растворителем для многих веществ, поэтому в ней всегда содержатся различные примеси, которые образуют на теплопередающих поверхностях накипи и отложения.

Все примеси, загрязняющие воду, по степени дисперсности (крупности) подразделяются на три вида:

1. Грубодисперсные примеси (взвешенные вещества) с размером частиц более 100 нм (0,1 мкм) в природной воде – это растительные

остатки, частицы песка, глины и т. д., в производственной воде грубодисперсные примеси находятся в виде шлама, содержащего плохо растворимые вещества: CaCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и др. Присутствие в воде взвешенных частиц обуславливает мутность воды.

2. Коллоиднодисперсные примеси с размером частиц от 10^{-6} до 10^{-4} мм. В природных водах в коллоиднодисперсном состоянии находятся различные производные кремниевой кислоты и железа, а также органические вещества – продукты распада растительных и животных микроорганизмов.

3. Истинно-растворенные примеси (ионно- или молекулярнодисперсные), распределенные в воде в виде отдельных ионов, молекул. В этом состоянии в воде находятся катионы и анионы солей Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , коррозионноактивные газы O_2 , CO_2 , H_2S , N_2 . Размер этих частиц менее 10–6 мм.

Растворенные в воде примеси вызывают те или иные неполадки в работе энергетического оборудования, поэтому для оценки качества природных и производственных вод на различных стадиях технологического процесса определяются важнейшие показатели качества воды:

- концентрация грубодисперсных примесей (ГДП);
- концентрация истинно-растворенных примесей (ионный состав);
- концентрация коррозионно-активных газов;
- концентрация ионов водорода;
- технологические показатели: окисляемость, жесткость, щелочность, кислотность.

Выбор технологии водоподготовки и эффективность работы водоподготовительного оборудования зависит от представительного отбора проб воды и точного определения показателей качества воды.

2 Отбор пробы

Пробу исходной воды отбирают в чистую стеклянную или полиэтиленовую бутылку емкостью 3 литра, предварительно ополоснув ее исследуемой водой. Затем плотно закрывают крышкой. Анализ пробы должен быть выполнен в течение 8 часов после ее отбора. Отбираемая проба производственной воды должна быть охлаждена до температуры, не превышающей 40°C . Проба для определения растворенного кислорода должна быть защищена от контакта с воздухом и анализ по определению кислорода следует выполнять сразу же после отбора проб.

3 Определение основных химических показателей качества воды

В анализируемой воде определить следующие показатели качества воды:

- взвешенные вещества и прокаленный остаток;
- водородный показатель;
- общую жесткость;
- общую щелочность и ее составляющие;
- кислотность;
- содержание хлоридов;
- содержание нитритов;
- содержание сульфатов;
- содержание кальция и магния;
- содержание железа;
- содержание кислорода.

Рассчитать: а) содержание K^+ и Na^+ по разности суммы анионов (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-) и суммы катионов (Ca^{2+} и Mg^{2+}) в размерности мг-экв/дм³; б) солесодержание.

3.1 Определение взвешенных веществ

Взвешенные вещества в исходной воде представляют собой различного размера частички песка, глины, остатки растительности и других веществ, захватываемых с поверхности почвы дождевыми или талыми водами и уносимые в реки, озера. Наибольшая концентрация этих веществ в поверхностных водах наблюдается в паводковый период. В котловой и обрабатываемой воде взвешенные вещества находятся в виде шлама.

Содержание взвешенных веществ в поверхностных (исходных) водах, в котловой и обрабатываемой воде затрудняет осуществление процессов ее химической обработки.

Сущность метода определения взвешенных веществ состоит в определении фильтрованием общего содержания нерастворенных в воде частиц с последующим высушиванием и взвешиванием полученного осадка. Анализ пробы должен быть выполнен в течение 8 часов после ее отбора.

3.1.1 Проведение анализа

Перед отбором порции воды для анализа пробу тщательно перемешать для равномерного распределения взвешенных веществ. Объем порции воды составляет:

- при полной непрозрачности пробы – (50–100) см³;

- при мутной пробе – (200–400) см³;
- при незначительном присутствии взвеси отбирают (500–1000) см³.

Отобрать необходимую порцию исследуемой воды, профильтровать через предварительно высушенный при (105–110)°С и взвешенный фильтр. Остатки смыть со стакана дистиллированной водой и перенести на фильтр. Фильтр с осадком высушить при (105–110)°С до постоянной массы и взвесить вместе с фильтром, после чего вычесть массу фильтра без осадка и найти массу взвешенных веществ в пробе, а затем в одном кубическом дециметре воды.

Общее содержание взвешенных веществ ($X_{\text{общ}}$), в миллиграммах на килограмм, вычисляют по формуле:

$$X_{\text{общ}} = \frac{(g_2 - g_1)}{V} 1000,$$

где g_2 – масса фильтра с осадком взвешенных веществ после высушивания, г; g_1 – масса высушенного фильтра без осадка, г; V – объем пробы, взятой для определения, см³.

3.2 Определение водородного показателя

Концентрации водородных ионов рН – один из важнейших показателей качества воды, по которому можно определить, щелочная вода или кислая и учитывается при всех видах обработки воды.

Воду по величине рН можно проклассифицировать:

- кислая, рН = (1–3);
- слабокислая, рН = (4–6,5);
- нейтральная, рН = 7;
- слабощелочная, рН = (7,5–10);
- щелочная, рН = (11–14).

3.2.1 Проведение анализа

Для определения рН пользуются двумя методами.

Первый способ дает возможность определить только целые значения рН. Для этого полоску универсальной индикаторной бумаги погрузить в анализируемую жидкость, вынуть и сразу же сравнить ее окраску со стандартной шкалой.

