

**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**  
**«Водоотводящие системы промышленных предприятий»**  
для студентов специальности 1-70 04 03  
**«Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»,**  
специализации 1-70 04 03 01 «Системы водоснабжения и водоотведения»

Брест 2011

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

Методические указания написаны в соответствии с учебной программой курса «Водоотводящие системы промышленных предприятий» и включают шесть 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: Белов С.Г., доцент, к.т.н.,  
Науменко Л.Е., доцент, к.т.н.,

## ВВЕДЕНИЕ

Бурное развитие промышленности вызывает необходимость предотвращения отрицательного воздействия производственных сточных вод на водоемы. 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 водоем или без сброса — бессточных.

В настоящее время в Республике Беларусь намечен комплекс мероприятий, направленных на защиту водоемов от загрязнения и истощения, внедрение малоотходных и безотходных 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 «Водоотводящие системы 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 шесть 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

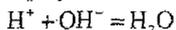
## НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ СТОЧНЫХ ВОД

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

### Теоретическая часть

Производственные сточные воды (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 гидроксила ( $\text{OH}^-$ ), в результате которой образуется недиссоциированная молекула воды:



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

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 ( $\text{NH}_3\text{OH}$ ).

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

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

где  $g_p$  – массовый расход реагента, кг/ч;

$M_p$  – 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 pH < 7 нормальность производственных сточных вод равна:

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

- при pH > 7 нормальность производственных сточных вод равна:

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

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

$$q_p = \frac{100 \cdot g_p}{\rho \cdot C}, \quad (1.4)$$

где  $q_p$  – объемный расход реагента, дм<sup>3</sup>/ч;

$g_p$  – 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 pH модельного образца ПСВ (приложение 1).

2. Рассчитать необходимую дозу реагента для доведения pH 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 pH 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.

### 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%-ного 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:

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

где  $G_p$  – доза 100%-ного реагента, г;

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

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

$V$  – объем нейтрализуемого 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:

$$v_p = \frac{100 \cdot G_p}{\rho \cdot C}, \quad (1.6)$$

где  $v_p$  – объем рабочего раствора реагента, см<sup>3</sup>;

$G_p$  – 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:

$$m_p = \frac{100 \cdot G_p}{C}, \quad (1.7)$$

где  $m_p$  – доза реагента, г;

$C$  – концентрация действующего вещества в техническом реагенте, %.

Отклонение полученного значения рН от заданного:

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

### 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.

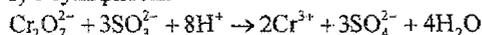
#### Теоретическая часть

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  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Cr^{6+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ; значительно реже  $Pb^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  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 ( $Cr^{6+}$ ), который находится в растворах в виде анионов хромовых кислот (хромовой  $CrO_4^{2-}$  и двуххромовой  $Cr_2O_7^{2-}$ ). Обработкой известью анионы хромовых кислот из раствора не удаляются, поскольку кальциевые соли данных кислот растворимы в воде. Ионы, содержащие  $Cr^{6+}$ , являются сравнительно высокотоксичными (ПДК = 0,05 мг/дм<sup>3</sup> для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения), попадание их в окружающую водную среду недопустимо. Ионы трехвалентного хрома ( $Cr^{3+}$ ) являются менее токсичными (ПДК = 0,5 мг/дм<sup>3</sup>), в слабощелочной среде (при pH = 8 – 9) образуют нерастворимое в воде основание  $Cr(OH)_3$ . Поэтому химический метод очистки ПСВ от ионов, содержащих  $Cr^{6+}$ , основан на восстановлении  $Cr^{6+}$  до ионов  $Cr^{3+}$  и последующем переводе ионов  $Cr^{3+}$  в осадок в виде нерастворимого основания.

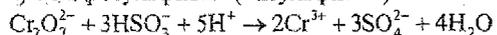
Для восстановления ионов, содержащих  $Cr^{6+}$ , до ионов  $Cr^{3+}$  в качестве восстановителей в основном используют соли сернистой кислоты ( $Na_2SO_3$ ,  $NaHSO_3$ ,  $Na_2S_2O_5$ ) или соли двухвалентного железа ( $FeSO_4$ ,  $FeCl_2$ ).

