

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра водоснабжения, водоотведения и охраны  
водных ресурсов**

## **Методические указания**

к выполнению лабораторных работ по дисциплине  
**«Водоотведение промышленных предприятий»**  
для студентов специальности  
1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана  
водных ресурсов»

Брест 2024

Методические указания предназначены для студентов очной и заочной форм обучения специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов», изучающих курс «Водоотведение промышленных предприятий».

Методические указания написаны в соответствии с учебной программой курса «Водоотведение промышленных предприятий» и включают девять лабораторных работ по очистке производственных сточных вод различными методами. Методические указания содержат теоретические основы, описание лабораторных установок, порядок выполнения работ, методики анализа и последовательность обработки полученных результатов. К каждой теме даны контрольные вопросы для самостоятельной проверки усвоения теоретического материала.

Составители: С. Г. Белов, канд. техн. наук, доцент  
Т. И. Акулич, старший преподаватель  
М. А. Клецкова, старший преподаватель

Рецензенты: С. А. Новик, ;гл. специалист отдела комплексного проектирования № 2  
УП «Институт Брестстройпроект»  
В. Г. Новосельцев, заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции БрГТУ, канд. техн. наук, доцент

## ВВЕДЕНИЕ

Бурное развитие промышленности вызывает необходимость в предотвращении отрицательного воздействия производственных сточных вод на водные объекты. В связи с чрезвычайным разнообразием состава, свойств и расходов сточных вод промышленных предприятий необходимо применение специфических методов, а также сооружений по локальной, предварительной и полной очистке этих вод. Одним из основных направлений научно-технического прогресса является создание малоотходных и безотходных технологических процессов. В области очистки сточных вод таким направлением является разработка водоотводящих систем с минимальным сбросом сточных вод в водный объект или без сброса – бессточных.

В настоящее время в Республике Беларусь намечен комплекс мероприятий, направленных на защиту водных объектов от загрязнения и истощения, внедрение маловодных и безводных технологических процессов, разработку новых методов, а также сооружений по очистке городских и производственных сточных вод.

Настоящие методические указания рекомендуются к использованию при проведении лабораторных работ по курсу «Водоотведение промышленных предприятий» студентами очной и заочной форм обучения специальности

1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов», а также для выполнения научно-исследовательских студенческих работ.

Методические указания включают восемь лабораторных работ по очистке производственных сточных вод различными методами: нейтрализацией, сорбцией, озонированием, электрокоагуляцией и др. При выполнении лабораторных работ студенты опытным путем ознакомятся с очисткой производственных сточных вод от ионов тяжелых металлов, красителей, органических загрязнений и других загрязняющих веществ.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

## НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ СТОЧНЫХ ВОД

Цель работы: Произвести нейтрализацию модельного образца производственных сточных вод до заданного значения рН с использованием различных реагентов.

### Теоретическая часть

Производственные сточные воды (далее по тексту ПСВ) многих отраслей промышленности имеют кислую ( $\text{pH} < 7$ ) или щелочную ( $\text{pH} > 7$ ) реакцию. Кислые стоки часто содержат соли тяжелых металлов, обладающие высокой токсичностью. В целях предупреждения разрушения материалов канализационных сетей и сооружений, перевода в нерастворимое состояние ионов тяжелых металлов, а также предупреждения нарушения биохимических процессов, происходящих в биологических окислителях и водоемах сточные воды, рН которых ниже 6,5 или выше 8,5 подвергают нейтрализации.

Нейтрализация – это химическая реакция между ионами водорода ( $\text{H}^+$ ) и гидроксидом ( $\text{OH}^-$ ), в результате которой образуется недиссоциированная молекула воды:



При равенстве концентраций ионов водорода и гидроксидов происходит их полная нейтрализация, реакция раствора в этом случае является нейтральной, что соответствует концентрации ионов водорода и гидроксидов в чистой воде ( $10^{-7}$  моль/дм<sup>3</sup> при 25 °С).

Для выражения реакции растворов вместо концентрации ионов водорода указывают ее десятичный логарифм, взятый с обратным знаком. Данная величина называется водородным показателем и обозначается через рН:

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+].$$

Для приближенного измерения рН используют реактивы (индикаторы), окраска которых меняется в зависимости от концентрации ионов водорода. Более точно водородный показатель определяют электрометрическим методом с помощью электродной системы, состоящей из измерительного стеклянного электрода и электрода сравнения, подключенных к измерительному прибору. При изменении рН на единицу потенциал стеклянного электрода изменяется на 59,1 мВ (при 25 °С), причем зависимость между потенциалом электрода и значением рН раствора, в который он погружен, практически линейна, это облегчает калибровку измерительных электродов с помощью буферных растворов. При электрометрическом методе определения рН результаты измерений практически не зависят от присутствия в растворе взвешенных и коллоидных частиц, железа, сероводорода, красителей, окислителей и восстановителей,

данный метод позволяет определять рН водных сред с высокой точностью, поэтому он широко используется при анализе ПСВ.

При очистке ПСВ применяют следующие способы нейтрализации:

- а) взаимная нейтрализация кислых и щелочных сточных вод;
- б) фильтрование кислых стоков через твердые щелочные материалы (известняк, доломит, мел, мрамор, магнезит);
- в) нейтрализация щелочных стоков дымовыми газами, содержащими кислотообразующие оксиды ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ );
- г) введение соответствующих реагентов (щелочей или кислот).

Наиболее часто используют реагентный способ нейтрализации, поскольку в отличие от других способов он может применяться на любых предприятиях.

В качестве реагентов в основном используют негашеную или гашеную известь ( $\text{CaO}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), кальцинированную соду ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), каустическую соду ( $\text{NaOH}$ ), раствор серной кислоты ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), раствор аммиака ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ).

Массовый расход реагента (в пересчете на 100 %) для нейтрализации ПСВ, если известно значение рН стоков и их расход, определяют по формуле

$$g_p = \frac{M_p \cdot N \cdot Q}{n}, \text{ кг / ч}, \quad (1.1)$$

где  $M_p$  – молекулярная масса реагента, г/моль;

$n$  – основность кислоты или кислотность основания, используемых в качестве реагента для нейтрализации ПСВ;

$Q$  – расход сточных вод, м<sup>3</sup>/ч;

$N$  – нормальность ПСВ, г-экв/дм<sup>3</sup>;

- при рН < 7 нормальность производственных сточных вод равна

$$N = \frac{1}{10^{\text{рН}}}, \text{ г-экв/дм}^3; \quad (1.2)$$

- при рН > 7 нормальность производственных сточных вод равна

$$N = \frac{1}{10^{14-\text{рН}}}, \text{ г-экв/дм}^3. \quad (1.3)$$

С учетом концентрации и плотности рабочего раствора реагента определяют его объемный расход:

$$q_p = \frac{100 \cdot g_p}{\rho \cdot C}, \text{ дм}^3 / \text{ч}, \quad (1.4)$$

где  $g_p$  – массовый расход 100 %-ного реагента, кг/ч;

$\rho$  – плотность рабочего раствора реагента, кг/дм<sup>3</sup>;

$C$  – концентрация рабочего раствора реагента, %.

## Методика выполнения работы

1. Электрометрическим методом определить величину рН модельного образца ПСВ (приложение 1).
2. Рассчитать необходимую дозу реагента для доведения рН модельного образца производственных сточных вод до заданного значения (объем нейтразуемого модельного образца ПСВ задается преподавателем).
3. Отобрать в сосуд с мешалкой заданный объем модельного образца ПСВ и при перемешивании добавить рассчитанный объем (при использовании твердого вещества – рассчитанную массу) реагента, до завершения реакции продолжать перемешивание.
4. Электрометрическим методом определить рН модельного образца ПСВ после добавления реагента.
5. Сравнить значение рН образца ПСВ после нейтрализации с заданным значением рН, если отклонение от заданного значения превышает 0,5 ед. рН, следует проверить расчеты и повторно выполнить нейтрализацию.
6. Аналогично согласно п. 2–5 выполнить нейтрализацию модельного образца ПСВ с помощью следующих реагентов (всего 3 реагента).  
Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 1.1.

## Обработка экспериментальных данных

**Таблица 1.1 – Результаты измерений и расчетов**

№ опыта	рН ПСВ до нейтрализации, ед. рН	Объем ПСВ, см <sup>3</sup>	Заданное значение рН ПСВ после нейтрализации, ед. рН	Используемый реагент	Расчетная доза 100 %-ого реагента, г	Концентрация технического реагента, %	Расчетный объем (доза) технического реагента, см <sup>3</sup> (г)	Полученное значение рН ПСВ после нейтрализации, ед. рН	Отклонение полученного значения рН от заданного, ед. рН
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Расчетная доза 100 %-ного реагента определяется по формуле

$$G_p = \frac{M_p \cdot N \cdot V}{n}, \text{ г}, \quad (1.5)$$

где  $M_p$  – молекулярная масса реагента, г/моль;

$n$  – основность кислоты или кислотность основания, используемых в качестве реагента для нейтрализации ПСВ;

$V$  – объем нейтразуемого образца ПСВ, дм<sup>3</sup>;

$N$  – нормальность ПСВ (рассчитанная по формулам 1.2, 1.3), г-экв/дм<sup>3</sup>.

Расчетный объем рабочего раствора реагента определяется по формуле

$$V_p = \frac{100 \cdot G_p}{\rho \cdot C}, \text{ см}^3, \quad (1.6)$$

где  $G_p$  – доза 100 %-ного реагента, г, (рассчитанная по формуле 1.5);

$\rho$  – плотность рабочего раствора реагента, г/см<sup>3</sup>;

$C$  – концентрация рабочего раствора реагента, %.

При использовании в качестве реагента твердого или пастообразного вещества его доза определяется по формуле

$$m_p = \frac{100 \cdot G_p}{C_r}, \text{ г}, \quad (1.7)$$

где  $C_m$  – концентрация действующего вещества в техническом реагенте, %.

Отклонение полученного значения pH от заданного:

$$\Delta \text{pH} = \left| \text{pH}_{\text{зад.}} - \text{pH}_{\text{фак.}} \right|. \quad (1.8)$$

### Контрольные вопросы

1. В каких случаях и по каким причинам необходимо осуществлять нейтрализацию ПСВ?

2. С помощью какой величины выражают кислотность или щелочность растворов и ПСВ? Как данная величина связана с концентрацией ионов водорода?

3. Какими методами определяют реакцию растворов и ПСВ? Какие методы более точные?

4. Укажите способы нейтрализации, которые применяют при очистке ПСВ. Какой способ используется наиболее часто? По каким причинам?

5. Перечислите основные реагенты, применяемые для нейтрализации ПСВ.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ СОЕДИНЕНИЙ ХРОМА ХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Цель работы: Произвести очистку модельного образца производственных сточных вод от соединений хрома (VI) химическим методом.

#### Теоретическая часть

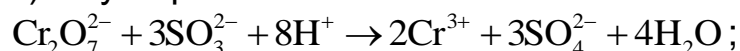
Практически на всех предприятиях, на которых имеются гальванические цеха и участки, а также на кожевенных заводах, текстильных предприятиях и некоторых химических производствах образуются сточные воды, содержащие ионы тяжелых металлов (в основном  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ; значительно реже  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  и др.). Особенно широкое распространение в гальванике получил процесс хромирования – нанесения слоя хрома на металлические поверхности.

При осуществлении процесса хромирования образуются промывные воды и отработанные технологические растворы, содержащие шестивалентный хром ( $\text{Cr}^{6+}$ ), который находится в растворах в виде анионов хромовых кислот (хромовой  $\text{CrO}_4^{2-}$  и двуххромовой  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ). Обработкой известью анионы хромовых кислот из раствора не удаляются, поскольку кальциевые соли данных кислот растворимы в воде. Ионы, содержащие  $\text{Cr}^{6+}$ , являются сравнительно высокотоксичными (ПДК = 0,05 мг/дм<sup>3</sup> для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения), попадание их в окружающую водную среду недопустимо. Ионы трехвалентного хрома ( $\text{Cr}^{3+}$ ) являются менее токсичными (ПДК = 0,5 мг/дм<sup>3</sup>), в слабощелочной среде (при pH = 8 – 9) образуют нерастворимое в воде основание  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ . Поэтому химический метод очистки ПСВ от ионов, содержащих  $\text{Cr}^{6+}$ , основан на восстановлении  $\text{Cr}^{6+}$  до ионов  $\text{Cr}^{3+}$  и последующем переводе ионов  $\text{Cr}^{3+}$  в осадок в виде нерастворимого основания.

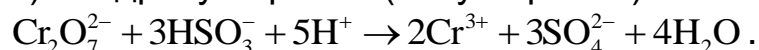
Для восстановления ионов, содержащих  $\text{Cr}^{6+}$ , до ионов  $\text{Cr}^{3+}$  в качестве восстановителей в основном используют соли сернистой кислоты ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{NaHSO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) или соли двухвалентного железа ( $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{FeCl}_2$ ).

С солями сернистой кислоты реакция протекает в кислой среде:

1) с сульфитом:

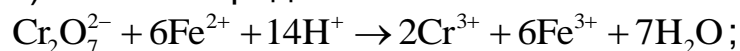


2) с гидросульфитом (бисульфитом):

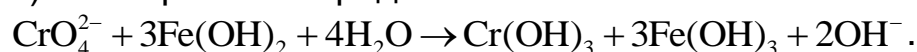


С солями двухвалентного железа реакция восстановления шестивалентного хрома происходит не только в кислой, но также в нейтральной и слабощелочной средах:

1) в кислой среде:



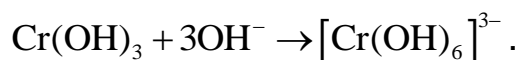
2) в нейтральной среде:



Недостатком использования в качестве восстановителей солей двухвалентного железа является 4-х кратное увеличение объема образующегося осадка (по сравнению с применением сульфитов), плохо отдающего влагу.

Для проведения реакции с достаточной скоростью pH хромсодержащих сточных вод доводят до 2–3,5 добавлением реагентов или кислых сточных вод. Затем добавляют восстановитель и перемешивают в течение 5–15 минут до завершения реакции восстановления. Далее обработанные восстановителем ПСВ нейтрализуют и осветляют совместно с другими кислыми сточными водами. Для нейтрализации используют известь, соду, гидроксид натрия, при этом pH сточных вод не должно превышать 9, поскольку при дальнейшем увеличении pH начинает увеличиваться растворимость гидроксида хрома. При pH > 12 гидроксид трехвалентного хрома переходит в растворимое состояние с образованием хромит-ионов:





Критерием оценки эффективности очистки ПСВ от ионов хрома является его остаточная концентрация, которая для химического метода очистки при правильном проведении не превышает 0,3 мг/дм<sup>3</sup> для ионов Cr<sup>3+</sup> и концентрации шестивалентного хрома менее 0,05 мг/дм<sup>3</sup>.

В соответствии с вышеприведенными уравнениями реакций восстановления анионов хромовых кислот для восстановления одной массовой единицы хрома требуется:

- сульфита натрия (Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) – 3,63 массовых единиц;
- гидросульфита натрия (NaHSO<sub>3</sub>) – 3,06 массовых единиц;
- метабисульфита натрия (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) – 2,74 массовых единиц;
- железного купороса (FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O) – 16,04 массовых единиц;
- хлорида двухвалентного железа (FeCl<sub>2</sub> · 4H<sub>2</sub>O) – 11,42 массовых единиц.

Для более быстрого и полного протекания реакции дозу восстановителя по сравнению с теоретической увеличивают в 1,75–2,5 раза (для солей сернистой кислоты) или в 1,25 раза (для солей двухвалентного железа).

Массовый расход восстановителя для перевода шестивалентного хрома в трехвалентный, если известна его концентрация в ПСВ, определяют по формуле

$$g_B = \frac{0,1 \cdot Q \cdot C_{Cr} \cdot D_B \cdot K}{C_B}, \text{ кг / ч}, \quad (2.1)$$

где  $Q$  – расход сточных вод, м<sup>3</sup>/ч;

$C_{Cr}$  – концентрация шестивалентного хрома в ПСВ, г/м<sup>3</sup>(мг/дм<sup>3</sup>);

$D_B$  – теоретическая удельная доза используемого восстановителя (в соответствии с уравнением реакции) для восстановления шестивалентного хрома в трехвалентный, г/г;

$K$  – коэффициент превышения дозы восстановителя по сравнению с теоретической;

$C_B$  – концентрация восстановителя в техническом препарате (рабочем растворе), дозируемом в ПСВ, %.