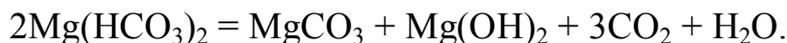
Второй способ состоит в определении рН с использованием измерительного преобразователя рН-метра «Мультитест ИПЛ-311». В стеклянный стакан отмерить 100 см³ исследуемой воды и поставить на подставку штатива. Измерительные электроды погрузить в стакан. На приборе с помощью клавиши «ВЫБОР» выбрать режим «Измерение», за-

тем нажать клавишу «ВВОД» и записать значение рН, появившееся на экране прибора.

3.3 Определение жесткости воды

Одним из основных факторов, определяющих пригодность воды для теплоэнергетических целей, является ее жесткость. Общей жесткостью воды J_0 называется суммарная концентрация катионов-накипеобразователей – кальция и магния и выражается в мг-экв/дм³. По преобладающему катиону общая жесткость подразделяется на кальциевую J_{Ca} и магниевую J_{Mg} . По содержанию растворенных в воде солей жесткости, общая жесткость подразделяется на *карбонатную* (временную) и *некарбонатную* (постоянную).

Карбонатной (временной) жесткостью называется часть общей жесткости, эквивалентной концентрации растворенных в воде гидрокарбонат-ионов и карбонат-ионов $Ca(HCO_3)_2$ и $Mg(HCO_3)_2$, $CaCO_3$, $MgCO_3$, которые при кипячении переходят в нерастворимые соли и выпадают в осадок с последующим удалением из воды:



Некарбонатная (постоянная) жесткость создается нитритами, хлоридами, сульфатами магния и кальция, не выпадающими в осадок при кипячении.

Природная вода классифицируется по величине общей жесткости J_0 , мг-экв/дм³:

- малая (очень мягкая вода), $J_0 < 1,5$;
- средняя, $J_0 < (1,5-3,0)$;
- повышенная, $J_0 = (3,0-6,0)$;
- высокая, $J_0 = (6,0-12,0)$;
- очень высокая, $J_0 > 12,0$.

Жесткие воды образуют плотные отложения на теплопередающих поверхностях.

Наиболее точный и распространенный метод определения общей жесткости комплексонометрический, основанный на образовании ионами Ca^{2+} и Mg^{2+} прочных внутрикомплексных соединений с трилоном Б, при этом окраска, образованная свободными ионами кальция и магния с индикатором, претерпевает резкое изменение от вино-красной к синефиолетовой. В качестве индикатора используется эриохром черный. Метод позволяет определять жесткость исходной воды и производственных вод (умягченной, питательной, котловой и т. д.).

3.3.1 Проведение анализа

При определении общей жесткости используются следующие реактивы:

- а) раствор трилона Б для титрования 0,1 Н концентрации;
- б) аммиачно-буферный раствор;
- в) индикатор эриохром черный (порошок).

Определение общей жесткости проводится в следующем порядке:

1) в коническую колбу отмерить мерным стаканом 100 см³ исследуемой воды;

2) к исследуемой воде с помощью мерной бюретки добавить 5 см³ аммиачно-буферного раствора;

3) добавить 1 ложечку сухого порошка эриохрома черного, раствор тщательно перемешать;

4) титровать рабочим раствором трилона 0,1 Н концентрации до перехода вишнево-красной окраски в сине-фиолетовую. Титрование ведут медленно, прибавляя по каплям трилон Б при перемешивании жидкости. Перемешивание проводят вращательным движением, не встряхивая колбу. Записать результаты титрования, т. е. расход трилона Б, вычислить значение общей жесткости в мг-экв/дм³ по формуле:

$$Ж_0 = \frac{a \cdot N \cdot 1000}{V},$$

где a – расход трилона Б на титрование пробы воды, см³; N – нормальность рабочего раствора трилона Б, мг-экв/дм³; V – объем пробы воды, см³; 1000 – пересчет к 1 дм³.

Расхождение между параллельными пробами не должно превышать 1 %.

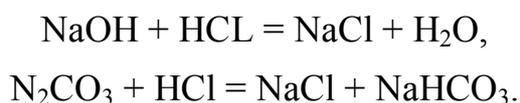
3.4 Определение щелочности воды

Общей щелочностью воды $Щ_0$, мг-экв/дм³ называется суммарная концентрация всех анионов слабых кислот и ионов гидроксидов за вычетом концентрации ионов водорода и подразделяется на гидратную (равную концентрации ионов гидроксидов OH^-) и определяемая с индикатором фенолфталеином; гидрокарбонатную (HCO_3^-), карбонатную (CO_3^{2-}), силикатную ($HSiO_3^-$, SiO_3^{2-}) и фосфатную ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}).

Обычно в природных водах гидрокарбонатная (бикарбонатная) щелочность существенно преобладает над другими видами щелочности, поэтому ее значение без большой погрешности выражает общую щелочность воды.

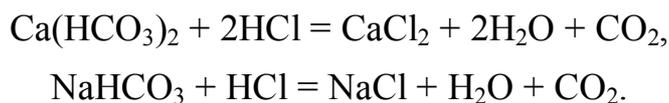
Сущность метода определения общей щелочности состоит в нейтрализации щелочных компонентов соляной кислотой в присутствии индикаторов фенолфталеина и метилоранжа.

При титровании пробы воды соляной кислотой в присутствии фенолфталеина произойдет связывания гидратов и разрушение карбонатов с образованием эквивалентного количества бикарбонатов по следующим реакциям:



Завершение указанных реакций взаимодействия устанавливается по исчезновению розовой окраски титруемой пробы, т. к. к бикарбонатам фенолфталеин не чувствителен.

Титрование содержащихся в воде бикарбонатов, а также бикарбонатов, получившихся в результате разложения карбонатов, производится той же соляной кислотой в присутствии метилоранжа. При этом образуются нейтральные соли и углекислота.