С солями сернистой кислоты реакция протекает в кислой среде:

1) с сульфитом:

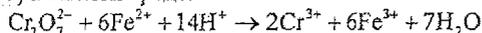


2) с гидросульфитом (бисульфитом):

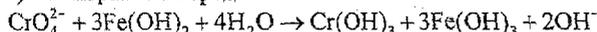


С солями двухвалентного железа реакция восстановления шестивалентного хрома происходит не только в кислой, но также в нейтральной и слабощелочной средах:

1) в кислой среде:

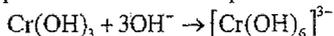


2) в нейтральной среде:



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

Для проведения реакции с достаточной скоростью рН хромсодержащих стоков доводят до 2–3,5 добавлением реагентов или кислых стоков. 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 стоками. Для нейтрализации используют известь, соду, гидроксид натрия, при этом рН стоков не должно превышать 9, поскольку при дальнейшем увеличении рН начинает увеличиваться растворимость гидроксида хрома. При рН > 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  $\text{Cr}^{3+}$ , 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 ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) – 3,63 массовых единиц;
- гидросульфита натрия ( $\text{NaHSO}_3$ ) – 3,06 массовых единиц;
- метабисульфита натрия ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) – 2,74 массовых единиц;
- железного купороса ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) – 16,04 массовых единиц;
- хлорида двухвалентного железа ( $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) – 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:

$$g_0 = \frac{0,1 \cdot Q \cdot C_{Cr} \cdot D_e \cdot K}{C_0}, \quad (2.1)$$

где  $g_0$  – массовый расход восстановителя, кг/ч;

$Q$  – 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>);

$D_e$  – 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;

$C_0$  – 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 pH 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 pH 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  $Cr(OH)_3$  в течение 30 минут, профильтровать раствор через бумажный фильтр.
8. Определить концентрацию хрома (VI) в очищенном образце ПСВ. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу.

### Обработка экспериментальных данных

Таблица 2.1 – Результаты измерений и расчетов

Концентрация $Cr^{6+}$ 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 $Cr^{6+}$ в ПСВ после очистки, мг/дм <sup>3</sup>	Эффект очистки ПСВ от $Cr^{6+}$ , %
1	2	3	4	5	6	7	8

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

$$g_v = V \cdot C_{Cr} \cdot D_v \cdot K, \quad (2.2)$$

где  $g_v$  – расчетная доза 100%-ного реагента (восстановителя), г;

$V$  – объем ПСВ, дм<sup>3</sup>;

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

$D_v$  – 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:

$$v_v = \frac{100 \cdot g_v}{\rho \cdot C_v}, \quad (2.3)$$

где  $v_v$  – расчетный объем рабочего раствора реагента (восстановителя), см<sup>3</sup>;

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

$\rho$  – плотность рабочего раствора реагента, г/см<sup>3</sup>;  
 $C_a$  – 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  $\mathcal{E}_{\text{оч}}$  – эффективность очистки, %.

$C_{\text{исх}}$  – 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

(работа выполняется в филиале кафедры ВВиОВР, расположенном на территории городских очистных сооружений КПУП «Брестводоканал»)

**Цель работы:** Произвести оценку эффективности работы городских сооружений биологической очистки (азротенков) 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). Утили-

зация 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°C), психрофилы (нормально существуют при 3–10°C) и термофилы (нормально существуют при 50–70°C). Однако все микроорганизмы лучше переносят пониженные температуры, чем повышенные, поэтому процесс биологической очистки сточных вод ведут при температуре 10–20°C.

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  $150 \text{ мг/дм}^3$ .