### Методика выполнения работы

1. Определить концентрацию шестивалентного хрома в модельном образце ПСВ (приложение 2).

2. Электрометрическим методом определить величину рН модельного образца ПСВ (приложение 1).

3. Рассчитать необходимую дозу реагента для восстановления хрома (VI) в хром (III) и объем 0,1 н. раствора серной кислоты для доведения рН модельного образца ПСВ до значения 2–3,5 (объем обрабатываемого модельного образца ПСВ задается преподавателем).

4. Отобрать в сосуд с мешалкой заданный объем модельного образца ПСВ, добавить рассчитанный объем раствора серной кислоты, затем прилить рассчитанный объем раствора восстановителя, перемешивать в течение 15 минут.

5. Электрометрическим методом определить pH модельного образца ПСВ после проведения реакции восстановления.

6. Рассчитать необходимую дозу щелочного реагента для доведения pH образца ПСВ до значения 8–9.

7. Добавить рассчитанное количество щелочного реагента к образцу ПСВ, перемешать, дать осесть образовавшемуся гидроксиду хрома  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  в течении 30 минут, профильтровать раствор через бумажный фильтр.

8. Определить концентрацию хрома (VI) в очищенном образце ПСВ. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 2.1.

### Обработка экспериментальных данных

**Таблица 2.1 – Результаты измерений и расчетов**

Концентрация $\text{Cr}^{6+}$ в ПСВ, мг/дм <sup>3</sup>	Объем ПСВ, см <sup>3</sup>	Используемый реагент (восстановитель)	Расчетная доза 100 %-ного реагента, г	Концентрация рабочего раствора реагента, %	Расчетный объем раствора реагента, см <sup>3</sup>	Концентрация ионов $\text{Cr}^{6+}$ в ПСВ после очистки, мг/дм <sup>3</sup>	Эффект очистки ПСВ от $\text{Cr}^{6+}$ , %
1	2	3	4	5	6	7	8

Расчетная доза 100 %-ного реагента (восстановителя) определяется по формуле

$$g_B = V \cdot C_{\text{Cr}} \cdot D_B \cdot K, \text{ г}, \quad (2.2)$$

где  $V$  – объем ПСВ, дм<sup>3</sup>;

$C_{\text{Cr}}$  – концентрация шестивалентного хрома в ПСВ, г/дм<sup>3</sup>;

$D_B$  – теоретическая удельная доза используемого восстановителя (в соответствии с уравнением реакции) для восстановления шестивалентного хрома в трехвалентный, г/г;

$K$  – коэффициент превышения дозы восстановителя по сравнению с теоретической.

Расчетный объем рабочего раствора реагента (восстановителя) определяется по формуле

$$v_B = \frac{100 \cdot g_B}{\rho \cdot C_B}, \text{ см}^3, \quad (2.3)$$

где  $g_B$  – расчетная доза 100 %-ного реагента, г, (рассчитанная по формуле 2.2);

$\rho$  – плотность рабочего раствора реагента, г/см<sup>3</sup>;

$C_B$  – концентрация рабочего раствора реагента, %.

Эффект очистки ПСВ от шестивалентного хрома определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{оч}} = \frac{C_{\text{исх}} - C_{\text{кон}}}{C_{\text{исх}}} \cdot 100, \% \quad (2.4)$$

где  $C_{\text{исх}}$  – концентрация  $\text{Cr}^{6+}$  до очистки, мг/дм<sup>3</sup>;  
 $C_{\text{кон}}$  – концентрация  $\text{Cr}^{6+}$  после очистки, мг/дм<sup>3</sup>.

### Контрольные вопросы

1. При осуществлении каких технологических процессов на промышленных предприятиях сточные воды загрязняются соединениями хрома? Какие соединения хрома представляют большую опасность для водоемов? Укажите их ПДК.
2. Перечислите восстановители, наиболее часто применяемые для обработки сточных вод, содержащих соединения хрома (VI). Укажите их преимущества и недостатки.
3. Какое значение pH необходимо выдерживать при осаждении гидроксида хрома (III)? По какой причине?
4. Какой индикатор используют для колориметрического определения концентрации хрома (VI) в ПСВ?
5. Объясните порядок действий при определении хрома (VI) колориметрическим методом.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГОРОДСКИХ СООРУЖЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

Цель работы: Произвести оценку эффективности работы городских сооружений биологической очистки (аэротенков) по снижению концентрации органических веществ в сточных водах.

#### Теоретическая часть

Биологическая очистка сточных вод основана на биохимическом разрушении органических веществ с участием живых организмов разного уровня организации. Эффект очистки и обеззараживания воды достигается за счет утилизации органических и неорганических загрязнений активным илом, представляющим собой многовидовой микробный ценоз в виде хлопьев, сформированных колониями аэробных микроорганизмов, а также простейшими, коловратками, червями, водными грибами, дрожжами. Микроорганизмы и простейшие активного ила в процессе своей

жизнедеятельности способны утилизировать сложные химические соединения (углеводы, белки, жиры, алифатические, ароматические, полициклические углеводороды и их производные, содержащие азот, серу, некоторые металлы). Утилизация различных веществ осуществляется микроорганизмами благодаря наличию в их клетках биологических катализаторов-ферментов, обладающих высокой каталитической активностью. Ферменты вырабатываются клеткой в соответствии с ее потребностями; некоторые ферменты появляются только тогда, когда в них возникает необходимость (индуктивные и индуцированные ферменты). Наличие индуктивных ферментов обеспечивает высокую активность обмена веществ у организмов, делает их «всеядными» и обеспечивает исключительно высокую приспособляемость к окружающим условиям.

Процесс расщепления органических соединений микроорганизмами может идти при участии кислорода (аэробное окисление) и без него (анаэробное окисление). Как правило, очистка сточных вод осуществляется в аэробных условиях, а обработка осадков – в анаэробных.

Скорость процесса и качество биологической очистки сточных вод сильно зависят от состава загрязнений. Многие соединения оказывают токсическое воздействие на микроорганизмы активного ила. Наличие этих веществ в сточных водах, их концентрация определяют длительность адаптации ила – она может продолжаться от 1–2 сут. до нескольких месяцев.

Большое влияние на жизнедеятельность микроорганизмов оказывает температура, по отношению к которой все микроорганизмы делятся на мезофиллы (нормально существуют при 20–40 °С), психрофилы (нормально существуют при 3–10 °С) и термофилы (нормально существуют при 50–70 °С). Однако все микроорганизмы лучше переносят пониженные температуры, чем повышенные, поэтому процесс биологической очистки сточных вод ведут при температуре 10–20 °С.

Важное значение для жизнедеятельности микроорганизмов имеет активная реакция среды. Большинство микроорганизмов приспособлено к существованию в нейтральной среде, поэтому при биологической очистке поддерживают рН воды в пределах от 4 до 9.

Важнейшим фактором, влияющим на рост и развитие микроорганизмов в аэробных условиях, является насыщение воды кислородом. Недостаток кислорода в среде служит причиной угнетения жизнедеятельности микроорганизмов, вследствие чего замедляется процесс и ухудшается качество очистки воды, повышается иловый индекс.

В сточных водах, богатых органическими веществами, микроорганизмы не испытывают недостатка в источниках углерода, но для их жизнедеятельности также необходимы другие элементы: фосфор, азот, калий, магний, железо и т. д. Многие элементы не приходится дополнительно вносить в питательную среду, так как их достаточно содержится в воде. Однако фосфор и азот иногда приходится вносить в сточную воду, подлежащую биологической очистке, чаще всего в соотношении

БПК : N : P=100 : 5 : 1. Недостаток фосфора и азота приводит к снижению скорости и качества очистки сточных вод.

Все факторы, влияющие на процесс биологической очистки, тесно взаимосвязаны, поэтому необходимо постоянно контролировать качество поступающей на очистку воды: рН, содержание токсичных веществ и эндогенных элементов, БПК, ХПК, температуру.

БПК (биохимическое потребление кислорода) – это количество кислорода в мг, израсходованного в определенный промежуток времени на аэробное биохимическое разложение органических веществ, содержащихся в литре исследуемой воды.

ХПК (химическое потребление кислорода) – это количество кислорода в мг, необходимое для окисления всех примесей в воде (органических и неорганических), содержащихся в литре воды и реагирующих с окислителями.

Из определений видно, что ХПК характеризует общее содержание примесей в воде, а БПК – только тех из них, которые поддаются биохимическому разложению.

Для биологической очистки значительных количеств сточных вод наиболее часто применяют аэротенки различных типов. Они представляют собой резервуары, в которых очищаемая сточная вода и активный ил насыщаются воздухом и перемешиваются. Сточные воды поступают в аэротенки, как правило, после сооружений механической очистки, концентрация взвешенных веществ в них не должна превышать 150 мг/дм<sup>3</sup>.

Аэротенки могут быть одноступенчатыми и двухступенчатыми, с регенерацией ила и без нее. Одноступенчатые аэротенки без регенерации применяют при БПК<sub>5</sub> сточной воды не более 100 мг/дм<sup>3</sup>, с регенерацией – более 100 мг/дм<sup>3</sup> и при наличии вредных производственных примесей. Двухступенчатые аэротенки применяют при очистке высококонцентрированных сточных вод.

По структуре движения потоков очищаемой сточной воды и возвратного активного ила различают:

- аэротенки-вытеснители – сточная вода и возвратный активный ил подаются сосредоточенно с одной из торцевых сторон аэротенка, выпускаются также сосредоточенно с другой торцевой стороны;

- аэротенки-смесители – подача и выпуск сточной воды и ила осуществляется равномерно вдоль длинных сторон коридора аэротенка;

- аэротенки с рассредоточенной подачей – сточная вода подводится в нескольких точках по длине аэротенка, а отводится сосредоточенно из его торцевой части; возвратный ил подается сосредоточенно в начало аэротенка.

Аэротенки-вытеснители применяют при БПК поступающей сточной воды до 200 мг/дм<sup>3</sup>, а аэротенки-смесители – при БПК<sub>5</sub> более 200 мг/дм<sup>3</sup>.

Для удаления соединений азота в системах биологической очистки с активным илом следует предусматривать нитрификацию с окислением

аммонийных форм азота в аэробных условиях и денитрификацию в аноксидных условиях с преобразованием азота нитратов в молекулярный азот. Для удаления соединений фосфора биологическим методом следует предусматривать анаэробные технологические емкости, размещаемые после первичного отстаивания.

Для одновременной реализации процессов удаления органических загрязнений, нитрификации, денитрификации и биологического удаления фосфора в реакторах с активным илом в различной последовательности могут чередоваться три основные зоны: аэробная, аноксидная и анаэробная.

Окислительная мощность аэротенков колеблется от 0,3 до 2 кг в сутки на 1 м<sup>3</sup> полезного объема сооружения в зависимости от технологического режима его работы, она в значительной мере определяется концентрацией в них активного ила. При очистке производственных сточных вод доза ила обычно составляет 2–3 г/дм<sup>3</sup>, считая по сухому веществу. Некоторые виды слабоконцентрированных сточных вод можно очищать при значительно меньших дозах ила без снижения общего эффекта очистки. При концентрациях активного ила 4 г/дм<sup>3</sup> и более возникают затруднения с разделением иловой смеси в обычных отстойниках, это ограничивает применение высоких доз активного ила, хотя окислительная мощность аэротенков при таких дозах значительно возрастает.

На Брестских очистных сооружениях эксплуатируется 8 аэротенков, в которых реализована технология глубокого удаления биогенных элементов. Конструктивные параметры существующих аэротенков:

1-й блок – аэротенки № 1 и № 2. Количество секций – 2 шт, количество коридоров – 3 шт, ширина коридора – 8 м, длина коридора – 98 м, рабочая глубина аэротенка – 4,2 м, общая ёмкость аэротенков 19756,8 м<sup>3</sup>.

2-й блок – аэротенки № 3 и № 4. Количество секций – 2 шт, количество коридоров – 3 шт, ширина коридора – 6 м, длина коридора – 84 м, рабочая глубина аэротенков – 4,4 м, общая ёмкость аэротенков – 13305,6 м<sup>3</sup>.

3-й блок – аэротенки № 5 и № 6. Количество секций – 2 шт, количество коридоров – 2 шт, ширина коридора – 6 м, длина коридора – 84 м, рабочая глубина аэротенков – 4,05 м, общая ёмкость аэротенков – 8164,8 м<sup>3</sup>.

4-й блок – аэротенк № 7. Количество секций – 1 шт, количество коридоров – 3 шт, ширина коридора – 6 м, длина коридора – 84 м, рабочая глубина аэротенка – 4,16 м, общая ёмкость аэротенка – 6289,9 м<sup>3</sup>.

5-й блок – аэротенк № 8. Количество секций – 1 шт, количество коридоров – 3 шт, ширина коридора – 6 м, длина коридора – 84 м, рабочая глубина аэротенка – 4,65 м, общая ёмкость аэротенка – 7030,8 м<sup>3</sup>.

Качество сточной воды, очищенной в аэротенках, оценивают по показателю БПК<sub>5 отс.</sub>:

$$L_{t5} = 4 + \left( \frac{\text{ХПК}}{\text{БПК}_5} \right)^3 + 0,015 \cdot N \cdot \frac{15}{t}, \text{ мг / дм}^3, \quad (3.1)$$

где  $L_{t5}$  – БПК<sub>5</sub> отс очищенной в аэротенке, отстаиванной сточной воды, мг/дм<sup>3</sup>;

$XPK$  – величина химической потребности в кислороде поступающей в аэротенк сточной воды, мг/дм<sup>3</sup>;

$БПК_5$  – величина биохимической потребности в кислороде поступающей в аэротенк сточной воды, мг/дм<sup>3</sup>;

$N$  – нагрузка на 1 г беззольного сухого вещества активного ила, мг БПК<sub>5</sub>/г·сут;

$t$  – температура сточной воды, поступающей в аэротенк, °С.

Нагрузку на 1 г беззольного сухого вещества активного ила определяют по формуле

$$N = \frac{Q_{cp} \cdot БПК_5}{W \cdot a_{cp} (1 - S)}, \text{ мг БПК}_5 / \text{ г} \cdot \text{сут}, \quad (3.2)$$

где  $Q_{cp}$  – среднесуточный приток сточной воды, м<sup>3</sup>/сут;

$БПК_5$  – величина биохимической потребности в кислороде поступающей в аэротенк сточной воды, мг/дм<sup>3</sup>;

$W$  – объем аэротенка, м<sup>3</sup>;

$a_{cp}$  – средняя доза ила в сооружении, г/дм<sup>3</sup>;

$S$  – зольность ила в долях единицы.

Технологически эффективно работающими аэротенками считаются такие, у которых качество очищенной воды по БПК<sub>5</sub> отс отличается от рассчитанной по данной методике не более чем на 30 %.

### Методика выполнения работы

1. По данным службы эксплуатации и технологической карты работы аэротенка заполнить ячейки, соответствующие столбцам 1, 2 и 4 таблицы 3.1.

2. По данным лаборатории о составе поступающих на аэротенки и выходящих из вторичных отстойников сточных вод и заполнить ячейки, соответствующие столбцам 5 и 8 таблицы 3.1.

3. Определить  $XPK$  поступающей в аэротенк и отстаиванной очищенной сточной воды (приложение 3).

4. Рассчитать отношение  $XPK/БПК$  поступающих и очищенных сточных вод.

5. С учетом данных лабораторного анализа о средней температуре очищаемых сточных вод и зольности активного ила по формулам 3.1–3.2 рассчитать нагрузку на 1 г беззольного сухого вещества активного ила и расчетное БПК<sub>5</sub>отс очищенных сточных вод.

6. По формуле 3.3 рассчитать процент отклонения фактического БПК<sub>5</sub>отс от расчетного.

7. Сделать выводы о технологической эффективности работы соответствующих аэротенков по показателям БПК<sub>5</sub>отс и  $XPK$ .

Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 3.1.