Завершение реакций взаимодействия кислоты со щелочными компонентами воды устанавливается по изменению цвета раствора из желтого в оранжевый.

3.4.1 Проведение анализа

Для определения щелочности необходимы следующие реактивы:

- а) раствор соляной кислоты HCl 0,1Н;
- б) раствор едкого натра NaOH 0,1Н концентрации;
- в) спиртовой раствор фенолфталеина 1 %-ной концентрации;
- г) водный раствор метилоранжа 0,1 %-ной концентрации.

Определение общей щелочности проводится в следующем порядке:

1) в коническую колбу емкостью 250 см³ отмерить мерным стаканом 100 см³ исследуемой воды;

2) добавить 5–7 капель фенолфталеина и окрасившийся в розовый цвет раствор титруют 0,1Н раствором соляной кислоты (HCl) до обесцвечивания;

3) отметить расход кислоты на титрование. Раствор не выливать!

Если же после введения фенолфталеина раствор не окрасится в розовый цвет, это указывает на отсутствие в растворе гидратов и карбонатов.

4) затем в этот же раствор добавить 3–5 капель метилоранжа и получившийся желтого цвета раствор титровать тем же раствором соляной кислоты до перехода окраски в оранжевую. Достижение красной окраски свидетельствует об излишке прибавленной кислоты – проба перетитрована, в этом случае определение следует повторить.

5) отметить общий расход кислоты на титрование (включая и расход кислоты на титрование с фенолфталеином).

Титрование ведут при интенсивном перемешивании. Для получения более надежных результатов рекомендуется проводить титрование двух параллельных проб анализируемой воды. Расхождения не должны превышать $0,1 \text{ см}^3$ раствора кислоты.

Общую щелочность в мг-экв/дм³ определяют по формуле:

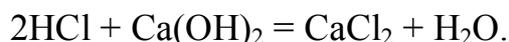
$$\text{Щ}_o = \frac{N \cdot a \cdot 1000}{V} = \frac{0,1 \cdot a \cdot 1000}{100} = a,$$

где N – нормальность раствора соляной кислоты (0,1); a – расход соляной кислоты, пошедшей на титрование, см^3 ; V – объем пробы, взятой для анализа (100 см^3); 1000 – пересчет к 1 дм^3 .

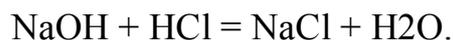
3.5 Определение кислотности воды

Кислотностью называется содержание в воде веществ, вступающих в реакцию с сильными щелочами (едким натром, едким кали). В обычных природных водах кислотность в большинстве случаев зависит только от содержания свободной растворенной двуокиси углерода. Естественную часть кислотности также могут создавать гуминовые и другие слабые органические кислоты. Во всех этих случаях рН воды обычно не бывает ниже 4,5. Некоторые промышленные сточные воды часто содержат большие количества сильных свободных кислот или их кислых солей при этом рН воды может быть ниже 4,5.

Определяют кислотность методом нейтрализации:



В зависимости от силы реагирующих кислот и основания в точке эквивалентности раствор может быть нейтральным, слабокислым или слабощелочным. При взаимодействии сильного основания и сильной кислоты образуется соль, не подвергающаяся гидролизу, например:



В этом случае полученный при титровании раствор будет нейтральным $\text{pH} = 7$. Для определения точки эквивалентности можно применить в качестве индикатора лакмус, фенолфталеин и метилоранж.

Так как кислоты, содержащиеся в природных водах, имеют малую степень диссоциации, т. е. являются слабыми, то при определении кислотности в качестве титрующего раствора берут едкий натр 0,1Н концентрации в присутствии фенолфталеина.

3.5.1 Проведение анализа

Для определения кислотности необходимы следующие реактивы:

- а) раствор едкого натра (NaOH) 0,1Н концентрации;
- б) раствор фенолфталеина 1 %-ной концентрации.

Определение кислотности проводится в следующем порядке:

- 1) в коническую колбу емкостью 250 см³ отмерить мерным стаканом 100 см³ исследуемой воды;
- 2) прибавить в раствор 2–3 капли фенолфталеина;
- 3) пробу титровать 0,1Н раствором едкого натра NaOH до появления слабозимной окраски, не исчезающей 1–2 минуты.

Величину кислотности в мг-экв/дм³ определяют по формуле:

$$K = \frac{a \cdot N \cdot 1000}{V},$$

где a – расход 0,1Н раствор едкого натра (NaOH), пошедшего на титрование пробы, см³; N – нормальность рабочего раствора едкого натра (NaOH); V – объем пробы воды, см³.

3.6 Определение содержания хлоридов

Хлориды являются составной частью большинства природных вод и относятся к числу устойчивых примесей, так как они не образуют труднорастворимых соединений и не подвергаются гидролизу. Наличие большого количества хлоридов в воде является показателем загрязнения воды бытовыми и промышленными сточными водами.

Для определения концентрации хлоридов в исходных и производственных водах используют ртутный (меркурометрический) метод. Этот метод основан на образовании при рН = (2,4–2,6) весьма мало растворимой соли HgCl₂ при добавлении к раствору, содержащему ионы хлорида, ионов Hg²⁺ в виде азотнокислой ртути.

3.6.1 Проведение анализа

Для определения концентрации хлоридов необходимы следующие реактивы:

- а) азотная кислота HNO₃, 0,5 %-й раствор;
- б) нитрат ртути (Hg(NO₃)₂), 0,05Н раствор;
- в) индикатор дифенилкарбазон.