Аэротенки могут быть одноступенчатыми и двухступенчатыми, с регенерацией ила и без нее. Одноступенчатые аэротенки без регенерации применяют при  $\text{БПК}_{\text{полн}}$  сточной воды не более  $150 \text{ мг/дм}^3$ , с регенерацией — более  $150 \text{ мг/дм}^3$  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  $\text{БПК}_{\text{полн}}$  поступающей сточной воды до  $300 \text{ мг/дм}^3$ , а аэротенки-смесители — при  $\text{БПК}_{\text{полн}}$  до  $1000 \text{ мг/дм}^3$ .

Окислительная мощность аэротенков колеблется от 0,3 до 2 кг в сутки на  $1 \text{ м}^3$  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  $2-3 \text{ г/дм}^3$ , считая по сухому веществу. Некоторые виды слабоконцентрированных стоков можно очищать при значительно меньших дозах ила без снижения общего эффекта очистки. При концентрациях активного ила  $4 \text{ г/дм}^3$  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 3 типа аэротенков:

1. Аэротенки-вытеснители (2 секции) 3-коридорные с регенераторами, установленные на первой очереди очистных сооружений, длиной 96 м, шириной 6 м, рабочей глубиной 4,4 м. Общая емкость —  $15206,4 \text{ м}^3$ .

2. Аэротенки-смесители (2 секции) 3-коридорные с регенераторами, установленные на второй очереди очистных сооружений, длиной 84 м, шириной 6 м, рабочей глубиной 5 м. Общая емкость —  $15120 \text{ м}^3$ .

3. Аэротенки 2-коридорные с рассредоточенным впуском сточных вод без регенератора (2 секции), установленные на третьей очереди очистных сооружений, длиной 84 м, шириной 6 м, рабочей глубиной 4,65 м. Общая емкость —  $9374 \text{ м}^3$ .

Качество сточной воды, очищенной в аэротенках, оценивают по показателю  $BPK_{5\text{отс}}$ :

$$L_{15} = 4 + \left( \frac{XPK}{BPK_5} \right)^2 + 0,015 \cdot N \cdot \frac{15}{t}, \quad (3.1)$$

где  $L_{15}$  –  $BPK_{5\text{отс}}$  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>;

$BPK_5$  – 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  $BPK_5$ /г·сут;

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

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

$$N = \frac{Q_{cp} \cdot BPK_5}{W \cdot a_{cp} (1 - S)}, \quad (3.2)$$

где  $N$  – нагрузка на 1 г беззольного сухого вещества активного ила, мг  $BPK_5$ /г·сут;

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

$BPK_5$  – величина биохимической потребности в кислороде поступающей в аэротенк сточной воды, мг/дм<sup>3</sup>;

$W$  – суммарный объем аэротенка и регенератора, 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  $BPK_{5\text{отс}}$  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 заполнить ячейки, соответствующие столбцам 5 и 8 таблицы 3.1.

3. При проведении процесса биологической очистки с регенерацией активного ила рассчитать его среднюю концентрацию в сооружении.

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

5. Рассчитать отношение  $XPK/BPK$  поступающих и очищенных стоков.

6. С учетом данных лабораторного анализа о средней температуре очищаемых стоков и зольности активного ила по формулам 3.1 – 3.2 рассчитать нагрузку на 1 г беззольного сухого вещества активного ила и расчетное  $BPK_{5\text{отс}}$  очищенных стоков.

7. По формуле 3.3 рассчитать процент отклонения фактического  $BPK_{5\text{отс}}$  от расчетного.

8. Сделать выводы о технологической эффективности работы соответствующих аэротенков по показателям  $BPK_{5\text{отс}}$  и  $XPK$ .

Результаты измерений и расчетов занести в таблицу.