## Обработка экспериментальных данных

**Таблица 3.1 – Результаты измерений и расчетов**

Номер аэротенка	Объем аэротенка, м <sup>3</sup>	Средняя концентрация активного ила, г/дм <sup>3</sup>	Расход сточных вод, м <sup>3</sup> /сут	БПК <sub>5</sub> поступающих сточных вод, мг/дм <sup>3</sup>	ХПК поступающих сточных вод, мг/дм <sup>3</sup>	Отношение ХПК/БПК <sub>5</sub> поступающих сточных вод	БПК <sub>5отс</sub> очищенных сточных вод, мг/дм <sup>3</sup>	ХПК <sub>отс</sub> очищенных сточных вод, мг/дм <sup>3</sup>	Отношение ХПК <sub>отс</sub> /БПК <sub>5отс</sub> очищенных сточных вод	Нагрузка на 1 г безз. в-ва акт. ила, мг БПК <sub>5</sub> /г · сут	Расчетное БПК <sub>5отс</sub> очищенных сточных вод, мг/дм <sup>3</sup>	Отклонение БПК <sub>5отс</sub> фактического от расчетного, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Отклонение фактического БПК<sub>5отс</sub> от рассчитанного по формуле (3.1) определяется из соотношения:

$$O = \frac{\text{БПК}_{5\text{отс}} - L_{t5}}{L_{t5}} \cdot 100, \% , \quad (3.3)$$

где  $\text{БПК}_{5\text{отс}}$  – фактическое биохимическое потребление кислорода отстоянной сточной воды после биологической очистки, мг/дм<sup>3</sup>;

$L_{t5}$  – расчетное биохимическое потребление кислорода отстоянной сточной воды после биологической очистки, мг/дм<sup>3</sup>.

### Контрольные вопросы

1. На чем основана биологическая очистка сточных вод? Объясните роль ферментов в процессе биологической очистки.
2. Какие факторы влияют на процесс биологической очистки сточных вод? Перечислите основные показатели качества сточных вод, которые необходимо контролировать при биологической очистке.
3. Что такое биохимическое потребление кислорода (БПК) и химическое потребление кислорода (ХПК)? Что показывает их отношение?
4. Какие типы аэротенков вы знаете? Объясните принцип их работы и области применения.
5. Как можно оценить технологическую эффективность работы аэротенка?



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА АДСОРБЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В СТАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Цель работы. Изучить процесс статической сорбции органических примесей воды твердыми сорбентами.

#### Теоретическая часть

*Сорбция* – это процесс поглощения вещества из окружающей среды твердым телом или жидкостью. Поглощающее тело называется сорбентом, а поглощаемое – сорбатом.

Применяют три типа сорбции.

*Адсорбция* – поглощение вещества поверхностью чаще всего твердого поглотителя.

*Абсорбция* – поглощения вещества всей массой жидкого сорбента.

*Хемосорбция* – адсорбция, сопровождающаяся химическим взаимодействием сорбента с поглощаемым веществом.

Сорбция представляет собой один из наиболее эффективных методов глубокой очистки от растворенных органических веществ сточных вод предприятий целлюлозно-бумажной, химической, нефтехимической, текстильной и других отраслей промышленности. Сорбционная очистка может применяться самостоятельно и совместно с биологической очисткой как метод предварительной и глубокой очистки.

Эффективным методом доочистки сточных вод от растворенных органических загрязнений, в том числе биохимически неокисляемых, является сорбция на активных углях. Этот метод дает возможность снизить концентрацию органических загрязнений на 90—99 %.

Сорбция органических загрязнений на активных углях применяется и как завершающая стадия доочистки сточных вод после их биохимической очистки или после предварительной очистки физико-химическими методами.

В качестве сорбентов можно использовать местные материалы и отходы различных производств при их соответствующей обработке. Сорбция на таких материалах, как зола каменного угля, бентонит, цеолиты, дает положительные результаты при обесцвечивании сточных вод текстильных предприятий.

Адсорбционная очистка сточных вод осуществляется методами статической или динамической сорбции. Статическая сорбция предполагает обеспечение постоянства массовых расходов поступления извлекаемых загрязнений и подачи сорбента. При этом в системе устанавливается адсорбционное равновесие на заданном значении их равновесной концентрации. Технология статической сорбции используется в тех случаях, когда сорбент достаточно дешев или является отходом производства, а также когда не требуется особо глубокая очистка воды.

В практике применения сорбции для очистки сточных вод функция удельной адсорбции  $\Gamma$  от равновесной концентрации часто задается уравнением изотермы Ленгмюра:

$$\Gamma = \Gamma_{\max} \frac{K_1 C}{1 + K_1 C}, \quad (4.1)$$

где  $\Gamma_{\max}$  — предельная адсорбция;

$K_1$  — константа обмена;

$C$  — равновесная концентрация.

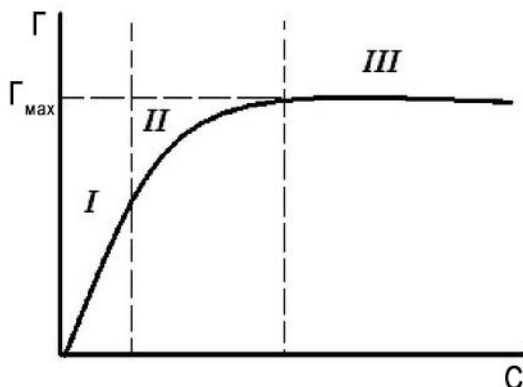
Уравнение Ленгмюра хорошо описывает изотерму адсорбции, давая при малых и больших значениях  $C$  прямолинейные участки на графике (рисунок 4.1). Если при малых концентрациях в знаменателе уравнения (4.1) можно пренебречь членом  $K_1 C$ , весьма малым по сравнению с единицей, то уравнение Ленгмюра принимает вид, тождественный с уравнением Генри, которому подчиняется распределение вещества между двумя фазами:

$$\Gamma = k \cdot C, \quad (4.2)$$

*I* – в области малых концентраций ( $C \rightarrow 0, K_1 C \ll 1$ ), тогда  $\Gamma = \Gamma_{\max} \cdot K_1 C$ , величина адсорбции линейно растет с увеличением концентрации (уравнение Генри);

*III* – в области больших концентраций ( $K_1 C \gg 1$ ), тогда  $\Gamma = \Gamma_{\max}$ , вся поверхность адсорбента занята молекулами адсорбата.

*II* – в области средних концентраций уравнение (4.1).



**Рисунок 4.1 – Изотерма адсорбции Ленгмюра в координатах  $\Gamma=f(C)$**

Таким образом, при малых концентрациях масса адсорбированного вещества прямо пропорциональна равновесной концентрации. Этот случай соответствует наклонному прямолинейному участку изотермы, проходящему через начало координат.

Уравнение изотермы адсорбции Ленгмюра хорошо воспроизводится, если адсорбция вызывается силами, близкими по своей природе к физико-химическим силам, и если адсорбция не осложняется рядом побочных явлений, например диссоциацией молекул сорбтива на поверхности сорбента.

Вещества, хорошо адсорбируемые из водных растворов активными углями, характеризуются выпуклой изотермой сорбции, а плохо адсорбирующиеся – вогнутой.

### Методика выполнения работы

#### 1. Приготовление растворов и материалов.

Работа выполняется на искусственно приготовленном растворе.

1.1. Приготовление рабочего и исследуемого растворов красителя производится в зависимости от выбранного типа красителя по таблице 1 приложения 4.

#### 1.2. Подготовка образца угля.

Навеска исследуемого образца угля массой 20 г помещается в колбу и промывается дистиллированной водой несколько раз. Промытый уголь переносится в измерительную пробирку с некоторым избытком воды, которая затем удаляется.

#### 2. Проведение работы.

##### Определение сорбционной емкости активированного угля.

Для исследования берут пять круглых колб объемом 100 мл, в которых приготавливают исследуемые концентрации раствора красителя. Диапазон концентраций составляет: максимальная – по таблице 1 приложения 4, минимальная – 0,1 от данного табличного значения. Значения концентраций раствора записывают в таблицу 4.1.

Из приготовленных растворов отбирают по 25 мл и переносят в конические колбы на 100 мл. Далее во все колбы вносят одинаковое предварительно заданное количество мокрого угля.

В соответствии с выбранной маркой угля, пользуясь данными таблицы 4.2, по приведенной ниже формуле (4.4) определяют массу сухого угля, эквивалентную внесенному объему. Эти данные также записывают в таблицу 4.1.

Подготовленные образцы раствора закрывают пробками и взбалтывают на встряхивателе 30 мин. После взбалтывания угольную суспензию переносят в пробирки для центрифугирования и центрифугируют 5 мин. Затем осторожно отбирают пипеткой 5–10 мл фугата и определяют его оптическую плотность. Если оптическая плотность фугата превышает 0,8, то используют разведение его дистиллированной водой. Для этого 5 мл фугата помещают в мерную колбу 25 или 50 мл и доводят объем до метки. Таким образом, получается разбавление в 5 или 10 раз. По калибровочному графику, построенному для интервала концентраций красителя от 0,5 до 10 мг/дм<sup>3</sup>, определяют концентрацию красителя в фугате. Построение калибровочного графика приведено в приложении 4.

Адсорбционную емкость угля  $\Gamma_i$ , мг/г, определяют по формуле

$$\Gamma_i = \kappa(C_{0i} - C_i)V/M_c, \quad (4.3)$$

где  $C_{oi}$  – исходная концентрация красителя, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_i$  – концентрация красителя в фугате, мг/дм<sup>3</sup>;

$M_c$  – масса навески сухого активированного угля, г;

$V$  – объем исследуемого раствора, взятого для опыта, дм<sup>3</sup>;

$k$  – кратность разбавления фугата при фотометрировании.

Масса угля по сухому веществу  $M_c$ , мг, взятого для опыта, определяется по формуле

$$M_c = M_v V_c, \quad (4.4)$$

где  $M_v$  – относительный вес мокрого угля, мг/мл, принимается по таблице 4.1;

$V_c$  – объем мокрого угля, взятый для опыта, мл.

Текущую эффективность очистки воды  $\mathcal{E}_i$ , %, определяют по формуле

$$\mathcal{E} = (C_{oi} - C_i) 100 / C_{oi} \quad (4.5)$$

**Таблица 4.1 – Масса сухого угля в мг, соответствующая объему 1 мл мокрого угля**

Марка угля	АГ-3	СКТ-6а	ТЛ-830	F-300
$M_v$ , мг/мл	369,2	239,9	376,9	425,7

### Обработка экспериментальных данных

**Таблица 4.2 – Экспериментальные и расчетные результаты сорбции**

Условия опыта	Сорбент:		Сорбат:		$M_c =$	$V =$
	1	2	3	4		
Номер колбы ( $l$ )						
$C_{oi}$ , мг/дм <sup>3</sup>						
$C_i$ , мг/дм <sup>3</sup>						
$\Gamma_i$ , мг/г						
$\mathcal{E}_i$ , %						
$C_i/\Gamma_i$						

1. По данным таблицы 4.2 построить и проанализировать графики зависимостей:  $\Gamma_i = f(C_i)$  и  $\mathcal{E}_i = f(C_i)$ .

2. Определить константы уравнения изотермы Ленгмюра ( $K_1$  и  $\Gamma_{\max}$ ). Константы рассчитывают графическим способом, для этого необходимо уравнение Ленгмюра привести к линейному виду  $y = a + b \cdot x$

$$\frac{C}{\Gamma} = \frac{1}{\Gamma_{\max} \cdot K_1} + \frac{1}{\Gamma_{\max}} \cdot C. \quad (4.6)$$

Построить изотерму адсорбции в координатах линейной формы уравнения Ленгмюра  $C_i/\Gamma_i = f(C_i)$  (рисунок 4.2).

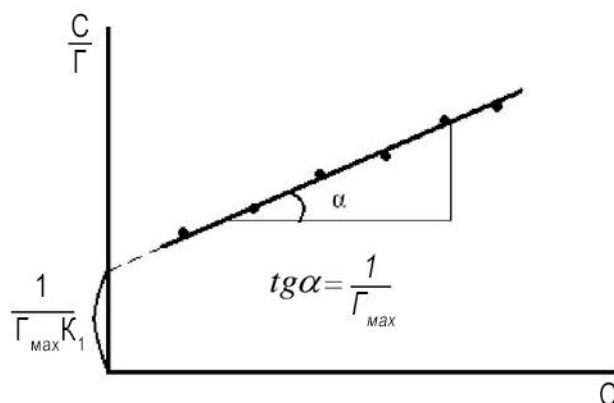
Экстраполяция зависимости до оси ординат дает отрезок, равный:

$$\frac{1}{\Gamma_{\max} \cdot K_1} . \quad (4.7)$$

Тангенс угла наклона прямой равен:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{\Gamma_{\max}} . \quad (4.8)$$

$$\text{или } \Gamma_{\max} = \operatorname{ctg} \alpha . \quad (4.9)$$



**Рисунок 4.2 – Изотерма адсорбции в координатах линейной формы уравнения Ленгмюра**

3. Определить сорбционную емкость активированного угля по органическому красителю.

Работа может включать несколько серий опытов, отличающихся марками углей и начальным содержанием загрязнений.

### Контрольные вопросы

1. Что такое сорбция? Какие типы сорбции применяются, дать их определение.

2. Для очистки от каких загрязняющих веществ применяется сорбция? Какова эффективность процесса очистки? Для очистки сточных вод каких производств применяется сорбция?

3. Назовите материалы, которые используются в качестве сорбентов.

4. Какие два метода адсорбционной очистки существуют? В чем заключается сущность процесса статической сорбции.

5. Объясните порядок действий при определении сорбционной емкости активированного угля.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

### СНИЖЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ОКРАСКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ОЗОНИРОВАНИЕМ

Цель работы: Построить график зависимости интенсивности окраски по степени разбавления от удельной дозы озона для модельного образца ПСВ. Определить оптимальную дозу озона для снижения интенсивности окраски ПСВ до заданного уровня.

#### Теоретическая часть

Сточные воды текстильных предприятий характеризуются высоким содержанием загрязняющих веществ. Они содержат взвешенные вещества, характеризуются высоким химическим поглощением кислорода (ХПК), часто содержат ионы тяжелых металлов. Но одним из самых характерных показателей загрязнения сточных вод текстильных предприятий является их окраска.

Окраска сточных вод при производстве текстильных изделий в основном обуславливается широким применением органических красителей. Окрашиванию в процессе производства подвергаются волокна, ткани, готовые изделия. В процессе крашения значительная часть красителей (от 10 % до 50 %) остается в отработанных технологических растворах и в промывных водах, образующихся после промывки окрашенных изделий. В результате интенсивность окраски сточных вод, отводимых с текстильных предприятий, может достигать 1:500, 1:1000 по степени разбавления. При этом максимально допустимая интенсивность окраски по степени разбавления производственных сточных вод, сбрасываемых как в городскую водоотводящую сеть, так и в поверхностные водные объекты не должна превышать 1:20.

Синтетические красители, применяемые в настоящее время для колорирования текстильных материалов, являются стойкими органическими соединениями, трудно поддающимися биологическому окислению. Поэтому при поступлении в сточные воды данные соединения практически без изменений проходят через сооружения биологической очистки и попадают в поверхностные водные объекты, оказывая отрицательное влияние на их экосистему.

Для удаления красителей, обуславливающих окраску сточных вод, могут использоваться следующие методы: реагентная коагуляция, электрокоагуляция, сорбция, барометрические методы, деструктивные методы (окисление, восстановление, УФ-обработка). Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки и должен использоваться исходя из условий конкретного производства. Одним из наиболее универсальных методов является озонирование.

Чистый озон при нормальных условиях представляет собой газ бледно-фиолетового цвета, растворимый в воде. Молекула озона построена в результате особого сочетания трех атомов кислорода, образующих треугольник, и описывается формулой  $O_3$ . В отличие от двухатомной молекулы обычного кислорода, молекула озона является нестабильной и легко распадается по схеме  $2 \cdot O_3 \rightleftharpoons 3 \cdot O_2 + 71 \text{ ккал}$ . На промежуточных стадиях разложения озона образуется атомарный кислород, поэтому озон обладает очень сильными окислительными свойствами (окислительный потенциал при нормальных условиях  $E_0 = 2,07 \text{ В}$ ).

Озон является токсичным газом, он действует на органы дыхания и может поражать центральную нервную систему. Предельно допустимое содержание озона в воздухе помещений, где работают люди, составляет  $0,0001 \text{ мг/дм}^3$ . Поэтому в лабораторной установке, схема которой представлена на рисунок 5.1, предусмотрен деструктор остаточного озона.

Применение озона позволяет разрушать практически все водорастворимые органические соединения. При этом озон проявляет свои высокие окислительные свойства при любых значениях pH. Наиболее энергично озон взаимодействует с ненасыщенными связями:

этиленовой  $\text{>C=C<}$ , азометиновой  $\text{>C=N-}$ , азо  $\text{-N=N-}$ , тиокарбонильной  $\text{>C=S}$ . Однако, с карбонильной связью  $\text{>C=O}$  реакция идет не очень активно.

При взаимодействии озона с органическими красителями, которые являются производными ароматических либо гетероциклических соединений, он одновременно взаимодействует с двойными связями ароматических колец и с азосвязями молекул красителя, поэтому применение озона очень эффективно для снижения интенсивности окраски сточных вод.