Определение хлоридов проводится в следующем порядке:

1) в коническую колбу мерным стаканом отмерить 100 см³ исследуемой воды;

2) добавить в раствор 5–6 капель индикатора дефинилкарбазона, раствор окрасится в синеватый или фиолетовый цвет;

3) полученный раствор нейтрализовать раствором азотной кислоты (HNO₃) (добавить (1,5–2,0) см³) до появления желтой или зеленовато-желтой окраски.

4) нейтрализованную пробу титровать раствором азотнокислой ртути (H(NO₃)₂), до сине-сиреневого цвета.

Величину Cl⁻ ионов в мг/дм³ определяют по формуле:

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

где a – объем раствора азотнокислой ртути (II) Hg(NO₃)₂, израсходованного на титрование, см³; b – объем раствора Hg(NO₃)₂, израсходованного на титрование контрольного опыта, см³; V – объем пробы, взятой для анализа, см³; N – нормальность раствора азотнокислой ртути Hg(NO₃)₂.

3.7 Определение содержания нитритов

Нитриты являются промежуточными продуктами сложного процесса минерализации органических веществ. Их присутствие в больших количествах свидетельствует о загрязнении воды сточными водами.

Метод определения содержания нитритов основан на диазотировании сульфаниловой кислоты присутствующими в воде нитритами и реакции полученной соли с α -нафтиламином с образованием красно-фиолетового цвета. Интенсивность окраски пропорциональна концентрации нитритов. Этим методом можно определить (0,003–0,3) мг/дм³ нитритов.

Для определения нитритов используют фотоколориметр при длине волны 520 нм и кюветы толщиной слоя (30–50) мм. При содержании нитритов, превышающих верхний предел, пробу воды следует разбавлять.

3.7.1 Проведение анализа

Для определения содержания нитритов необходимы следующие реактивы:

- а) основной стандартный раствор азотнокислого натрия (NaNO₃);
- б) рабочий стандартный раствор азотнокислого натрия;
- в) реактив Грисса.

Определение нитритов проводится в следующем порядке:

1) в коническую мерную колбу емкостью 50 см³ отмерить 40 см³ анализируемой воды;

2) прилить с помощью бюретки 2 см³ реактива Грисса, перемешать;

3) поставить колбу с анализируемой водой на водяную баню, нагретую до температуры 50–60°C на 10 минут;

4) вынуть колбу из водяной бани, долить дистиллированной водой до метки (до 50 см³), перемешать;

5) измерить на фотоэлектрическом колориметре оптическую плотность окрашенной жидкости;

6) измерить оптическую плотность раствора сравнения. В качестве раствора сравнения используют дистиллированную воду с 2 см³ реактива Грисса, проведенную через все операции по определению нитритов.

7) из найденной величины оптической плотности анализируемой воды вычесть значение оптической плотности раствора сравнения.

Концентрацию нитритов (NO₂⁻) в мг/дм³ вычисляют по формуле:

$$\text{NO}_2^- = \frac{50 \cdot C}{40},$$

где C – массовая концентрация, найденная по калибровочной кривой; 40 – объем анализируемой воды, см³, 50 – объем стандартного раствора, см³.

Допускаемые расхождения между двумя параллельными определениями не должны превышать 10 %.

3.7.2 Калибровочная кривая

Для построения калибровочной кривой в ряд мерных колб вместимостью 50 см³ налить 0; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0; 15,0 см³ рабочего раствора и довести объем до метки (до 50 см³) дистиллированной водой. Приготовленные растворы содержат 0; 0,002; 0,004; 0,01; 0,02; 0,04; 0,1; 0,2; 0,3 мг/дм³ нитритов. В приготовленных эталонах определяют нитриты вышеописанным методом. По полученным результатам строят график в координатах: «X» – концентрация нитритов, мг/дм³; «Y» – оптическая плотность. График должен быть прямолинейным.

3.8 Определение сульфатов

Содержание сульфатов в поверхностных и грунтовых водах обусловлено выветриванием пород и биохимическими процессами в водоносных слоях. Их содержание определяет некарбонатную жесткость воды. Содержание сульфатов в природных водах может быть повышенным вследствие сброса в них сточных вод с соединениями серы.

Содержание сульфат – ионов определяется качественно и количественно.

Для количественного определения сульфатов приводится турбометрический метод, сущность которого основана на определении сульфат – иона в виде $BaSO_4$ в солянокислой среде с помощью гликолевого реагента. Количественное определение сульфатов проводится на фотоэлектроколориметре со светофильтром при длине волны 364 нм, кюветы толщиной слоя 20 мм.

3.8.1 Проведение анализа

Для качественного определения содержания сульфатов необходимы следующие реактивы:

- а) соляная кислота (HCl) концентрации (1:1);
- б) хлорид бария ($BaCl_2$) 10 %-ный раствор.

3.8.2 Качественное определение

Отмерить 10 см^3 исследуемой пробы воды и подкислить 3–5 каплями соляной кислоты, затем прибавить $0,5\text{ см}^3$ 10 %-ного раствора хлорида бария. Слабое помутнение раствора указывает о содержании (5–50) мг/дм^3 сульфатов. Выпадение осадка указывает о более высоком содержании сульфатов.

3.8.3 Количественное определение

Для количественного определения сульфатов необходимы следующие реактивы:

- а) стандартный раствор сернокислого калия, 1 см^3 раствора содержит 0,5 мг сульфат-иона;
- б) рабочий стандартный раствор сернокислого калия, 1 см^3 раствора содержит 0,05 мг сульфат-иона;
- в) гликолевый реагент;
- г) раствор соляной кислоты (HCl) (1:1);
- д) гликолевый раствор сравнения (приготовленный без раствора $BaCl_2$).