## Обработка экспериментальных данных

Таблица 3.1 – Результаты измерений и расчетов

Номер и тип аэротенка	Объем аэротенка (с регенератором), 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 стоков, мг/дм <sup>3</sup>	ХПК поступающих стоков, мг/дм <sup>3</sup>	Отношение ХПК/БПК <sub>5</sub> поступающих стоков	БПК <sub>5отс</sub> очищенных стоков, мг/дм <sup>3</sup>	ХПК <sub>отс</sub> очищенных стоков, мг/дм <sup>3</sup>	Отношение ХПК <sub>отс</sub> /БПК <sub>5отс</sub> очищенных стоков	Нагрузка на 1 г безв-ва акт. ила, мг БПК <sub>5</sub> /г · сут	Расчетное БПК <sub>5отс</sub> очищенных стоков, 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

Средняя концентрация активного ила в аэротенке при проведении процесса с регенерацией:

$$a_{cp} = \frac{a_{aep}W_{aep} + a_{peg}W_{peg}}{W}, \quad (3.3)$$

где  $a_{cp}$  – средняя концентрация активного ила в аэротенке, г/дм<sup>3</sup>;  
 $a_{aep}$  – концентрация активного ила в аэротенке, г/дм<sup>3</sup>;  
 $a_{peg}$  – концентрация активного ила в регенераторе, г/дм<sup>3</sup>;  
 $W_{aep}$  – объем аэротенка, м<sup>3</sup>;  
 $W_{peg}$  – объем регенератора, м<sup>3</sup>;  
 $W$  – суммарный объем аэротенка и регенератора, м<sup>3</sup>.

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

$$O = \frac{БПК_{5отс} - L_{тс}}{L_{тс}} \cdot 100, \quad (3.4)$$

где  $O$  – отклонение фактического БПК<sub>5отс</sub> от рассчитанного, %;

$БПК_{5отс}$  – фактическое биохимическое потребление кислорода отстоянной сточной водой после биологической очистки, мг/дм<sup>3</sup>;

$L_{тс}$  – расчетное биохимическое потребление кислорода отстоянной сточной водой 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, диолиты, дает положительные результаты при обезвреживании сточных вод текстильных предприятий.

Адсорбционная очистка сточных вод осуществляется методами статической или динамической сорбции. Статическая сорбция предполагает обеспечение постоянного 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:

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

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

$K_1$  — константа обмена;

$C$  — равновесная концентрация.

В отличие от уравнения Бедекера-Фрейндлиха, уравнение Ленгмюра хорошо описывает изотерму адсорбции, давая при малых и больших значениях  $C$  прямолинейные участки на графике. Если при малых концентрациях в знаменателе уравнения (4.1) можно пренебречь членом  $K_1C$ , весьма малым по сравнению с единицей, то уравнение Ленгмюра принимает вид, тождественный с уравнением Генри, которому подчиняется распределение вещества между двумя фазами:

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

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  $\Gamma_n$ , мг/г, определяют по формуле:

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

где  $C_{0i}$  - 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>;

$\kappa$  - 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;

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

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

$$\mathcal{E} = (C_{0i} - C_i)100/C_{0i} \quad (4.5)$$

### Обработка экспериментальных данных

Таблица 4.1 – Экспериментальные и расчетные результаты сорбции

Условия опыта	Сорбент:			$M_c =$	$V =$
	1	2	3		
Номер колбы (i)					
$C_{0i}$ , мг/дм <sup>3</sup>					
$C_i$ , мг/дм <sup>3</sup>					
$\Gamma_n$ , мг/г					
$\mathcal{E}_n$ , %					

1. По данным таблицы 4.1 построить и проанализировать графики зависимости:  $\Gamma_i = f(C_i)$  и  $\mathcal{E}_i = f(C_i)$

2. Построить график зависимости  $C_i/\Gamma_i = f(C_i)$ , по которому определить константы уравнения изотермы Ленгмюра:  $\text{tga} = \frac{1}{\Gamma_{\max}}$ ,  $\beta = \frac{1}{\Gamma_{\max} \cdot K_1}$ .

3. Определить сорбционную емкость активированного угля по органическому красителю.

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

Таблица 4.2 – Масса сухого угля в мг, соответствующая объему 1 мл мокрого угля

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

### 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

### РАЗРУШЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД С ПОМОЩЬЮ ОЗОНИРОВАНИЯ

**Цель работы:** Построить графики химического потребления кислорода модельного образца ПСВ и коэффициента использования озона от времени озонирования. Определить необходимое время озонирования для снижения уровня загрязнения модельного образца ПСВ до требуемой величины.