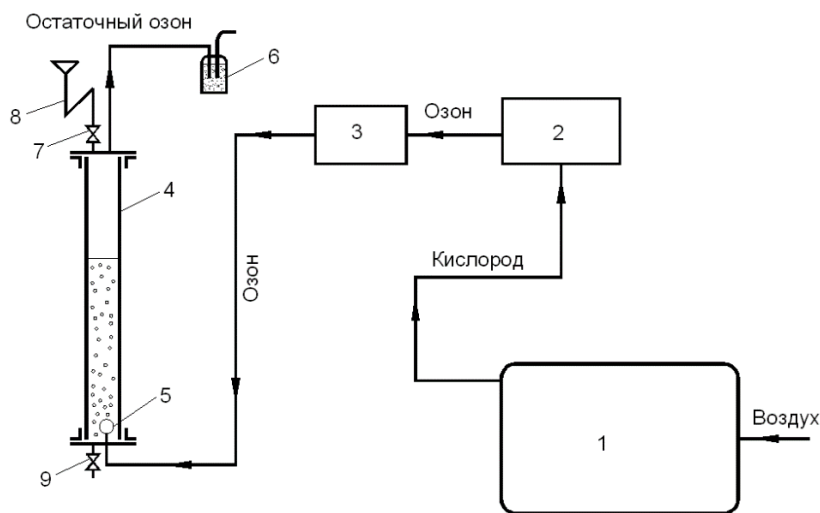
Доза озона, необходимая для снижения интенсивности окраски сточных вод до уровня ПДК, зависит от многих факторов: от химического строения красителя, от наличия в сточных водах кроме красителей других органических соединений и неорганических восстановителей, от pH раствора.

В данной работе изучается влияние дозы озона на снижение интенсивности окраски ПСВ, обусловленной органическими красителями. Для точного установления вводимой дозы озона используется метод точного дозирования, разработанный преподавателями кафедры ВВиОВР. Данный метод заключается в дозировании озона в виде раствора в дистиллированной воде, что позволяет точно учесть вводимую дозу озона в реакционную смесь.

Раствор озона получается барботированием через пористую насадку озono-кислородной смеси в стеклянной колонке высотой 1,5 м, заполненной дистиллированной водой (рисунок 5.1).

Кислород (концентрация кислорода 95 %), вырабатываемый концентратором кислорода 1 поступает в озонатор 2, где вырабатывается озон.

Озоно-кислородная смесь подается в контактную колонку 4 через диспергатор 5, при этом вода насыщается озоном. Далее обедненная озоном озоно-кислородная смесь поступает в деструктор 6, представляющий собой склянку Дрекселя, заполненную насадкой, разрушающей озон. Озонированная вода из контактной колонки 4 отбирается с помощью вентиля 9. Новые порции воды в контактную колонку 4 вводятся через гидравлический затвор 8 с помощью вентиля 7.



- 1 – концентратор кислорода Atmung oxy 6000;
- 2 – озонатор PLATON 10/2;
- 3 – озонометр МЕДОЗОН 254/5;
- 4 – контактная колонка;
- 5 – диспергатор;
- 6 – деструктор остаточного озона;
- 7 – вентиль для заливки воды;
- 8 – гидравлический затвор;
- 9 – вентиль для отбора озонированной воды

**Рисунок 5.1 – Схема лабораторной установки для получения озонированной воды**

Равновесная концентрация озона в воде определяется по формуле Гомела:

$$C_{p\_оз\_вода} = R_t \cdot C_{оз\_газ} \cdot \frac{p}{p_a}, \text{ мг / дм}^3, \quad (5.1)$$

где  $R_t$  – коэффициент распределения (при 20 °С  $R_t = 0,22$ );

$C_{оз\_газ}$  – концентрация озона в газе, мг/дм<sup>3</sup>;

$p$  – общее давление воды и газа в аппарате, Па;

$p_a$  – атмосферное давление, Па.

### Методика выполнения работы

1. С помощью спектрофотометра СФ-2000 снять спектр поглощения исходного модельного образца ПСВ. Обработать полученный спектр с помощью программы «Окраска-мониторинг», разработанной на кафедре ВВиОВР, определить интенсивность окраски по степени разбавления исследуемого образца (приложение 5).

2. В учебной лаборатории 3/117а «Очистка производственных сточных вод» запустить учебный стенд получения озонированной воды, получить раствор озона в дистиллированной воде, определить концентрацию



озона в растворе с помощью жидкостного анализатора озона «МЕДОЗОН 245/8 (Ж-30)» (приложение 6).

3. С учетом концентрации раствора озона, полученного в барботажной колонке, определить максимальную вводимую дозу озона, при этом минимальная доза озона принимается равной 2 мг/дм<sup>3</sup>. Задаться промежуточными дозами озона (не менее 5-ти точек) для снижения окраски модельного образца ПСВ (объем обрабатываемого модельного образца ПСВ по заданию преподавателя).

4. Отобрать из адсорбционной колонки около 1 дм<sup>3</sup> озонированной воды, определить концентрацию озона в растворе, рассчитать по формуле (5.3) объем озонированной воды для введения необходимой дозы озона.

5. При непрерывном перемешивании прилить расчетный объем озонированной воды к заданному объему модельного образца ПСВ, довести общий объем обработанного образца ПСВ до 1 дм<sup>3</sup>.

6. С помощью спектрофотометра СФ-2000 снять спектр поглощения обработанного озонном модельного образца ПСВ. Определить окраску по степени разбавления обработанного образца ПСВ (приложение 5).

7. В соответствии с пунктами 4...6 провести обработку модельного образца ПСВ другими дозами озона.

Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 5.1.

### Обработка экспериментальных данных

**Таблица 5.1 – Результаты измерений и расчетов**

№ опыта	Объем обрабатываемого образца ПСВ, дм <sup>3</sup>	Доза озона, мг/дм <sup>3</sup>	Средняя концентрация озона в озонированной воде, мг/дм <sup>3</sup>	Вводимый объем озонированной воды, дм <sup>3</sup>	Интеграл спектра	Окраска по степени разбавления
1	2	3	4	5	6	7

Максимальная доза озона в серии опытов для построения графика определяется с учетом полученной концентрации озона в озонированной воде:

$$d_{\text{оз\_макс}} = \frac{C_{\text{оз}} \cdot (1 - V_{\text{ПСВ}})}{V_{\text{ПСВ}}}, \text{ мг / дм}^3, \quad (5.2)$$

где  $C_{\text{оз}}$  – концентрация озона в озонированной воде, мг/дм<sup>3</sup>;

$V_{\text{ПСВ}}$  – объем обрабатываемого образца ПСВ, дм<sup>3</sup>.

Объем обрабатываемого образца ПСВ задается преподавателем в пределах 0,2...0,5 дм<sup>3</sup>.

Минимальная доза озона принимается равной 2 мг/дм<sup>3</sup>.

Объем озонированной воды для введения расчетной дозы озона определяется по формуле

$$V_{\text{оз}} = \frac{d_{\text{оз}} \cdot V_{\text{ПСВ}}}{C_{\text{оз}}}, \text{ дм}^3, \quad (5.3)$$

где  $d_{\text{оз}}$  – заданная доза озона, мг/дм<sup>3</sup>;

$V_{\text{ПСВ}}$  – объем обрабатываемого образца ПСВ, дм<sup>3</sup>;

$C_{\text{оз}}$  – концентрация озона в озонированной воде, мг/дм<sup>3</sup>.

### Контрольные вопросы

1. Каких значений может достигать окраска сточных вод текстильных предприятий? Какая максимально допустимая окраска сбрасываемых ПСВ?

2. Какие методы очистки используются для удаления красителей из ПСВ? Какой метод является одним из наиболее универсальных? Объясните почему.

3. По какой причине озон проявляет сильные окислительные свойства? С какими химическими связями он наиболее энергично взаимодействует?

4. По какой формуле рассчитывается равновесная концентрация озона в воде? Что такое коэффициент распределения?

5. Каким методом в данной работе определяется интенсивность окраски ПСВ? Опишите ход выполнения анализа при определении интенсивности окраски.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

### ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОЗОНИРОВАНИЕМ

Цель работы: Исследовать эффективность разрушения стойких органических загрязнений ПСВ с помощью озонирования. Построить график зависимости остаточной концентрации ароматического органического соединения в модельном образце ПСВ от дозы озона. Определить дозу озона, достаточную для полного разрушения данного вещества.

#### Теоретическая часть

Озон способен эффективно разрушать органические соединения различного химического строения, в частности ароматические соединения. Производными ароматических соединений являются синтетические красители, текстильно-вспомогательные вещества, нефтепродукты, пестициды, многие органические растворители, лекарственные препараты. Большинство данных веществ при попадании в сточные воды являются биологически стойкими загрязнителями. При проведении биологической очистки сточных вод данные соединения разрушаются



что осуществить довольно сложно. В данной работе, для увеличения точности, озон дозируется в виде водного раствора.

Исследования эффективности разрушения органических соединений с помощью озонирования выполняются на лабораторном стенде, описанном в лабораторной работе № 5 (рисунок 5.1). В качестве модельного образца ПСВ используется водный раствор ароматического соединения известной концентрации (по заданию преподавателя). Деструкция ароматических соединений под воздействием озона осуществляется методом точного дозирования озона в виде водного раствора. Эксперимент осуществляется следующим образом. Расчетное количество органического ароматического соединения в виде концентрированного водного раствора заливается в стакан объемом 1 дм<sup>3</sup>, далее при непрерывном перемешивании вводится заданная доза озона в виде его водного раствора в дистиллированной воде. После этого, при необходимости, объем смеси растворов доводится дистиллированной водой до 1 дм<sup>3</sup>. Далее с помощью спектрофотометра СФ-2000 методом УФ-спектроскопии определяется концентрация ароматического соединения после обработки озоном.

### **Методика выполнения работы**

1. В мерной колбе из концентрированного раствора органического ароматического соединения разбавлением дистиллированной водой приготовить рабочий раствор заданной концентрации (концентрация рабочего раствора задается преподавателем).

2. С помощью спектрофотометра СФ-2000 снять спектр поглощения рабочего раствора в УФ-области (диапазон сканирования от 190 до 380 нм). Зафиксировать интенсивность поглощения **B**-полосы (приложение 7).

3. В учебной лаборатории 3/117а «Очистка производственных сточных вод» запустить учебный стенд получения озонированной воды, получить раствор озона в дистиллированной воде, определить концентрацию озона в растворе с помощью жидкостного анализатора озона «МЕДОЗОН 245/8 (Ж-30)» (приложение 6).

4. С учетом концентрации раствора озона, полученного в барботажной колонке, по формуле (6.2) рассчитать объем озонированной воды, необходимый для введения заданной дозы озона (первая доза озона принимается 0,5 мг/мг вещества).

5. В мерный стеклянный стакан объемом 1 дм<sup>3</sup> ввести необходимый объем концентрированного раствора органического вещества, при разбавлении которого до 1 дм<sup>3</sup> получается рабочий раствор. Далее добавить в мерный стакан расчетный объем озонированной воды и довести дистиллированной водой объем реакционной смеси до 1 дм<sup>3</sup>.

6. С помощью спектрофотометра СФ-2000 снять спектр поглощения обработанного заданной дозой озона рабочего раствора в УФ-области

(диапазон сканирования от 190 до 380 нм). Зафиксировать интенсивность поглощения **B**-полосы обработанного раствора (приложение 7).

7. По расчетной формуле (6.3) с учетом интенсивности поглощения **B**-полосы обработанного раствора определить остаточную концентрацию разрушаемого вещества.

8. Повторить действия пунктов 4...7 для получения значения остаточной концентрации, соответствующего другой удельной дозе озона. Удельные дозы озона (мг озона/мг вещества) принимаются таким образом, чтобы всего получилось 5...7 точек, при этом максимальная удельная доза озона должна составлять 1,5...2,5 мг/мг вещества.

Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 6.1.

### Обработка экспериментальных данных

**Таблица 6.1 – Результаты измерений и расчетов**

№ опыта	Концентрация рабочего раствора ароматического соединения, мг/дм <sup>3</sup> .	Объем обрабатываемого раствора ароматического соединения, дм <sup>3</sup>	Доза озона, мг/мг вещества	Концентрация озона в озонированной воде, мг/дм <sup>3</sup>	Вводимый объем озонированной воды, дм <sup>3</sup>	Интенсивность <b>B</b> -полосы поглощения в УФ-области	Остаточная концентрация органического соединения в растворе, мг/дм <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8

Объем концентрированного раствора органического вещества, необходимый для получения рабочего раствора вещества заданной концентрации, рассчитывается по формуле

$$V_{\text{конц}} = \frac{C_p \cdot V_p}{C_{\text{конц}}}, \text{ см}^3, \quad (6.1)$$

где  $V_p$  – заданный объем рабочего раствора, дм<sup>3</sup>;

$C_p$  – концентрация рабочего раствора органического вещества, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{\text{конц}}$  – концентрация концентрированного раствора органического вещества, мг/дм<sup>3</sup>.

Объем озонированной воды для введения расчетной дозы озона определяется по формуле

$$V_{\text{оз}} = \frac{d_{\text{оз}} \cdot V_{\text{конц}} \cdot C_{\text{конц}}}{C_{\text{оз}}}, \text{ см}^3, \quad (6.2)$$

где  $d_{\text{оз}}$  – заданная удельная доза озона, мг/мг вещества;

$V_{\text{конц}}$  – объем концентрированного раствора органического вещества, см<sup>3</sup>;

$C_{\text{конц}}$  – концентрация концентрированного раствора органического вещества, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{\text{оз}}$  – концентрация озона в озонированной воде, мг/дм<sup>3</sup>.

Остаточная концентрация органического вещества в растворе после обработки озоном определяется по формуле

$$C_{\text{ост}} = C_p \cdot \frac{D_{\text{ост}}}{D_p}, \text{ мг / дм}^3, \quad (6.3)$$

где  $C_p$  – концентрация органического вещества в рабочем растворе, мг/дм<sup>3</sup>;  
 $D_{\text{ост}}$  – оптическая плотность обработанного озоном раствора на длине волны, соответствующей **B**-полосе данного органического соединения;  
 $D_p$  – оптическая плотность рабочего раствора на длине волны, соответствующей **B**-полосе данного органического соединения.

По данным таблицы 6.1 строится график зависимости остаточной концентрации деструктируемого ароматического соединения от удельной дозы озона.

### Контрольные вопросы

1. Какие вещества образуются при деструкции ароматических соединений озоном?
2. По каким параметрам определяется доза озона, введенная в ПСВ при непрерывном процессе озонирования? Каким образом производится дозирование озона в данной работе?
3. Каким методом в данной работе определяется концентрация ароматических соединений в ПСВ?
4. По какой формуле рассчитывается объем озонированной воды, необходимый для введения заданной дозы озона?
5. Как методом точного дозирования определить дозу озона, достаточную для полной деструкции ароматического соединения в растворе?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

### УДАЛЕНИЕ ИОНОВ МЕДИ ИЗ ПРОМЫВНЫХ РАСТВОРОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЦЕХОВ И УЧАСТКОВ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ

Цель работы: Произвести очистку модельного раствора линии нанесения медного покрытия от ионов меди методом «цементации».

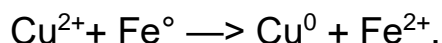
#### Теоретическая часть

Ввиду высокой тепло- и электропроводности и другим ценным физическим и химическим свойствам медь широко используется в промышленности, особенно в таких отраслях, как электротехника и радиоэлектроника. Также в значительных количествах медь используется для изготовления промышленной аппаратуры, производства сплавов и катализаторов, в сельском хозяйстве, при производстве искусственного шелка,

в гальванотехнике. Во всех этих производственных процессах образующиеся сточные воды часто содержат медь в растворенном состоянии. Учитывая высокую стоимость меди и ее токсичность в высоких концентрациях для водных организмов, очистка медьсодержащих сточных вод с последующей утилизацией, медного шлама является важной задачей.

В водных растворах медь может присутствовать в виде простых ионов ( $\text{Cu}^{2+}$ ) и в виде комплексных ионов ( $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ). В последнем случае выделение меди из раствора методом осаждения в виде гидроксида сильно осложняется. Кроме химического осаждения для выделения меди из технологических и промывных растворов также используются такие методы, как электролиз, ионный обмен, электродиализ, обратный осмос, контактное выделение из раствора более активным металлом (метод «цементации»).