Определение сульфат-ионов проводится в следующем порядке:

- 1) в кювету вместимостью 10 см^3 отобрать 5 см^3 исследуемой пробы воды;
- 2) добавить в раствор 1–2 капли соляной кислоты HCl (1:1);
- 3) добавить 5 см^3 гликолевого реагента, тщательно перемешать и оставить на 30 минут;
- 4) измерить оптическую плотность исследуемого раствора;
- 5) измерить оптическую плотность гликолевого раствора сравнения;
- 6) вычесть из величины оптической плотности исследуемого раствора величину оптической плотности раствора сравнения.

Содержание сульфатов находят по калибровочной кривой.

3.8.4 Калибровочная кривая

Для построения калибровочной кривой в ряд мерных колб на 50 см³ внести 0,0; 0,1; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0 см³ основного стандартного раствора и доводят объем до метки дистиллированной водой. Приготовленные растворы содержат 0,0; 1,0; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0; 14,0; 16,0; 18,0; 20,0 мг/дм³ сульфатов. В приготовленных растворах определяют оптическую плотность вышеуказанным методом. Строят калибровочный график в координатах (Y) – оптическая плотность, (X) – концентрация сульфатов.

Содержание сульфатов (SO₄²⁻) в мг/дм³ находят по формуле:

$$SO_4^{2-} = \frac{100 \cdot C}{V},$$

где C – концентрация сульфатов, найденная по калибровочной кривой, мг/дм³; V – объем пробы, взятой для анализа, см³; 100 – объем, до которого разбавлена проба, см³.

3.9 Определение содержания кальция и магния

Содержание ионов кальция является очень важной технической характеристикой воды. Магниево-соли являются постоянной составной частью грунтовых и поверхностных вод. Содержание их определяется геологическими условиями в водоносных слоях. Концентрация магниевых солей, обычно не превышает концентрацию кальциевых солей.

Содержание катионов кальция и магния определяется в исходных и производственных водах комплексонометрическим методом, сущность, которого состоит в связывании ионов кальция и магния в прочные внутрикомплексные соединения с трилоном Б. Для определения содержания магния Mg²⁺ можно применить двойное титрование раствором трилона Б: сначала определяют кальций, затем после нейтрализации пробы раствором соляной кислоты – магний.

Весь израсходованный на титрование объем трилона Б соответствует жесткости воды.

3.9.1 Проведение анализа

Для трилонометрического определения кальция и магния необходимы следующие реактивы:

- а) аммиачно-буферный раствор;
- б) трилон Б 0,1Н концентрации;
- в) индикатор кислотный хром темно-синий 0,5 %;
- г) едкий натр NaOH, 2Н раствор;
- д) соляная кислота HCl, 1Н раствор.

Определение кальция и магния проводится в следующем порядке:

- 1) в мерную коническую колбу отмерить 100 см^3 исследуемой пробы воды;
- 2) к раствору добавить 2 см^3 2Н раствора едкого натра и выждать 5 минут;
- 3) добавить 5 капель индикатора хром темно-синего и перемешать;
- 4) титровать раствором трилона Б до перехода окраски жидкости от розово-красной до фиолетово-голубого цвета. Отметить расход трилона Б. Израсходованный объем трилона Б равен содержанию кальция. Раствор не выливать!

В исследуемом растворе определить содержание магния:

- 1) исследуемый раствор нейтрализовать (добавить) около 2 см^3 2Н раствора соляной кислоты, раствор приобретет красный цвет;
- 2) добавить 5 см^3 аммиачно-буферного раствора, перемешать;
- 3) титровать трилоном Б до перехода красного окрашивания в фиолетово-голубое.

Содержание кальций-ионов в исследуемой воде в мг/дм^3 вычисляют по формуле:

$$\text{Ca}^{2+} = \frac{a \cdot N \cdot E \cdot 1000}{V},$$

где a – расход рабочего раствора трилона Б, см^3 ; N – нормальность раствора трилона Б (0,1Н); V – объем пробы, взятой для анализа (100 мл); E – эквивалентная масса кальция; 1000 – пересчет к 1 дм^3 .

Содержание магний-ионов в мг/дм^3 (X) или мг-экв/дм^3 (Y) вычисляют по формулам:

$$X = \frac{a \cdot k \cdot N \cdot E \cdot 1000}{V},$$

$$Y = \frac{a \cdot k \cdot N \cdot 1000}{V},$$

где a – объем раствора трилона Б, израсходованного при титровании пробы после нейтрализации 2Н раствором соляной кислоты HCl; V – объем пробы, взятой для анализа, см^3 ; E – эквивалентная масса магния; N – нормальность трилона Б; 1000 – пересчет к 1 дм^3 .

3.10 Определение содержания железа

Железо в природных водах встречается в виде двухвалентных ионов железа преимущественно в виде бикарбоната $\text{Fe}(\text{HCO}_3)$ и в виде коллоидных, а также комплексных органических и неорганических со-

единений двух- и трехвалентного железа. В поверхностных водах обычно содержится трехвалентное железо Fe^{3+} , которое легко подвергается гидролизу с образованием труднорастворимого $\text{Fe}(\text{OH})_3$, поэтому находится в воде преимущественно в коллоидной форме. В подземных водах ионы железа могут находиться в основном в виде ионов Fe^{2+} , которые с большинством ионов не образуют труднорастворимых солей и практически не подвергаются гидролизу и присутствуют в воде в виде гидрокарбоната двухвалентного железа $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ в истинно растворенном состоянии.

Для определения общего содержания железа в различных водах предлагается колориметрический метод определения с сульфосалициловой кислотой. Определение основано на реакции сульфосалициловой кислоты с солями железа в щелочной среде с образованием желтого комплекса железа. Этим способом можно определить $(0,1-10)$ мг/дм³ железа в исходных и производственных водах.

Для определения содержания железа используется фотоколориметр с фиолетовым светофильтром с длиной волны $\lambda = (400-430)$ нм и кюветы с толщиной слоя 2–5 мм.