#### Теоретическая часть

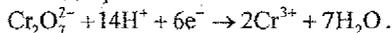
Сточные воды предприятий химической, нефтехимической, текстильной и многих других отраслей промышленности содержат биологически стойкие органические вещества, поэтому биологическая очистка сточных вод данных предприятий вызывает большие трудности. Для очистки данных стоков более приемлемыми являются методы физико-химической очистки, такие как реагентная коагуляция, электрокоагуляция, сорбция, барометрические методы, деструктивные методы (окисление, восстановление, УФ обработка). Одним из наиболее универсальных методов является озонирование.

Применение озона позволяет разрушать практически все органические загрязнения, присутствующие в сточных водах. При этом озон проявляет свои высокие окислительные свойства при любых значениях pH.

Интегральный показатель, характеризующий суммарное содержание в воде органических загрязнений, называется химическим потреблением кислорода (ХПК). Этот показатель используется повсеместно при контроле качества природных вод и сточных вод. Определение ХПК основано на способности практически всех органических соединений окисляться под действием сильных окислителей, поэтому показатель ХПК выражается в миллиграммах потребленного кислорода, выделяемого в процессе реакции окисления соответствующим окислителем на 1 л воды ( $\text{мг O}_2/\text{дм}^3$ ).

Однако не все органические вещества в равной степени участвуют в реакции химического окисления. Так же, как и при биохимическом окислении, при химическом окислении можно выделять группы легко и тяжело окисляющихся органических веществ. Поэтому всегда существует разница между теоретически возможным и практически достигаемым значениями ХПК. Теоретическим значением ХПК ( $\text{ХПК}_{\text{теор}}$ ) называют количество кислорода (или окислителя в пересчете на кислород) в  $\text{мг O}_2/\text{дм}^3$ , необходимое для полного окисления содержащихся в пробе органических веществ, т.е. всех способных окисляться элементов из состава органического соединения. При таком окислении углерод теоретически количественно окисляется до  $\text{CO}_2$ , а сера и фосфор (если они присутствуют в соединении) – до  $\text{SO}_3$  и  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Азот превращается в аммонийную соль; кислород, входивший в состав окисляемых органических молекул, является «строительным материалом» для образующихся продуктов окисления, а водород переходит в структуру  $\text{H}_2\text{O}$  или аммонийной соли.

Существуют различные методы определения ХПК: сжигание в кислороде, окисление в водной среде с помощью персульфатов, периодатов, бихроматов, перманганатов. В настоящее время практическое применение в области контроля качества сточных вод применяется исключительно дихроматный метод определения ХПК. В основе дихроматного окисления лежит реакция:



Окисление дихроматом проводится в концентрированном растворе серной кислоты (разбавление 1:1) в присутствии катализатора сульфата серебра при длительном кипячении раствора. В этих условиях окисляются практически все органические вещества на 95...98 % от ХПК<sub>теор</sub> (за исключением некоторых ароматических и гетероциклических соединений).

Озонирование является одним из наиболее эффективных методов очистки производственных сточных вод по показателю ХПК. Преимуществом озонирования для снижения уровня загрязненности по ХПК является то, что он действует в любых концентрациях при любых значениях рН, при этом не образуется осадков, в сточные воды не добавляются дополнительные солеобразующие ионы, технология озонирования проста в аппаратурном оформлении и эксплуатации.