Метод «цементации» имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами выделения меди из растворов – простота аппаратного оформления, достаточно высокая эффективность очистки, отсутствие внесения в очищаемую воду анионов и образования загрязненных растворов. В качестве металлов, контактно вытесняющих медь из водных растворов, могут применяться цинк, железо, никель, алюминий. По экономическим соображениям в основном используется железо. При этом происходит окислительно-восстановительная реакция, описываемая уравнением:



В результате данной реакции медь выделяется из раствора на поверхности железа в виде красной губчатой массы, а железо переходит в раствор в виде ионов  $\text{Fe}^{2+}$ . Для ускорения протекания реакции железо используют в виде стружки, опилок, мелкой дроби, которые загружают в непрерывно вращающиеся барабаны – реакторы. Медьсодержащие растворы могут в них обрабатываться как в непрерывном, так и в периодическом режиме. Вращение реакторов приводит к интенсивному механическому трению частиц железной загрузки между собой и о стенки реактора, поэтому выделяющаяся медь диспергируется, и выводится из реактора вместе с обработанным раствором в виде тяжелого шлама. Данный шлам легко отделяется от раствора при отстаивании. Обработанный раствор, содержащий  $\text{Fe}^{2+}$ , направляется на дальнейшую очистку совместно с другими стоками, содержащими ионы тяжелых металлов ( $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ , и др.). Медьсодержащий шлам после механического обезвоживания сдается на переработку.

### **Методика выполнения работы**

1. Определить концентрацию ионов меди в модельном образце промывного раствора линии меднения методом инверсионной вольтамперометрии (приложение 8).

2. Подготовить к работе реактор с железной загрузкой. Для этого необходимо проверить герметичность крышки реактора, затем интенсивно встряхивать его в течение одной минуты, после этого открыть крышку

и слить из реактора воду с образовавшейся взвесью. После этого снова залить в реактор дистиллированную воду по уровень загрузки, закрыть крышку и повторить операцию интенсивного встряхивания и слива воды. Реактор готов к работе.

3. С помощью мерного цилиндра отмерить необходимый объем промывного раствора и влить его в подготовленный реактор с железной загрузкой, плотно закрыть крышку, затем интенсивно встряхивать реактор (приблизительно 60 встряхиваний в минуту) в течение заданного промежутка времени. Объем обрабатываемого раствора и время обработки задаются преподавателем.

4. После завершения обработки открыть крышку реактора и слить из него обработанный раствор вместе с образовавшимся шламом в лабораторный стакан, не высыпая загрузку.

5. Дать обработанному раствору немного отстояться и слить осветленный раствор в другой стакан с выпавшего шлама.

6. К осветленному раствору добавить 0,5 мл раствора пероксида водорода с концентрацией 10 % и 6 мл раствора NaOH с концентрацией 40 г/л (1н).

7. Перемешивать реакцию смесь в течение 1-й минуты и затем профильтровать обработанный раствор через бумажный фильтр «синяя лента».

8. Определить концентрацию ионов меди в обработанном профильтрованном образце промывного раствора методом инверсионной вольтамперометрии (приложение 8).

9. Аналогично согласно п. 3...8 выполнить обработку и анализ модельного образца промывного раствора при другом времени реакции (всего 3...5 различных значений по заданию преподавателя).

### Обработка экспериментальных данных

**Таблица 7.1 – Результаты измерений и расчетов**

№ опыта	Концентрация $\text{Cu}^{2+}$ в исходном растворе, мг/дм <sup>3</sup>	Объем обрабатываемого раствора, см <sup>3</sup>	Время обработки, мин	Концентрация $\text{Cu}^{2+}$ в растворе после обработки, мг/дм <sup>3</sup>	Эффект очистки промывного раствора от ионов меди, %	Суточный расход промывного раствора от линии меднения, м <sup>3</sup> /сут	Масса меди, выделяемая в виде шлама за сутки работы предприятия, кг/сут
1	2	3	4	5	6	7	8

Эффект очистки промывного раствора от ионов меди определяется по формуле

$$\varepsilon_{\text{оч}} = \frac{C_{\text{исх}} - C_{\text{кон}}}{C_{\text{исх}}} \cdot 100, \% \quad (7.1)$$

где  $C_{\text{исх}}$  – концентрация  $\text{Cu}^{2+}$  в исходном растворе, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{\text{кон}}$  – концентрация  $\text{Cu}^{2+}$  в растворе после обработки, мг/дм<sup>3</sup>.



Масса меди, выделяемая в виде шлама из промывного раствора за 1 сутки:

$$G_{\text{сут}} = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot C_{\text{исх}} \cdot \mathcal{E}_{\text{оч}}}{100 \cdot 1000}, \text{ кг / сут}, \quad (7.2)$$

где  $Q_{\text{сут}}$  – суточный расход промывного раствора от линии меднения, м<sup>3</sup>/сут.

По данным таблицы 7.1 строится график эффекта очистки промывного раствора от ионов меди в зависимости от времени обработки  $\mathcal{E}_{\text{оч}} = f(t)$ .

### Контрольные вопросы

1. Почему необходимо утилизировать медь из промывных технологических растворов?
2. Какие методы используются для удаления меди из технологических и промывных растворов?
3. Каков механизм выделения меди из технологических и промывных растворов при осуществлении метода «цементации»?
4. Какие металлы используются в качестве вытеснителя меди из раствора при осуществлении метода «цементации»?
5. Объясните порядок действий при осуществлении метода «цементации» в лабораторных условиях.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

### ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ СВИНЦА

Цель работы: Выполнить исследования по влиянию дозы реагента-осадителя и активной реакции среды на очистку производственных сточных вод от свинца методом осаждения.

#### Теоретическая часть

Источником сточных вод, содержащих свинец, являются заводы по обогащению руды, выплавке свинца, изготовлению свинцовых аккумуляторных батарей, силовых кабелей, а также предприятия по переработке аккумуляторов.

Свинец относится к токсичным загрязнениям, поэтому сточные воды должны подвергаться очистке перед сбросом в канализацию. Предельно допустимая концентрация свинца в водопроводной воде не должна превышать 0,01 мг/дм<sup>3</sup>.

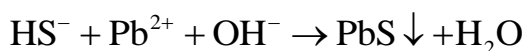
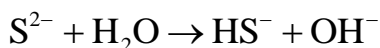
Очистка воды от свинца может осуществляться следующими методами: реагентным осаждением, электрофлотацией, ионным обменом.

Основной принцип реагентного осаждения состоит в подборе реагентов, способных образовывать нерастворимые в воде соли свинца. Для характеристики растворимости солей используют постоянную величину, называемую произведением растворимости (ПР). Произведение концентраций ионов малорастворимой соли в насыщенном при данной температуре растворе есть величина постоянная. Например, для соли  $A^+B^-$   $ПР = [A^+] \cdot [B^-]$ , где концентрации ионов  $[A^+]$  и  $[B^-]$  измеряются в моль/л. Значения ПР при  $10^\circ\text{C}$  для сульфида свинца  $ПР_{PbS} = 3,4 \cdot 10^{-28}$ .

Принцип электрофлотации заключается в электролизе воды, содержащей ионы свинца, в присутствии ионов фтора в массовом соотношении 1:3. При этом рН очищаемой воды доводят до значения 9,5 и дополнительно вводят смесь солей Fe (II) и Fe (III) при массовом соотношении свинца к смеси 1:0,9, при этом соотношение ионов Fe(II):Fe(III) составляет 2:3. Подают токовую нагрузку на аппарат. Электролиз ведут при плотности тока  $7,5 \text{ mA/cm}^2$  в течение 4 минут. В результате образующихся электролитических газов кислорода и водорода из объема на поверхность воды всплывают ферриты металлов, которые удаляются механически.

Удаление ионов свинца из очищаемой воды методом ионного обмена осуществляется с помощью катионитов. Если концентрация металла велика, ионный обмен объединяют с методом осаждения.

В данной лабораторной работе для удаления ионов свинца используется метод реагентного осаждения. В качестве реагента применяется сульфид натрия ( $\text{Na}_2\text{S}$ ). При растворении в воде он подвергается гидролизу:



Характеристика образующегося осадка зависит в значительной степени от рН и дозы реагента-осадителя. При низких значениях рН растворимость сульфида свинца увеличивается, в результате осадок не образуется, а сульфид-ионы взаимодействуют с ионами водорода с образованием сероводорода:



Для получения максимального эффекта осаждения свинца при минимальном расходе реагента-осадителя процесс следует проводить в нейтральной или слабощелочной среде.

### Методика выполнения работы

1. Приготовить основной раствор азотнокислого свинца  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  с концентрацией  $5000 \text{ мг-ион/дм}^3$ , для этого 4 грамма  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  перенести в мерную колбу на 500 мл и довести объем дистиллированной водой до метки, 1 мл основного раствора содержит 5 мг-ионов  $\text{Pb}^{2+}$ .

2. Рассчитать необходимую дозу реагента для доведения концентрации свинца в модельном (рабочем) растворе в пределах  $5 \dots 20 \text{ мг-ион/дм}^3$

(задается преподавателем). Например, для приготовления 1 литра раствора с концентрацией 10 мг-ион/дм<sup>3</sup> необходимо 2 мл основного раствора перенести в мерную колбу на 1000 мл и довести объем воды водопроводной водой до метки.

3. Приготовить основной раствор реагента-осадителя с концентрацией 1000 мг/дм<sup>3</sup> Na<sub>2</sub>S, для этого 1000 мг Na<sub>2</sub>S переносят в мерную колбу на 1000 мл и доводят объем раствора до метки, 1 мл раствора содержит 1 мг Na<sub>2</sub>S.

В соответствии со стехиометрическим отношением для осаждения 207 мг-ионов Pb<sup>2+</sup> необходимо 32 мг-ионов S<sup>2-</sup> или 78 мг Na<sub>2</sub>S. Для облегчения дозирования следует приготовить рабочий раствор Na<sub>2</sub>S с концентрацией 100 мг/дм<sup>3</sup>, для этого в мерную колбу на 100 мл внести 10 мл основного раствора Na<sub>2</sub>S и довести объем до метки, в 1 мл рабочего раствора содержится 0,1 мг Na<sub>2</sub>S.

4. В коническую колбу отобрать 100 мл рабочего раствора Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (модельная сточная вода), внести аликвотное количество рабочего раствора Na<sub>2</sub>S, отстоять 15 минут и затем профильтровать через бумажный фильтр «синяя лента». В отфильтрованном растворе с помощью прибора АВА-3 определяется остаточная концентрация ионов Pb<sup>2+</sup>.

5. Исследовать процесс осаждения в кислой и щелочной среде, для этого в колбу на 200 мл отобрать 100 мл рабочего раствора модельной сточной воды, довести рН до значений, указанных преподавателем добавлением 0,1н. HCl и 0,1н. NaOH, провести исследования в соответствии с пунктом 4.

6. Исследовать влияние дозы реагента-осадителя на эффективность удаления свинца. Для этого в три колбы отобрать по 100 мл рабочего модельного раствора, внести различные дозы Na<sub>2</sub>S (по рекомендации преподавателя), провести исследования в соответствии с пунктом 4.

### Обработка экспериментальных данных

**Таблица 8.1 – Результаты измерений и расчетов по влиянию дозы реагента-осадителя на эффект удаления ионов свинца осаждением**

№ опыта	Исходное содержание ионов свинца, мг-ион/дм <sup>3</sup> .	Доза реагента-осадителя, Na <sub>2</sub> S, мг/дм <sup>3</sup>	Относительная доза по стехиометрическому отношению	Остаточное содержание ионов свинца после очистки, мг-ион/дм <sup>3</sup>	Эффект удаления ионов свинца, %
1	2	3	4	5	6

Эффект удаления ионов свинца рассчитывается по формуле

$$\xi_{\text{оч}} = \frac{C_{\text{исх}} - C_{\text{кон}}}{C_{\text{исх}}} \cdot 100, \% , \quad (8.1)$$

где  $C_{исх}$  — концентрация  $Pb^{2+}$  до очистки, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{кон}$  — концентрация  $Pb^{2+}$  после очистки, мг/дм<sup>3</sup>.

По данным таблицы 8.1 строится график зависимости эффекта удаления ионов свинца от относительной дозы реагента-осадителя по стехиометрическому соотношению.

**Таблица 8.2 – Результаты измерений и расчетов по влиянию активной реакции среды на эффект удаления ионов свинца осажждением**

№ опыта	Исходное содержание ионов свинца, мг-ион/дм <sup>3</sup> .	Доза реагента-осадителя, Na <sub>2</sub> S, мг/дм <sup>3</sup>	Активная реакция среды, (рН)	Остаточное содержание ионов свинца после очистки, мг-ион/дм <sup>3</sup> ..	Эффект удаления ионов свинца, %
1	2	3	4	5	6

По данным таблицы 8.2 строится график зависимости эффекта удаления ионов свинца от активной реакции среды при постоянной дозе реагента-осадителя.

### Контрольные вопросы

1. Источники свинца в производственных сточных водах?
2. Основные технологические приемы удаления свинца из сточных вод?
3. Объяснить сущность метода удаления ионов свинца с помощью реагентного осаждения.
4. Какие основные факторы оказывают влияние на процесс удаления свинца методом реагентного осаждения?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

### ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОЧИСТКИ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ СТОЧНЫХ ВОД МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИИ

Цель работы: 1. На теоретическом уровне изучить технологическую схему очистки гальванических сточных вод методом электрокоагуляции.

2. На локальных очистных сооружениях ОАО “Брестский электротехнический завод” практически закрепить изученный теоретический материал и дать оценку технологической эффективности метода электрокоагуляции при очистке сточных вод гальванического производства.

## Теоретическая часть

Состав сточных вод. Гальванические сточные воды, образующиеся на территории ОАО “Брестский электротехнический завод”, разделяются на два потока:

- кислотнo-щелочные электролиты (-К8-);
- промывные кислотнo-щелочные и хромсодержащие сточные воды (-К10-).

Гальванические стоки содержат ионы металлов, сульфаты, фосфаты, хлориды с концентрациями:

$$\text{Cr}^{6+} = 25 \text{ мг/дм}^3;$$

$$\text{Ni}^{2+} = 6,1 \text{ мг/дм}^3;$$

$$\text{SO}_4^{2-} = 56,3 \text{ мг/дм}^3;$$

$$\text{PO}_4^{3-} = 3,8 \text{ мг/дм}^3;$$

$$\text{Cl}^- = 17,8 \text{ мг/дм}^3;$$

$$\text{pH} = 2,74.$$

После очистки часть сточных вод возвращается на повторное использование, а оставшаяся часть сбрасывается в городской коллектор. Качество воды должно удовлетворять следующим требованиям:  $\text{Cr}^{6+} = 0,1 \text{ мг/дм}^3$ ,  $\text{Ni}^{2+} = 0,3 \text{ мг/дм}^3$ ,  $\text{pH} = 6,5-8,5$ .

Выбор метода очистки. Основной задачей подготовки кислотнo-щелочных сточных вод к сбросу в бытовую канализацию и на повторное использование является их очистка от ионов тяжелых металлов переводом их в гидроксиды и последующим выделением в осадок.

Технология обработки сточных вод предусматривает усреднение в накопителе гальванических сточных вод и далее их обработку методом электрокоагуляции в установке проточного типа с пластинчатыми электродами из низкоуглеродистой стали.

Технологическая схема очистки гальваностокoв (приложение 9). Промывные кислотнo-щелочные и хромовые сточные воды из гальванического участка самотеком поступают в подземные усреднители поз. К10.1. Концентрированные кислотнo-щелочные электролиты сливаются в лоток, по которому самотеком также поступают в усреднители поз. К10.1, после чего проходят очистку совместно с промывными сточными водами.

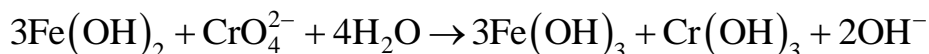
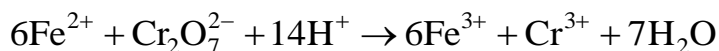
В усреднители также поступает декантат из илоуплотнителя поз. О1.1, вода от промывки сорбционных фильтров поз. В10.3, фильтрат из ресивера поз. О1.4, слив и перелив осадка из корыта вакуум-фильтра поз. О1.3, отработанные регенерационные растворы щелочи и магния, а также слив и перелив осветленной воды из бака поз. В10.1. Время пребывания сточных вод составляет 3 часа.

Из усреднителей поз. К10.1 промывные кислотнo-щелочные и хромсодержащие сточные воды насосами поз. К10.2 подаются для предварительной электрохимической обработки в электроионный сепаратор поз. К10.3.