3.10.1 Проведение анализа

Для определения содержания железа необходимы следующие реактивы:

- а) хлорид аммония 2Н раствор;
- б) аммиак (1:1) раствор;
- в) сульфосалициловая кислота, 20 %-ный раствор;
- г) азотная кислота концентрированная;
- д) рабочий стандартный раствор.

Определение железа проводится в следующем порядке:

- 1) в мерный стакан емкостью 250 см³ отмерить 100 см³ исследуемой воды;
- 2) добавить 0,5 см³ концентрированной азотной кислоты, поставить на плитку и упарить до объема 50–60 см³;
- 3) полученный раствор профильтровать, собирая фильтрат в мерную колбу;
- 4) фильтр промыть, а полученный фильтрат в колбе довести дистиллированной водой до объема около 90 см³;
- 5) к полученному раствору прилить 2 см³ хлорида аммония NH_4Cl и перемешать;
- 6) прилить 2 см³ раствора сульфосалициловой кислоты;

- 7) прилить 2 см³ раствора аммиака (1:1);
- 8) полученный раствор в мерной колбе долить до 100 см³ дистиллированной водой, тщательно перемешать и оставить на 5 минут;
- 9) измерить оптическую плотность исследуемого раствора;
- 10) измерить оптическую плотность холостого определения, проведенного таким же образом с дистиллированной водой.

Из величины оптической плотности исследуемого раствора вычесть значение оптической плотности холостого определения и по калибровочной кривой найти содержание железа.

Содержание железа в мг/дм³ вычисляют по формуле:

$$\text{Fe}^{3+} = \frac{C \cdot 100}{V},$$

где C – концентрация железа, найденная по калибровочной кривой, мг/дм³; V – объем пробы, взятой для анализа, см³; 100 – объем, до которого разбавлена проба, см³.

3.10.2 Калибровочная кривая

Для построения калибровочной кривой в ряд мерных колб наливают 0; 1,0; 2,0; 4,0; 10,0; 20,0; 40,0; 60,0; 80,0; 100,0 см³ рабочего стандартного раствора, что соответствует концентрациям 0; 0,1; 0,2; ... 10,0 мг железа в 1 дм³. В приготовленных таким образом эталонах определяют железо вышеуказанным методом. Вычитают оптическую плотность холостого определения из оптической плотности анализируемого раствора и строят график в координатах: « Y » – оптическая плотность; « X » – концентрация железа.

3.11 Определение содержания кислорода

Все природные воды, соприкасаясь с воздухом, растворяют в себе кислород, углекислый газ, сероводород, аммиак, которые являются главными коррозионными агентами, вызывающими неполадки в работе энергетического оборудования. Поэтому дегазация является обязательной стадией обработки питательной воды паровых котлов. Содержание кислорода также имеет значение при оценке качества поверхностных вод, некоторых сточных вод.

Для определения растворенного кислорода применяется колориметрический метод с применением метиленового голубого раствора. Этот метод основан на свойстве метиленового голубого раствора изменять окраску. Под действием восстановителей вещество превращается в бесцветное лейкосоединение, при окислении вновь образуется синее окрашивание.

3.11.1 Проведение анализа

Для проведения анализа необходимы следующие реактивы:

- а) раствор метиленового голубого;
- б) 30 %-ный раствор едкого калия КОН;
- в) восстановленный раствор метиленового голубого;
- г) стандартный раствор метиленового голубого.

Приготовление восстановленного раствора метиленового голубого: 50 см^3 глициринового раствора метиленового голубого смешивают с 1 см^3 30 %-ного раствора КОН и заливают в бюретку с тонко оттянутым концом; сверху в бюретку заливают слой вазелинового масла толщиной 2–3 см, чтобы защитить раствор от контакта с воздухом; восстановление протекает медленно (в течение часа), раствор при этом обесцвечивается.

Определение кислорода проводят в следующем порядке:

1) мерную колбу емкостью $(250\text{--}300) \text{ см}^3$ установить в небольшое ведро диаметром 150 мм и высотой 200 мм (см. рис.1);

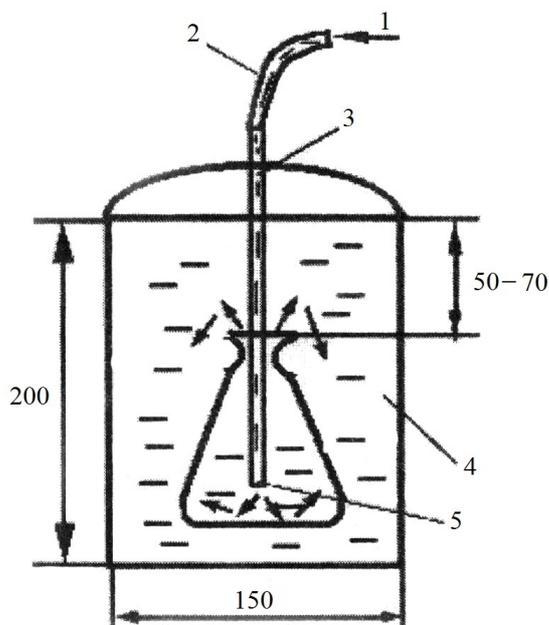


Рис. 1. Отбор проб для определения кислорода:

- 1 – подвод воды; 2 – резиновая трубка;
3 – стеклянная трубка; 4 – ведро;
5 – колба-склянка на $(250\text{--}300) \text{ см}^3$

2) опустить на дно колбы стеклянную трубку ($d = 4\text{--}5 \text{ мм}$) с наде-той на нее резиновым шлангом, присоединенным к источнику воды;

3) пропустить исследуемую воду с температурой не выше 30°C по стеклянной трубке до заполнения колбы;

4) воду продолжают наливать до тех пор, пока слой воды над колбой будет 50–70 мм поток воды должен быть спокойным, попадание пузырьков воздуха в колбу должно быть исключено;

5) после заполнения колбы и ведерка водой трубку из колбы осторожно вынуть;

6) в колбу, находящуюся под водой, из бюретки с восстановленным бесцветным раствором метиленового голубого ввести 2 см³ раствора;

7) колбу под слоем воды закрыть плотно пробкой и вынуть из ведерка;

8) содержимое колбы перемешать и через 1 минуту сравнить окраску пробы с окрасками растворов стандартной шкалы.

Для приготовления шкалы стандартов в восемь мерных колб на 200 см³ отмеривают 0; 5; 10; 20; 30; 40; 60; 100 см³ стандартного раствора метиленового голубого, затем доливают дистиллированной водой до метки. Полученная окраска растворов соответствует содержанию кислорода мкг/дм³ – 0; 2,5; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0; 30,0; 50,0.

4 Обработка результатов анализа

Обработка результатов анализа проводится каждым студентом индивидуально, для этого необходимо:

1. Результаты анализа выразить в весовой и эквивалентной формах и занести в таблицу 1.

Таблица 1. – Показатели качества воды

Жесткость, мг-экв/дм ³					Щелочность, мг-экв/дм ³		рН	O ₂	Взвешенные вещества, г/дм ³	Солесодержание, г/дм ³
Общая, Ж _о	Кальциевая, Ж _{Ca}	Магниевая, Ж _{Mg}	Карбонатная, Ж _к	Некарбонатная, Ж _{нк}	Гидратная (ОН ⁻), Щ _г	Бикарбонатная (НСО ₃ ⁻), Щ _{бк}				

2. Рассчитать общее солесодержание воды, выраженное в мг/дм³ и проклассифицировать исследуемую воду по солесодержанию.

3. Определить концентрацию ионов натрия и калия.

Определение в воде концентрации ионов Na⁺ и K⁺ является очень трудоемким, поэтому часто производят только вычисления суммарной концентрации, основываясь на указанном равенстве сумм эквивалентных концентраций катионов, что и предполагается производить в дан-

ной работе. Для этого необходимо все катионы и анионы, находящиеся в воде, вычислить в размерности мг-экв/дм³, причем в данном случае будет справедливо неравенство $\sum \text{Ан} > \sum \text{Кат}$. Разность относят на счет ионов Na⁺ и K⁺. Учитывая то обстоятельство, что в природных водах концентрация K⁺ (калия) относительно мала по сравнению с концентрацией Na⁺ (натрия), поэтому найденную разность умножают на эквивалентный вес Na⁺.

4. Проклассифицировать исследуемую воду по преобладающему в воде катиону, аниону (табл. 2).

Таблица 2. Ионный состав воды

Катионы								Анионы							
Ca ²⁺		Mg ²⁺		Na ⁺		Fe ²⁺		HCO ₃ ⁻		SO ₄ ²⁻		Cl ⁻		NO ₂ ⁻	
мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л	мг/л	мг-экв/л

5. Проклассифицировать исследуемую воду по величине общей жесткости.

6. Проклассифицировать исследуемую воду по величине рН.

7. Проверить правильность проведения анализа.

Проверка правильности анализа производится по следующим показателям:

а) правильность проведения анализа должна подтверждаться выполнением закона электронейтральности $\sum \text{Ан} = \sum \text{Кат}$, мг-экв/дм³. Чтобы проверить данные по этому критерию, пересчитывают концентрации отдельных ионов в миллинормальные, т. е. выражают в мг-экв/дм³. Для этого делят величины концентраций, выраженных в мг/дм³, на эквивалентный вес соответствующего иона или умножают на фактор пересчета, представляющий собой единицу, деленную на эквивалентный вес иона (табл. 3).

Например:

$$\frac{\text{Ca}^{2+}}{20,04} + \frac{\text{Mg}^{2+}}{12,16} + \frac{\text{Na}^{2+}}{23,0} = \frac{\text{HCO}_3^-}{61,02} + \frac{\text{SO}_4^{2-}}{48,08} + \frac{\text{Cl}^-}{35,46} + \frac{\text{NO}^-}{62,01},$$

где в числителях приведены концентрации катионов и анионов в мг/дм³, а в знаменателях – соответствующие эквивалентные веса.

Таблица 3. Эквивалентный вес / фактор пересчета

Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Fe ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl	NO ₂ ⁻
<u>20,04</u> 0,0499	<u>12,16</u> 0,08224	<u>23,0</u> 0,04348	<u>27,93</u> 0,03581	<u>61,02</u> 0,01639	<u>48,08</u> 0,02082	<u>35,45</u> 0,0282	<u>46,0</u> 0,02174

Возможная погрешность не должна превышать 1 %:

$$x = \frac{100 \cdot \sum \text{Кат} - \sum \text{Ан}}{\sum \text{Кат} - \sum \text{Ан}},$$

если погрешность x превышает 1 %, то следует проверить качество анализа отдельных ионов или повторить весь анализ;

б) величина общей жесткости должна равняться сумме концентраций кальция и магния, выраженных в мг-экв/дм³:

$$Ж_0 = \frac{Ca^{2+}}{20,04} + \frac{Mg^{2+}}{12,16};$$

в) величина общей жесткости должна равняться сумме величин жесткости карбонатной и некарбонатной:

$$Ж_0 = Ж_к + Ж_{нк};$$

г) концентрация бикарбонатного иона HCO₃⁻ – выраженная в мг-экв/дм³ должна быть:

– при $Ж_0 > Щ_0$ $(HCO_3^-)_0 = Ж_к = Щ_0$;

– при $Ж_0 < Щ_0$ $(HCO_3^-)_0 = Щ_0$, $Ж_0 = Ж_к$, $Ж_{нк} = 0$.