Сущность метода заключается в следующем:

– в анодные камеры сепаратора поз. К10.3 (элемент блока электрохимической обработки) подается насосами поз. Р2.2 из статического гальванокоагулятора с рецикловым баком поз. Р2.1 раствор, содержащий ионы  $\text{Fe}^{2+}$ , а в катодные камеры поступают очищаемые сточные воды;

– ионы  $\text{Fe}^{2+}$  под воздействием электрического тока проходят через полупроницаемую мембрану в катодные камеры, где смешиваются с очищаемыми сточными водами и восстанавливают  $\text{Cr}^{6+}$  до  $\text{Cr}^{3+}$  по следующей схеме:



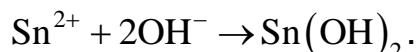
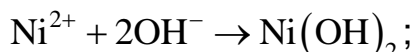
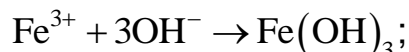
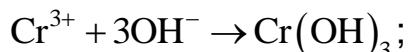
Статический гальванокоагулятор с рецикловым баком поз. Р2.1 осуществляет подачу раствора железа  $\text{Fe}^{2+}$  с помощью насосов поз. Р2.2. Нарботка железа происходит в статическом гальванокоагуляторе, заполненного стальной стружкой при циркуляции через нее суспензии катодного вещества.

Поддержание рН в рецикловом баке поз. Р2.1 осуществляется путем подачи концентрированной кислоты в рецикловый бак поз. Р2.1 посредством дозирующего насоса поз. Р3.2 № 1, из бутылки с кислотой, с регулировкой объема кислоты, обеспечивающего концентрацию раствора железа  $\text{Fe}^{2+}$  в рецикловом баке, необходимую для обезвреживания шестивалентного хрома усредненных промывных стоков.

Электроснабжение электроионного сепаратора осуществляется от выпрямительного агрегата поз. К 10.6.

Прошедшие электрохимическую очистку сточные воды поступают в смеситель, поз. К10.4 коридорного типа, блока очистки поз. К10.5, где смешиваются с раствором щелочи, подаваемым из дозатора щелочи поз. Р1.3 через вентиль с электроприводом У1, управляемый автоматически, по показаниям рН-метра, установленного на выходе из смесителя, для поддержания рН в пределах 8,5...9,5.

В результате подщелачивания сточных вод до рН=8,5...9,5 образуются нерастворимые или слабо растворимые гидроксидные соединения, например:



На выходе из смесителя поз. К 10.4 сточные воды смешиваются с раствором флокулянта, подаваемым, по мере необходимости, из дозатора поз. Р7.1, для улучшения процесса осаждения осадка.

Образовавшиеся гидроксиды железа интенсивно коагулируют примеси и другие гидроксиды в крупные плотные частицы, легко выпадающие в осадок, которые захватывают и часть растворенных примесей, таких как фосфаты, сульфаты, карбонаты, кальций, магний и другие.

Далее сточные воды проходят камеру хлопьеобразования, где интенсивно происходит процесс образования осадка, после чего направляются для осветления в тонкослойный модуль блока очистки поз. К10.5, непосредственно над которым расположен фильтр из вспененного полистирола, обеспечивающий удаление мелкодисперсных примесей и повышение эффективности очистки гальваностоков.

Осветленная от загрязнений вода, пройдя фильтр из вспененного полистирола, сливается в бак поз. В10.1, из которого насосами поз. В10.2 подается для доочистки на сорбционные фильтры поз. В10.3, загруженные алюмосиликатным адсорбентом.

Промывка сорбционных фильтров поз. В10.3, осуществляется водой, подаваемой насосом поз. В11.2 из бака поз. В11.1. Промывка фильтра производится в течении 5–10 мин.

Промывная вода от фильтров поз. В10.3 (ФОВ-1-0.6) отводится в усреднители поз. К10.1.

Регенерация алюмосиликатной загрузки сорбционных фильтров поз. В10.3 осуществляется путем рециркуляции через слой загрузки последовательно раствора щелочи и сернокислого (хлористого) магния.

Отработанные регенерационные растворы щелочи и магния сбрасываются в усреднители промывных стоков поз. К10.1.

Регенерация сорбционных фильтров проводится со следующей периодичностью:

- регенерация раствором щелочи – 1 раз в год со сбросом регенерационного раствора в усреднители поз. К10.1;
- регенерация раствором магния – 1 раз в три месяца, после чего отработанный регенерационный раствор может использоваться несколько раз (сброс отработанного регенерационного раствора магния производится 2 раза в год).

После сорбционных фильтров полностью очищенная вода, под остаточным напором поступает в подземный резервуар очищенной воды поз. В11.1, из которого часть очищенной воды сбрасывается в сеть бытовой канализации, а часть возвращается на повторное использование.

Образующийся в процессе очистки гальваностоков осадок из блока очистки поз. К10.5 периодически сбрасывается в двухсекционный илоуплотнитель поз. О1.1. Одновременно, за счет движения жидкости сверху вниз, удаляются частицы, задержанные полистирольным фильтром, то есть происходит их регенерация.

После 3–5 часового отстаивания происходит снижение влажности осадка и уменьшение его объема.

Декантат, образующийся в илоуплотнителе поз. О1.1, в процессе отстаивания осадка, самотеком сбрасывается в усреднители поз. К10.1.

Уплотненный в осадкоуплотнителе поз. О1.1 осадок, насосом поз. О1.2 подается на вакуум-фильтр поз. О1.3, где обезвоживается до влажности 70 % и вывозится на захоронение.

## Методика выполнения работы

### 1. Занятия в лаборатории.

На теоретическом уровне изучить сущность метода электрокоагуляции при очистки гальванических стоков (на примере технологической схемы очистки сточных вод на локальных очистных сооружениях (ЛОС) ОАО “Брестский электротехнический завод”).

### 2. Экскурсия на ЛОС ОАО “Брестский электротехнический завод”.

2.1. Практически закрепить теоретические знания по очистки гальванических сточных вод методом электрокоагуляции.

2.2. Изучить конструкцию и принцип работы оборудования, применяемого в технологической схеме очистки гальванических стоков.

2.3. По данным журнала лабораторного контроля за ходом очистки сточных вод, оценить качество воды до и после очистки по показателям: рН, концентрация хрома (III), хрома (VI), концентрация никеля (II) и др.

2.4. Дать оценку технологической эффективности метода электрокоагуляции при обезвреживании гальванических сточных вод.

## Обработка экспериментальных данных

**Таблица 9.1 – Результаты измерений**

Наименование показателя	Единицы измерения	Значение показателя в сточной воде		Эффект очистки, %
		до очистки	после очистки	
1	2	3	4	5

## Контрольные вопросы

1. Какие категории сточных вод образуются на территории ОАО “Брестский электротехнический завод”?

2. Объясните сущность электрокоагуляционного метода очистки хромсодержащих сточных вод.

3. Какую реакцию среды необходимо поддерживать в рецикловом баке для обеспечения требуемой концентрации ионов  $Fe^{2+}$ ? За счет чего происходит создание требуемой реакции среды?

4. При каком уровне рН происходит образование нерастворимых или слаборастворимых гидроксидных соединений? Как обеспечивается требуемый уровень рН?

5. Какие сооружения в технологической схеме предназначены для осветления и доочистки сточных вод?

6. Изложите последовательность обработки осадка, образующегося при очистке хромсодержащих сточных вод.



## Определение рН электрометрическим методом

*Сущность метода.* Электрометрический метод определения рН основан на измерении разности потенциалов, возникающей на поверхности раздела между стеклянным электродом и раствором. Он представляет собой трубку с напаянным на конце полым шариком из литиевого электродного стекла. При погружении электрода в раствор между поверхностью шарика и раствором происходит обмен ионами, в результате которого ионы лития в поверхностных слоях стекла замещаются ионами водорода, и стеклянный электрод приобретает свойства водородного. При изменении рН на единицу потенциал стеклянного электрода изменяется на 58,1 мВ (при 20 °С). Пределы линейной подчиненности потенциала электрода зависят от состава стекла электрода. Современные стеклянные электроды позволяют измерять рН от 0 до 14.

В качестве вспомогательного электрода сравнения при измерении рН используют хлорсеребряный электрод, корпус которого заполняется насыщенным раствором хлорида калия. Верхняя часть корпуса с отверстием для заливки хлорида калия закрывается резиновой пробкой, которая при измерениях вынимается.

*Аппаратура:* иономер лабораторный И-130М со стеклянным измерительным электродом ЭСЛ-43-07 и хлорсеребряным электродом сравнения ЭВЛ-1М.3.1.

*Реактивы:* 1) буферный раствор с рН 1,68 при 20 °С (0,05М раствор тригидродиксалата калия); 2) буферный раствор с рН 4 при 20 °С (0,05М раствор гидрофталата калия); 3) буферный раствор с рН 6,98 при 20 °С (0,025М раствор дигидроортофосфата калия и 0,025М гидроортофосфата натрия); 4) буферный раствор с рН 9,22 при 20 °С (0,01М раствор тетрабората натрия). Буферные растворы хранят в посуде из полиэтилена или стекла «пирекс».

*Подготовка к работе.* Измерительный электрод подключается к гнезду «Изм.», вспомогательный – к гнезду «Всп.». Переключатель рода работ устанавливается в положение рХ<sup>+</sup>(рН). Переключатель вида термокомпенсации на передней панели прибора устанавливается в положение «ручн.» (рекомендуется при постоянной температуре раствора). Электроды и термометр устанавливаются на штативе. Иономер включается в сеть и прогревается в течении 30 мин.

*Настройка иономера.* Перед измерением рН проверяют прибор по стандартным буферным растворам. Погружают электродную систему и термометр в первый буферный раствор. Определяют температуру раствора и устанавливают значение температуры раствора органами настройки « t раств °С ». После установления показаний, если они отличаются от стандартного значения, настраивают прибор. Для этого

нажимают кнопку «Инд.» и, ориентируясь по показаниям цифрового табло органами настройки «рХ<sub>и</sub>», устанавливают значение рН первого буферного раствора. Затем отжимают кнопку «Инд.». Удаляют пробу с первым буферным раствором, электроды промывают дистиллированной водой, удаляют остатки воды фильтровальной бумагой и погружают во второй буферный раствор. После установления показаний органами настройки крутизны «S %» устанавливают значение рН второго буферного раствора при данной температуре.

*Ход измерения.* Электродную систему погружают в исследуемый раствор и по показаниям цифрового табло отсчитывают величину потенциала стеклянного электрода в единицах рН, округляя результаты до 0,05–0,1.

## Приложение 2

### Фотометрический метод определения шестивалентного хрома с дифенилкарбазидом

*Сущность метода.* Дифенилкарбазид реагирует в кислой среде с бихромат-ионами с образованием соединения фиолетового цвета, в котором хром содержится в восстановленной форме, в виде хрома(III), а дифенилкарбазид окислен до дифенилкарбазона. Метод очень чувствителен: при  $\lambda = 540$  нм молярный коэффициент поглощения  $\epsilon = 4,2 \cdot 10^4$ .

*Аппаратура:* спектрофотометр SP-830 plus.

*Подготовка к работе.* После включения дать прибору прогреться в течении 30 минут. Нажатием «100», «010» и «001» установить длину волны  $\lambda$  (нм), нажатием «A/T/C» выбрать режим А (абсорбции света).

*Измерение оптической плотности.* Вставить кювету с холостой пробой в кюветодержатель и закрыть крышку кюветного отделения, нажать «BLANK». Заменить кювету с холостой пробой на кювету с измеряемым образцом, закрыть крышку. На дисплее снять показания в единицах оптической плотности.

*Реактивы:* дифенилкарбазид, 0,1%-ный спиртовой раствор; серная кислота, 2 н. раствор.

*Построение калибровочного графика.* Приготовить методом разбавления раствор  $K_2Cr_2O_7$  в дистиллированной воде с концентрацией хрома  $1 \text{ мг/дм}^3$  (растворить 0,7071 г просушенного  $K_2Cr_2O_7$  в  $1 \text{ дм}^3$  дистиллированной воды, затем отобрать  $4 \text{ см}^3$  полученного раствора и разбавить до  $1 \text{ дм}^3$ ). В ряд мерных колб емкостью 100 мл отмерить 1, 2, 5, 10, 20, 35, 50  $\text{см}^3$  раствора с концентрацией хрома  $1 \text{ мг/дм}^3$  и довести объемы до метки. Полученные растворы имеют концентрации хрома: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,35; 0,5  $\text{мг/дм}^3$ . Перелить растворы в конические колбы емкостью 100 мл. Ко всем растворам прилить  $1,25 \text{ см}^3$  2н.  $H_2SO_4$ ,  $1 \text{ см}^3$  0,1% раствора дифенилкарбазид, перемешать и через 10 минут определить оптическую плотность на длине волны  $\lambda = 540$  нм. Из полученных значений оптической

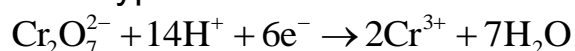
плотности вычесть результат холостого определения и построить график в координатах: оптическая плотность – концентрация хрома (VI).

*Ход определения хрома (VI).* В три конические колбы емкостью 100 мл поместить по 50 см<sup>3</sup> профильтрованной пробы, предварительно разбавленной так, чтобы в пробе содержалось 0,01–0,5 мг/дм<sup>3</sup> хрома. Затем пробу в одной из колб нейтрализовать 0,1 н. раствором едкой щелочи по фенолфталеину до слабо-розового окрашивания, в другой – нейтрализовать таким же объемом раствора едкой щелочи, но без прибавления индикатора, прилить 0,62 см<sup>3</sup> 2 н. раствора H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и 0,5 см<sup>3</sup> 0,1 % раствора дифенилкарбазида и через 10–15 мин определить оптическую плотность раствора по отношению к пробе в третьей колбе, к которой прибавить все реактивы, кроме дифенилкарбазида. Измерение проводить при λ = 540 нм. По калибровочному графику определить концентрацию шестивалентного хрома (при необходимости учесть разбавление пробы).

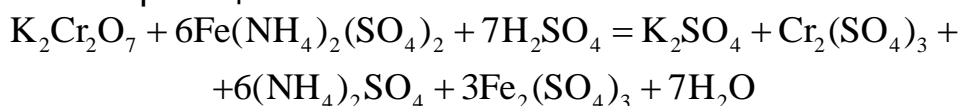
### Приложение 3

#### Бихроматный ускоренный метод определения ХПК

*Сущность метода.* Органические вещества окисляют бихроматом калия в 18 н. (разбавление 1:1) серной кислоте. Бихромат при этом восстанавливается согласно уравнению:



Концентрацию бихромата калия в растворе определяют при помощи соли Мора Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O. При этом протекает окислительно-восстановительная реакция:



Зная концентрацию бихромата калия до и после окисления, можно рассчитать, какое его количество (в пересчете на кислород) израсходовано на окисление примесей воды.

Окисление органических веществ в этих условиях охватывает практически все органические вещества, особенно если вводить в реакционную смесь катализатор – сульфат серебра. Получаемый результат составляет 95–98 % от ХПК<sub>теор.</sub> Потеря (2–5 %) объясняется образованием летучих, устойчивых к окислению продуктов распада (CO, CH<sub>4</sub>). С трудом окисляются пиридин и его гомологи, пиррол, никотиновая кислота и некоторые другие азотсодержащие гетероциклические соединения, бензол, толуол и другие ароматические углеводороды, парафин, нафталин. Мешающее влияние хлоридов (окисляющихся в процессе определения до Cl<sub>2</sub>) устраняют маскированием их сульфатом ртути (II) в количестве 22,2 мг HgSO<sub>4</sub> на 1 мг Cl<sup>-</sup>.

Если анализируемая проба содержит неорганические восстановители, то количество их, определяемое отдельно соответствующими

методами, должно быть вычтено (в пересчете на кислород) из результата определения ХПК. Поправку на присутствие в воде сульфидов, сульфитов, гидросульфитов вводить не следует, поскольку  $H_2S$  и  $SO_2$  улетучиваются при определении ХПК (надо только серную кислоту вливать в колбу ранее бихромата).

Анализировать можно предварительно профильтрованную пробу и всю пробу вместе с присутствующим в ней осадком (в зависимости от поставленной цели). При фильтровании пробы через бумажный фильтр надо избегать возможного влияния бумаги фильтра. Фильтр надо предварительно промыть горячей водой и, проводя фильтрование, отбросить первую порцию (200–250 см<sup>3</sup>) фильтрата. Нельзя фильтровать сточную воду, содержащую вещества, которые могут улетучиваться во время фильтрования или окисляться кислородом воздуха. В таких случаях фильтрование заменяют продолжительным отстаиванием сточной воды и для анализа отбирают пипеткой верхний прозрачный слой.

*Ускоренный метод определения ХПК* применяют, если имеется уверенность в отсутствии трудноокисляемых органических веществ. Он проводится без добавления катализатора и сульфата ртути. Главная особенность ускоренного метода – повышенная концентрация  $H_2SO_4$ . Нагревания извне не требуется, температура повышается за счет тепла, выделяющегося при смешении воды с концентрированной серной кислотой. Хлорид-ионы количественно окисляются до свободного хлора, и из полученного результата определения надо вычесть поправку: на 1 мг хлорид-ионов расходуется 0,23 мг кислорода.

Ускоренный метод предназначен для постоянных ежедневных анализов, проводимых для контроля работы очистных сооружений или состояния воды в водном объекте. Результаты определения, как правило, получаются несколько ниже, чем при анализе арбитражным методом, но они достаточно хорошо воспроизводимы.

*Реактивы:*

Серная кислота пл. 1,84 г/см<sup>3</sup>, чда.

N-Фенилантраниловая кислота, 0,25 г кислоты растворяют в 12 см<sup>3</sup> 0,1 н. раствора едкого натра и разбавляют водой до 250 см<sup>3</sup>.

Бихромат калия, 0,25 н. стандартный раствор. 12,258 г бихромата калия, предварительно высушенного в течение 2 ч при 105 °С, растворяют в дистиллированной воде и разбавляют раствор водой до 1 дм<sup>3</sup>.

Соль Мора, приблизительно 0,25 н. раствор. Растворяют 98 г соли Мора в дистиллированной воде, прибавляют 20 см<sup>3</sup> концентрированной серной кислоты и разбавляют раствор дистиллированной водой до 1 дм<sup>3</sup>. Титр этого раствора устанавливают по стандартному раствору бихромата калия.

*Ход определения.* Если ХПК анализируемой воды в пределах 600–400 мг $O_2$ /дм<sup>3</sup>, берут для анализа 1 см<sup>3</sup> пробы, если ХПК 50–500 мг  $O_2$ /дм<sup>3</sup>,

отбирают 5 см<sup>3</sup> пробы, если ХПК выше 4000 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, пробу предварительно разбавляют, если же ХПК ниже 50 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, метод применять нельзя.

В пробу вводят 2,5 см<sup>3</sup> 0,25 н. раствора бихромата калия, затем при перемешивании концентрированную серную кислоту (7,5 см<sup>3</sup> на 1 см<sup>3</sup> пробы, 15 см<sup>3</sup> на 5 см<sup>3</sup> пробы). При этом температура раствора поднимается выше 100 °С. Через 2 мин охлаждают раствор до комнатной температуры, приливают 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, вводят 5–10 капель раствора N-фенилантраниливой кислоты и титруют избыток бихромата титрованным раствором соли Мора. Параллельно проводят холостой опыт. Для этого берут тот же объем дистиллированной воды и проводят анализ по вышеприведенной методике.

*Расчет.* Химическое потребление кислорода (ХПК) вычисляют по формуле

$$\text{ХПК} = \frac{(a - b) \cdot N \cdot 8 \cdot 1000}{V}, \text{ мг О}_2 / \text{дм}^3,$$

где *a* – объем раствора соли Мора, израсходованного на титрование в холостом опыте, см<sup>3</sup>;

*b* – объем того же раствора, израсходованного на титрование пробы, см<sup>3</sup>;

*N* – нормальность титрованного раствора соли Мора;

*V* – объем анализируемой сточной воды, см<sup>3</sup>;

*8* – эквивалент кислорода.

## Приложение 4

### Построение калибровочного графика для определения концентрации раствора органического красителя

*Аппаратура:* спектрофотометр SP–830 plus.

*Подготовка к работе.* После включения дать прибору прогреться в течении 30 минут. Нажатием «100», «010» и «001» установить длину волны λ (нм), нажатием «A/T/C» выбрать режим А (абсорбции света).

*Измерение оптической плотности.* Вставить кювету с холостой пробой в кюветодержатель и закрыть крышку кюветного отделения, нажать «BLANK». Заменить кювету с холостой пробой на кювету с измеряемым образцом, закрыть крышку. На дисплее снять показания в единицах оптической плотности.

*Приготовление растворов*

1. *Приготовление рабочего и разбавленного растворов красителя.*

Концентрация **рабочего** раствора красителя – 1000 мг/дм<sup>3</sup>. Объем рабочего раствора красителя — 1000 мл. Для приготовления **разбавленного** раствора используют разведение рабочего раствора от 1:100 до 1:400 (в зависимости от рекомендуемой концентрации красителя, приведенной в графе 4 таблицы 1). Для этого в мерную колбу на 1000 мл вносят 2,5...10 мл рабочего раствора и доводят объем

до 1000 мл дистиллированной водой. Концентрация разбавленного раствора красителя  $C_k$  будет равна 2,5...10 мг/дм<sup>3</sup>.

## 2. Приготовление шкалы концентраций раствора красителя.

Для приготовления шкалы концентраций используется *разбавленный* раствор красителя. К примеру, если концентрация разбавленного раствора красителя составляет 10 мг/дм<sup>3</sup>, то в 7 мерных цилиндров емкостью 50 мл вводят 2,5; 5; 10; 15; 20; 25; 50 мл разбавленного раствора красителя и доводят объем до 50 мл дистиллированной водой. Это соответствует концентрациям ( $C_k$ ) 0,5; 1; 2; 3; 4; 5 и 10 мг/дм<sup>3</sup>. Если исходная концентрация красителя составляет 2,5 или 5 мг/дм<sup>3</sup>, то соответственно изменятся и концентрации калибровочной шкалы.

### Проведение работы

Краситель выбирается по таблице 1. После этого устанавливается характерная длина волны на приборе SP-830 plus по вышеприведенной методике.

**Таблица 1 – Красители для выполнения лабораторной работы**

№п /п	Название красителя	Характерная длина волны, нм	Концентрация, мг/дм <sup>3</sup>	Оптическая плотность раствора
1	2	3	4	5
1	Ланазин черный	575	10	0,91
2	Ланазин Navy	575	10	0,66
3	Конго красный	500	2,5	0,79
4	Прямой желтый светопрочный «О»	400	5	0,84

Измеряется оптическая плотность  $D$  каждого раствора "шкалы" при характерном значении  $\lambda$  для используемого в работе красителя. В качестве холостой пробы при фотометрировании используют дистиллированную воду. Результаты измерений записывают в таблицу 2.

**Таблица 2 – Зависимость оптической плотности  $D$  от концентрации красителя  $C_k$**

$C_k$ , мг/дм <sup>3</sup>							
$D$							

Используя данные таблицы 2, построить калибровочный график в координатах  $D = f(C_k)$ .

### Определение интенсивности окраски сточных вод на основе параметров спектра поглощения

*Сущность метода.* Метод основан на измерении и обработке спектров поглощения сточных вод (модельных растворов) с помощью сканирующего спектрофотометра в диапазоне длин волн от 400 до 750 нм. В качестве основного исходного параметра для обработки используются данные значений оптической плотности спектра в каждой точке сканирования (количество точек задается шагом сканирования). Эти значения в виде текстового файла (с расширением ".txt") обрабатываются с помощью компьютерной программы «Окраска-мониторинг», учитывающей чувствительность человеческого глаза к различным длинам волн видимого света. В результате обработки данных компьютерная программа выдает значение интенсивности окраски исследуемого образца по степени разбавления.

*Аппаратура:* сканирующий спектрофотометр СФ-2000, кюветы с длиной оптического пути 50 мм, персональный компьютер.

#### *Подготовка к работе*

Включить спектрофотометр и присоединенный к нему компьютер в сеть, дать спектрофотометру прогреться в течении 30 минут, залить в кювету холостой пробы и в рабочую кювету дистиллированную воду, выбрать и запустить программу «Сканирование» из программного обеспечения спектрофотометра, запустить процесс сканирования для снятия спектра поглощения дистиллированной воды.

#### *Ход определения*

Освободить рабочую кювету от дистиллированной воды, залить в неё исследуемую пробу, запустить процесс сканирования для снятия спектра поглощения пробы. Если максимальная оптическая плотность полученного спектра не превышает значения 1, выбрать меню Файл/Сохранить как..., выбрать тип файла «Текстовые файлы», нажать кнопку «Сохранить». Запустить программу «Окраска-мониторинг», считать сохраненный текстовый файл, зафиксировать выданный программой результат обработки (интенсивность окраски). В случае, если оптическая плотность снятого спектра превышает 1, необходимо разбавить исходную пробу и повторно снять спектр. Процедуру разбавления пробы и последующего сканирования разбавленной пробы необходимо продолжать до тех пор, пока не получим спектр, оптическая плотность которого в любой точке сканирования не превышает 1. После определения интенсивности окраски разбавленной пробы по вышеприведенной методике необходимо учесть кратность разбавления пробы:

$$O_{\text{исх.пр}} = O_{\text{разб.пр}} \cdot n_p ,$$

где  $O_{\text{исх.пр}}$  — интенсивность окраски исходной пробы;

$O_{\text{разб.пр}}$  — интенсивность окраски разбавленной пробы;

$n_p$  — кратность разбавления исходной пробы.

## Получение озонированной воды и определение в ней концентрации озона

*Сущность метода.* Суть метода заключается в дозировании озона в виде водного раствора, что позволяет сравнительно точно учитывать вводимую дозу. Озонированная вода получается путем пропускания озono-кислородной смеси в контактной колонке через дистиллированную воду. Концентрация озона в озонированной воде определяется инструментальным методом с помощью озонметра МЕДОЗОН 245/8 (Ж-30). Прибор работает по принципу измерения поглощения УФ-излучения ртутной лампы на длине волны  $\lambda = 255$  нм.

*Аппаратура:* озонметр МЕДОЗОН 245/8 (Ж-30), кварцевая кювета с длиной оптического пути 10 мм, лабораторная установка для получения озонированной воды.

*Подготовка к работе.*

Озонированная вода получается с помощью установки, описанной в лабораторной работе № 5 (рисунок 5.1).

*Ход работы*

Залить в контактную колонку 1,8 литра дистиллированной воды, запустить в работу концентратор кислорода, с помощью регулятора установить требуемый расход кислорода, включить электропитание озонмеров МЕДОЗОН 254/5 и МЕДОЗОН 245/8 (Ж-30), дать озонмерам прогреться в течении 10 мин. Залить в кварцевую кювету озонмера МЕДОЗОН 245/8 (Ж-30) дистиллированную воду, вставить кювету в кюветное отделение прибора прозрачной стороной перпендикулярно световому потоку, нажать кнопку «Эталон», при этом должен появиться звуковой сигнал. Через несколько секунд после появления звукового сигнала повторно нажать кнопку «Эталон». Включить водяное охлаждение озонатора, включить электропитание озонатора PLATON 10/2, постепенно регулятором концентрации установить требуемую концентрацию озона в озono-кислородной смеси, барботировать озono-кислородную смесь через дистиллированную воду в контактной колонке в течении 20 мин. Отобрать пробу озонированной воды из контактной колонки, заменить в кварцевой кювете озонмера МЕДОЗОН 245/8 (Ж-30) дистиллированную воду озонированной водой, вставить кювету в кюветное отделение, нажать кнопку «Измерение». На цифровом табло снять значение концентрации озона в дистиллированной воде ( $\text{мг/дм}^3$ ).



## Определение концентрации ароматических соединений методом УФ-спектроскопии

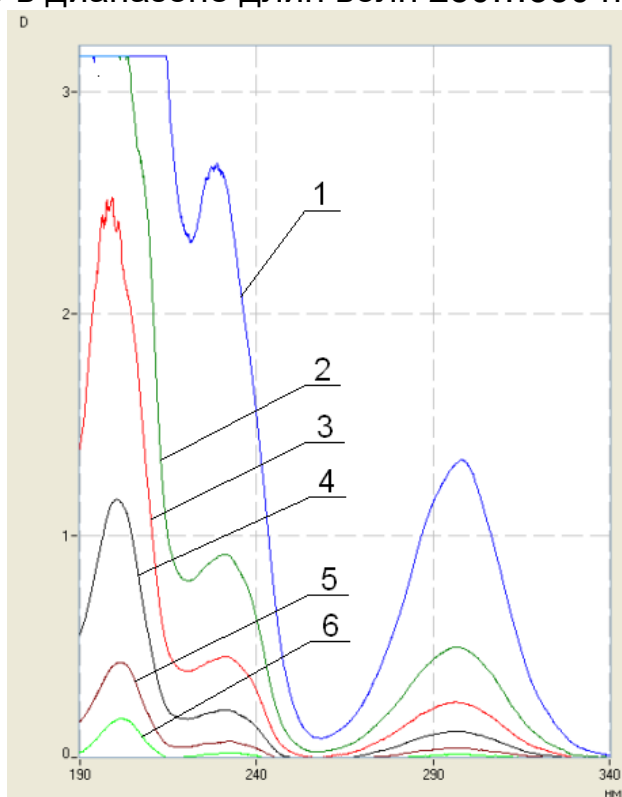
Спектры поглощения органических соединений в УФ-области в зависимости от электронного строения соединения обуславливаются различными электронными переходами и состоят из нескольких максимумов поглощения на различных длинах волн при возбуждении различных электронных уровней. Существуют следующие полосы поглощения, обусловленные переходом электрона со связывающей  $\pi$ -орбитали на разрыхляющую  $\pi^*$ -орбиталь (обозначается  $\pi \rightarrow \pi^*$ ) — **K**-полосы, **E**-полосы и **B**-полосы. **E**-полосы и **B**-полосы характерны для ароматических соединений, они обусловлены запрещенными электронными переходами в высокосимметричной молекуле бензола. Интенсивность **K**-полосы ароматических соединений наиболее высокая, однако данная полоса расположена в более дальней УФ-области (к примеру для бензола на длине волны 184 нм.). Интенсивность **E**-полосы примерно на порядок ниже чем **K**-полосы (молярный коэффициент поглощения **K**-полосы бензола — 60000, молярный коэффициент поглощения **E**-полосы бензола — 7900), но она расположена в более близкой УФ-области (для бензола на длине волны 204 нм.), что облегчает ее обнаружение с помощью кварцевой УФ-спектроскопии. **B**-полосы ароматических соединений имеют еще более низкую интенсивность (молярный коэффициент поглощения от сотен до тысяч единиц), но эти полосы находятся в области длин выше 250 нм. Именно данные полосы, несмотря на их невысокую интенсивность, наиболее подходят для идентификации ароматических и многих гетероциклических веществ в природных и сточных водах. Это обусловлено тем, что в данных водах практически всегда присутствуют различные примеси, такие как ионы тяжелых металлов (особенно железо), которые интенсивно поглощают УФ-излучение в области ниже 250 нм., тем самым перекрывая и накладываясь на **K**-полосы и **E**-полосы органических соединений.

На рисунке 1, приведенном ниже, представлены спектры поглощения раствора салициловой кислоты (о-оксибензойная кислота) в дистиллированной воде при различных концентрациях в диапазоне длин волн 190...380 нм (кварцевая УФ-спектрометрия). На спектрах четко видны **K**, **E** и **B**-полосы поглощения. Видно, что **K**-полоса поглощения находится на длине волны 201 нм, **E**-полоса — на длине волны 232 нм, **B**-полоса на длине волны 298 нм. Их интенсивность определяется высотой пика. К примеру, оптическая плотность **K**-полосы спектра, соответствующего концентрации салициловой кислоты 10 мг/дм<sup>3</sup>, составляет 2,5. Оптическая плотность **E**-полосы значительно ниже, и составляет 0,45, а оптическая плотность **B**-полосы еще ниже и составляет 0,25.

Для точного фиксирования интенсивности поглощения необходимо после снятия спектра поглощения вещества с помощью программного обеспечения

спектрофотометра, используя меню «обработка», выбрать «поиск экстремумов» и далее, выбрав «поиск максимумов», найти максимумы поглощения.

Для определения уровня поглощения ароматического органического соединения на **В**-полосе отметить высоту максимального пика, расположенного в диапазоне длин волн 250...350 нм.



- 1 – 50 мг/дм<sup>3</sup>;
- 2 – 20 мг/дм<sup>3</sup>;
- 3 – 10 мг/дм<sup>3</sup>;
- 4 – 5 мг/дм<sup>3</sup>;
- 5 – 2 мг/дм<sup>3</sup>;
- 6 – 1 мг/дм<sup>3</sup>.