Суммарная концентрация всех катионов и анионов в воде определяет ее солесодержание, при этом не учитываются анионы кремниевой кислоты из-за неопределенности сведений об их концентрации и полуторные оксиды железа Fe₂O₃.

5 Меры безопасности

Выполнение данной лабораторной работы, связанное с использованием кислот (HCl, H₂SO₄, HNO₃), щелочами (NaOH, KOH), должно проводиться в отдельной хорошо вентилируемой лаборатории. Кислоты и щелочи при попадании на кожу могут вызвать ожог, поэтому необходимо применять меры, прежде всего для защиты рук, для этого выполнять анализы следует в резиновых перчатках. Все работы необходимо проводить только в халате. В случае попадания кислоты или щелочи на кожу, одежду, необходимо быстро промыть пораженный участок большим количеством воды, а на кожу сделать примочку из 2-ного содового раствора. По окончании работы используемую посуду тщательно промыть, а бюретки заполнить дистиллированной водой.

6 Порядок проведения лабораторной работы и составление отчета

6.1 Все студенты, выполняющие лабораторную работу, обязаны ознакомиться с правилами по технике безопасности и строго их соблюдать.

6.2 Перед началом работы преподаватель проводит предварительную беседу со студентами об их готовности к лабораторной работе, после чего студенты допускаются к выполнению работы.

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

6.4 Прежде чем приступить к выполнению работы, студенты обязаны ознакомиться с методикой лабораторной работы, выяснить цели и задачи, подготовить таблицы для записи наблюдений, ознакомиться с измерительной аппаратурой.

6.5 В процессе работы необходимо тщательное соблюдение всех рекомендаций по выполнению лабораторной работы. Результаты опытов представляются преподавателю для предварительного согласования.

6.6 Полученные данные и все необходимые расчеты и графики оформляются в виде отчета.

7 Требования к содержанию отчета

Отчет должен включать:

Титульный лист согласно приложению А. Наименование работы. Цель и задачи работы. Краткое описание методики выполнения работы. Обработка результатов. Таблица с опытными данными. Выводы и рекомендации по работе. Список используемой литературы.

8 Вопросы для самостоятельной подготовки

1. Дать характеристики водного баланса КЭС.
2. Дать краткие характеристики водного баланса ТЭС.
3. В чем качественное различие поверхностных и подземных вод?
4. Какие признаки лежат в основе различных классификаций природных вод?
5. Назвать и кратко охарактеризовать виды природных вод по степени дисперсности и солесодержанию.
6. Что характеризует водородный показатель воды? Проклассифицируйте воду по значению pH?
7. Проклассифицировать примеси природных вод по степени дисперсности и дать их краткую характеристику.
8. Проклассифицировать примеси природных вод по химическому составу.

9. В чем сущности «углекислотного» равновесия и связанных с ним понятий стабильности и нестабильности воды?
10. Привести ионный состав природных вод и дать краткую характеристику.
11. Перечислить основные показатели, характеризующие качество природных вод, определяющих ее пригодность для использования на ТЭС.
12. Назвать катионный состав воды и дать его краткую характеристику.
13. Назвать анионный состав воды и дать его краткую характеристику.
14. Что называется индексом стабильности воды?
15. Дать понятие солесодержанию воды. Единицы измерения.
16. Что называется общей жесткостью, каковы ее составляющие, единицы измерения? Проклассифицируйте воду по величине общей жесткости.
17. Что называется общей щелочностью воды, каковы ее составляющие, единицы измерения?
18. Что называется сухим остатком, взвешенными веществами и окисляемостью воды и в каких единицах их измеряют?
19. Как изменяются жесткость и содержание грубодисперсных примесей речной воды в течение года?
20. Какая вода называется агрессивной? От каких примесей зависит агрессивность воды?
21. Что такое карбонатная и некарбонатная жесткость? Почему карбонатная жесткость считается временной? Привести уравнения реакций.
22. Угольная кислота. Формы угольной кислоты, присутствующие в воде.
23. В виде каких соединений содержится железо в разных видах природных вод?
24. Каковы причины строгого нормирования содержания ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в водах теплоэнергетических установок?
25. Какие основные катионы и анионы поступают в природные воды и за счет чего?
26. Как проверить правильность выполненного анализа?
27. Назвать наиболее распространенные в природных водах газы, какие из них являются коррозионноактивными?
28. Почему карбонатную жесткость называют щелочью?
29. Объяснить, каким образом наличие анионов слабых кислот обуславливает щелочность воды?
30. Назвать причины, по которым необходимо производить водоподготовку для энергоблоков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Водоподготовка и водно-химические режимы в теплоэнергетике: [учебное пособие] / Э.П. Гужулев [и др.]; Омский государственный технический университет. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2005. – 384 с.
3. Соколов Б.А. Вспомогательное оборудование котлов. Водоподготовка: учебное пособие. – М.: Академия, 2009. – 64 с.
4. Шкроб М.С., Вихрев В.Ф. Водоподготовка. – М.: Энергия, 1973. – 397 с.
5. Лифшиц О.В. Справочник по водоподготовке. – М.: Энергия, 1976. – 287 с.
6. Кострикин Ю.М., Мещерский Н.А., Коровина О.В. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 253 с.
7. Шиян Л.Н. Свойства и химия воды. Водоподготовка: учебное пособие; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 71 с.
8. Фрог Б.Н. Водоподготовка: учебное пособие / Под ред. Г.И. Николадзе. – 2-е изд. – М. : Изд-во МГУ, 2001. – 680 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. _____

Подпись

Дата

И.О.Фамилия

Проверил _____

Должность

Подпись

Дата

И.О.Фамилия

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

ОБЩИЙ АНАЛИЗ 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