Рисунок 1 – Спектры поглощения салициловой кислоты в дистиллированной воде

Концентрация вещества по известному уровню поглощения (в данном случае на длине волны, соответствующей **В**-полосе) определяется из соотношения Бугера-Ламберта-Бера:

$$m = \frac{D}{\varepsilon \cdot l},$$

где  $m$  — молярная концентрация, моль/дм<sup>3</sup>;

$D$  — оптическая плотность;

$\varepsilon$  — молярный коэффициент поглощения, дм<sup>3</sup>/моль·см;

$l$  — длина пути света в образце, см.

Для перевода молярной концентрации в весовую концентрацию используется формула

$$C = m \cdot M,$$

где  $C$  — весовая концентрация, г/дм<sup>3</sup>;

$m$  — молярная концентрация, моль/дм<sup>3</sup>;

$M$  — вес одного моля вещества, г/моль.

### Определение концентрации ионов меди методом инверсионной вольтамперометрии

*Сущность метода.* Метод инверсионной вольтамперометрии основан на способности металлов электрохимически осаждаться из анализируемого раствора на индикаторном электроде при постоянном потенциале, а затем растворяться в процессе анодной поляризации при определенном потенциале, характерном для каждого металла. Процесс электроосаждения каждого металла на индикаторном электроде происходит при заданном потенциале электролиза в течение определенного времени. Электро-растворение металлов проводят в режиме линейноменяющегося потенциала с заданной скоростью его изменения.

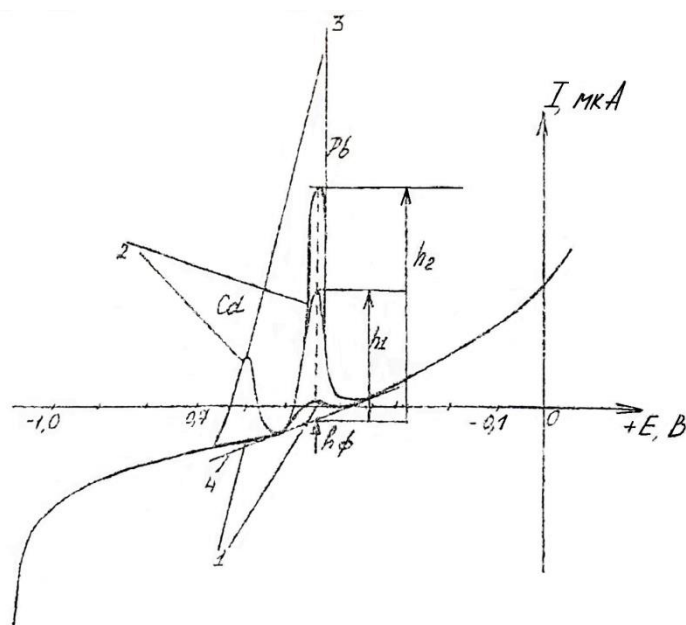
Один цикл измерений включает в себя четыре стадии: три предварительные (регенерация, накопление, успокоение), протекающие в потенциостатическом режиме, и четвертая — измерительная, в течение которой происходит растворение металлов с поверхности электрода. На измерительной стадии регистрируют вольтамперную кривую. Регистрируемая вольтамперограмма содержит аналитические сигналы (максимальные анодные токи) определяемых металлов. Аналитический сигнал металла прямо пропорционально зависит от его концентрации. Массовые концентрации металлов в испытуемом растворе пробы определяют по методу добавок аттестованных растворов определяемых металлов.

Пример вольтамперограммы, полученный методом инверсионной вольтамперометрии (ИВА), представлен на рисунке 1.

1 – раствор фона (пик растворения кадмия отсутствует,  $h_{\text{ф}}$  – высота пика растворения следов свинца);

2 – анализируемый раствор (появляется пик растворения кадмия и увеличивается пик растворения свинца, характеризуемый высотой  $h_1$ );

3 – анализируемый раствор после введения в него добавки калибровочного раствора свинца (высота пика растворения свинца  $h_2$  примерно равна  $2h_1$ )



**Рисунок 1 – Вольтамперограммы, полученные методом ИВА**

**Реактивы:**

Бидистиллированная вода.

Раствор азотной кислоты с плотностью 1,21 г/см<sup>3</sup> и концентрацией 6,46 моль/л, осч.

Раствор нитрата калия с концентрацией 1 моль/см<sup>3</sup>.

Фоновый раствор, содержащий 0,2 моль/дм<sup>3</sup> КNO<sub>3</sub> и 0,02 моль/дм<sup>3</sup> HNO<sub>3</sub>. Фоновый раствор предназначен для заполнения электрохимической ячейки, он приготавливается из растворов азотной кислоты и нитрата калия, приведенных выше, в объеме 0,1, 0,5 или 1 дм<sup>3</sup> в зависимости от количества анализов. Срок хранения фонового раствора в колбе с притертой пробкой не более 1-го месяца.

0,25 н, стандартный раствор. 12,258 г бихромата калия, предварительно высушенного в течение 2 ч при 105 °С, растворяют в дистиллированной воде и разбавляют раствор водой до 1 дм<sup>3</sup>.

Концентрированный раствор азотнокислой ртути, содержащий 0,05 моль/дм<sup>3</sup> Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (10 г/дм<sup>3</sup> в пересчете на металл) и 0,26 моль/дм<sup>3</sup> HNO<sub>3</sub>. раствор.

Разбавленный раствор азотнокислой ртути приготавливается из концентрированного раствора азотнокислой ртути путем его разбавления бидистиллированной водой в 10 раз. Данный раствор вводят непосредственно в ячейку перед проведением измерений по 3 капли на 15 мл анализируемого раствора. Срок хранения разбавленного раствора азотнокислой ртути в колбе с притертой пробкой не более 3-х месяцев.

Стандартные растворы ионов меди с концентрациями 50 мг/дм<sup>3</sup> и 0,5 мг/дм<sup>3</sup> приготавливаются методом последовательного разбавления фоковым раствором из ампул ГСО. Раствор ионов меди с концентрацией 0,5 мг/дм<sup>3</sup> и ниже хранится не более 10 суток до проведения измерений.

Аппаратура: анализатор вольтамперометрический АВА-1 в комплекте

с приставкой АВА-1s и персональным компьютером.

*Подготовка к работе.* Проверить подключение соединительных кабелей между измерительным блоком и приставкой АВА-1s, между приставкой АВА-1s и персональным компьютером, между измерительным блоком и электрохимической ячейкой, а также сетевых кабелей. Включить компьютер измерительный блок и приставку АВА-1s в сеть. Установить следующие параметры на измерительном блоке: Кнопка «ДИВА ВКЛ» отжата; масштаб тока – 100 мкА/В; кнопка «ПУСК» отжата; кнопка «ЭКВ/ЯЧЕЙКА» – отжата; остальные кнопки на измерительном блоке могут находиться в произвольном положении.

Выполнить проверку функционирования аппаратуры на встроенном электрическом эквиваленте ячейки. Для этого запустить программу «Сбор данных», ярлык которой находится на рабочем столе, после этого появится окно «Параметры эксперимента» — нажать ОК. После этого появится окно «Объект». Нажать кнопку «Проба» правой клавишей мыши, затем в появившемся окне нажать левой клавишей мыши кнопку «Пуск». При этом начинается работа прибора АВА-1 в тестовом режиме, последовательно протекают стадии регенерации, накопления, успокоения, развертки потенциала. Данный цикл повторяется два раза. После этого происходит передача и сохранения данных и построение вольтамперной характеристики встроенной ячейки — наклонная зависимости тока от потенциала. Если вольтамперная кривая имеет вид прямой линии под углом 45 градусов к оси ОХ, то можно приступать к измерению.

В первую очередь пипеткой в электролитическую ячейку вливается 15 см<sup>3</sup> фонового раствора и туда же добавляется 3 капли раствора с концентрацией ионов ртути 1 г/см<sup>3</sup>. Также в ячейку вставляются вспомогательный электрод и электрод сравнения.

Далее выполняется проверка бестокового потенциала. Для этого необходимо на измерительном блоке нажать следующие кнопки: «Е СТАЦ», «ЭКВ/ЯЧЕЙКА», «Е/1», после этого на цифровом вольтметре измерительного блока будет показано значение бестокового потенциала между рабочим электродом и электродом сравнения, который должен составлять в пределах +150...+650 мВ. Если бестоковый потенциал принимает отрицательное значение, то в цепи имеется разрыв, который необходимо найти и устранить.

После проверки бестокового потенциала можно приступать к измерениям. В первую очередь производится измерение на фоновом растворе. Для этого необходимо отжать кнопку «Е СТАЦ» и запустить компьютерную программу по вышеописанной методике и выбрать пункт «Фоновый раствор». После измерения фонового раствора необходимо проанализировать вольтамперную кривую фона. Высота пиков элементов должна быть не более 5 мкА (критерий чистоты используемых растворов), а угол наклона кривой должен быть не более 30° относительно оси ОХ. Если данное условие выполняется, то электрохимическую ячейку

и используемые растворы можно считать чистыми, а рабочий электрод — готовым к работе.

*Ход измерения.* Вылить фоновый раствор и внести в электрохимическую ячейку первую часть подготовленной к измерениям пробы. При этом необходимо придерживаться рекомендации по подбору аликвотной части пробы в зависимости от ожидаемой концентрации элементов в пробе (см. таблица 1).

**Таблица 1 – Подбор аликвотной части пробы для анализа**

Поддиапазон измеряемых концентрации ионов металлов (кг/дм <sup>3</sup> )	Степень разбавления пробы фоном (количество раз)	Аликвота пробы
менее 50	—	15 см <sup>3</sup> пробы
50...500	10	1,5 см <sup>3</sup> пробы + 13,5 см <sup>3</sup> фона
500...1000	20	0,75 см <sup>3</sup> пробы + 14,25 см <sup>3</sup> фона

Всего при каждом измерении пробы снимается две вольтамперные кривые.

Далее в раствор с пробой вводится добавка калибровочного раствора так, чтобы концентрация меди в пробе после добавки увеличилась примерно в 2 раза, для этого нужно взять раствор меди с такой концентрацией, чтобы объем добавки был не более 1 см<sup>3</sup>. В таблице 2 представлены рекомендуемые объемы добавок, вводимых в пробу.

**Таблица 2 – Рекомендуемые объемы добавок**

Объем раствора пробы в ячейке, см <sup>3</sup>	Предварительно определенная концентрация металла в ячейке (мкг/дм <sup>3</sup> )	Массовая концентрация градуировочного раствора, мг/дм <sup>3</sup>	Объем добавки, вводимой из градуировочного раствора в пробу, см <sup>3</sup>
15	5	1	0,08
15	10	1	0,15
15	20	1	0,3
15	30	10	0,05
15	40	10	0,06
15	50	10	0,08
15	60	10	0,09

Также снимаются две вольтамперные кривые пробы с добавкой.

После этого произвести измерение второй части подготовленной пробы.

*Расчет.* Во всех измерениях необходимо идентифицировать пик меди, находящийся в области потенциалов +40...+250 мВ.

Величину концентрации ионов меди в анализируемом растворе рассчитывают по формуле

$$C_M = \frac{C_D \cdot V_D \cdot (\bar{h}_1 - \bar{h}_\Phi)}{V_{\text{яч}} \cdot (\bar{h}_2 - \bar{h}_1) + V_D \cdot (\bar{h}_2 - \bar{h}_\Phi)},$$

где  $C_M$  – концентрация ионов меди в растворе пробы, мкг/дм<sup>3</sup>;

$C_D$  – концентрация ионов меди в растворе добавки, мкг/дм<sup>3</sup>;

$V_D$  – объем добавки, см<sup>3</sup>;

$V_{\text{яч}}$  – объем раствора в ячейке ( $V_{\text{фон}} + V_{\text{проба}} = 15$ ), см<sup>3</sup>;

$\bar{h}_1$  – среднее арифметическое значение высоты пика меди в пробе, мм;

$\bar{h}_2$  – среднее арифметическое значение высоты пика меди в пробе с добавкой, мм;

$\bar{h}_\Phi$  – среднее арифметическое значение высоты пика меди в фоне, мм.

При наличии в фоновом растворе следов меди вводится поправка. Исправленный результат получают по формуле

$$C_M^{\text{исп}} = C_M - C_M^{\text{фон}},$$

где  $C_M^{\text{фон}}$  – концентрация меди в фоновом растворе, которая может быть определена при анализе фона как пробы, при этом надо в предыдущей формуле принять  $\bar{h}_\Phi = 0$  при расчете концентрации, мкг/дм<sup>3</sup>.

В заключении рассчитывается среднеарифметическое значение концентрации элемента в первой и второй частях пробы по формуле

$$\bar{C}_M = \frac{C_{M1}^{\text{исп}} + C_{M2}^{\text{исп}}}{2}.$$

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Строительные нормы Республики Беларусь. Канализация. Наружные сети и сооружения: СН 4.01.02-2019. Введ. 31.10.19. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республика Беларусь, 2020 – 81 с.
2. Воронов, Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод / Ю. В. Воронов, С. В. Яковлев. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с.
3. Воронов, Ю. В. Водоотведение: учебник / Ю. В. Воронов, В. П. Алексеев – М. : Инфра-М, 2007. – 415 с.
4. Иванов, В. Г. Водоснабжение и водоотведение промышленных предприятий / В. Г. Иванов, Н. А. Черников. – СПб. : ОМ-Пресс, 2013. – 592 с.



## Содержание

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	3
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1</b> .....	4
НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ СТОЧНЫХ ВОД .....	4
Теоретическая часть .....	4
Методика выполнения работы .....	6
Обработка экспериментальных данных .....	6
Контрольные вопросы .....	7
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2</b> .....	7
ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ СОЕДИНЕНИЙ ХРОМА ХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ .....	7
Теоретическая часть .....	7
Методика выполнения работы .....	9
Обработка экспериментальных данных .....	10
Контрольные вопросы .....	11
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3</b> .....	11
ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГОРОДСКИХ СООРУЖЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ .....	11
Теоретическая часть .....	11
Методика выполнения работы .....	15
Обработка экспериментальных данных .....	16
Контрольные вопросы .....	16
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4</b> .....	17
ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА АДСОРБЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В СТАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ .....	17
Теоретическая часть .....	17
Методика выполнения работы .....	19
Обработка экспериментальных данных .....	20
Контрольные вопросы .....	21
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5</b> .....	22
СНИЖЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ОКРАСКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ОЗОНИРОВАНИЕМ .....	22
Теоретическая часть .....	22
Методика выполнения работы .....	24
Обработка экспериментальных данных .....	25
Контрольные вопросы .....	26

<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6</b> .....	26
ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОЗОНИРОВАНИЕМ .....	26
Теоретическая часть .....	26
Методика выполнения работы .....	28
Обработка экспериментальных данных .....	29
Контрольные вопросы .....	30
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7</b> .....	30
УДАЛЕНИЕ ИОНОВ МЕДИ ИЗ ПРОМЫВНЫХ РАСТВОРОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЦЕХОВ И УЧАСТКОВ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ .....	30
Теоретическая часть .....	30
Методика выполнения работы .....	31
Обработка экспериментальных данных .....	32
Контрольные вопросы .....	33
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8</b> .....	33
ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ СВИНЦА .....	33
Теоретическая часть .....	33
Методика выполнения работы .....	34
Обработка экспериментальных данных .....	35
Контрольные вопросы .....	36
ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОЧИСТКИ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ СТОЧНЫХ ВОД МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИИ .....	36
Теоретическая часть .....	37
Методика выполнения работы .....	40
Обработка экспериментальных данных .....	40
Контрольные вопросы .....	40
<b>Приложение 1</b> .....	41
<b>Приложение 2</b> .....	42
<b>Приложение 3</b> .....	43
<b>Приложение 4</b> .....	45

Учебное издание

**Составители:**

*Белов Сергей Григорьевич  
Акулич Татьяна Ивановна  
Клецкова Майя Александровна*

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению лабораторных работ по дисциплине  
**«Водоотведение промышленных предприятий»**  
для студентов специальности 1-70 04 03  
«Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

Ответственный за выпуск: Акулич Т.И.  
Редактор: Винник Н. С.  
Компьютерная верстка: Горбач А. А.  
Корректор: Дударук С. А.

---

Подписано к печати 18.06.2024 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Гарнитура Arial.  
Бумага «Снегурочка». Усл. п.л. 3,49. Уч. изд. л. 3,75. Заказ №575.  
Тираж 30 экз. Отпечатано на ризографе Учреждения образования  
«Брестский государственный технический университет».  
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