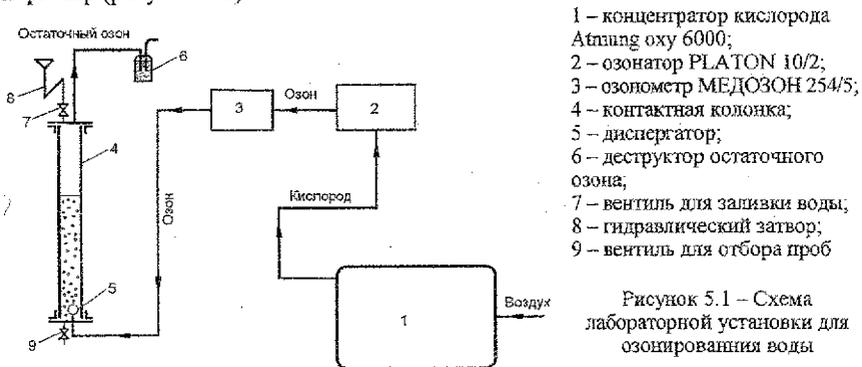
Чистый озон при нормальных условиях представляет собой газ бледно-фиолетового цвета, растворим в воде. Молекула озона построена в результате особого сочетания трех атомов кислорода, образующих треугольник, и описывается формулой  $O_3$ . В отличие от двухатомной молекулы обычного кислорода, молекула озона является нестабильной и легко распадается по схеме:  $2 \cdot O_3 \leftrightarrow 3 \cdot O_2 + 71 \text{ ккал}$ . 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  $0,0001 \text{ мг } O_3/\text{дм}^3$ . Поэтому в лабораторной установке, схема которой представлена на рисунке 5.1, предусмотрен деструктор остаточного озона.

Доза озона, необходимая для снижения ХПК сточных вод до заданного уровня, зависит от многих факторов: от химического строения загрязнений, обуславливающих ХПК, от концентрации в сточных водах неорганических восстановителей, от рН раствора.

В данной работе изучается влияние времени озонирования заданным расходом озono-кислородной смеси с заданной концентрацией озона на снижение ХПК производственных сточных вод.

Озонирование модельного образца ПСВ осуществляется в стеклянной барботажной колонке высотой 1,5 м озono-кислородной смесью через пористый диспергатор (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 сточная вода обрабатывается озоном. Далее обедненная озоном озоно-кислородная смесь поступает в деструктор 6, представляющий собой склянку Дрекселя, заполненную насадкой, разрушающей озон. Пробы обработанной озоном сточной воды из контактной колонки 4 отбираются с помощью вентиля 9. Заливка сточной воды в контактную колонку 4 производится через гидравлический затвор 8 с помощью вентиля 7.

Масса озона, введенная при озонировании сточных вод, определяется по формуле:

$$G_{oz} = q_{oz} \cdot C_{oz} \cdot t_{oz}, \quad (5.1)$$

где  $G_{oz}$  — масса озона вводимая при озонировании, г;

$q_{oz}$  — расход озоносодержащего газа, м<sup>3</sup>/мин;

$C_{oz}$  — концентрация озона в озоносодержащем газе, г/м<sup>3</sup>;

$t_{oz}$  — время озонирования, мин.

Коэффициент использования озона при периодической обработке сточных вод (показывает долю озона, вступившего в химические реакции с разрушаемым загрязнителем):

$$k_u = \frac{d_{oz} \cdot V_{ПСВ} \cdot (C_{з.исх} - C_{з.ост})}{G_{oz}}, \quad (5.2)$$

где  $k_u$  — коэффициент использования озона;

$d_{oz}$  — удельная доза озона, необходимая для разрушения одного грамма загрязнителя, г/г вещества;

$V_{ПСВ}$  — объем производственных сточных вод, подвергаемых озонированию, м<sup>3</sup>;

$C_{з.исх}$  — исходная концентрация загрязнителя в производственных сточных водах, г/м<sup>3</sup>;

$C_{з.ост}$  — остаточная концентрация загрязнителя в производственных сточных водах после озонирования, г/м<sup>3</sup>;

$G_{oz}$  — масса озона, введенная при озонировании, г.

### Методика выполнения работы

1. Определить ХПК модельного образца ПСВ (приложение 3).
  2. В учебной лаборатории 3/117а «Очистка производственных сточных вод» запустить учебный стенд озонирования (установить заданный расход кислорода и концентрацию озона в озоно-кислородной смеси).
  3. Залить модельный образец ПСВ в барботажную колонку, начать отчет времени эксперимента. Через каждые 3 минуты из барботажной колонки с помощью вентиля 9 отбирать пробы модельного образца ПСВ.
  4. Определить ХПК отобранных проб (приложение 3).
- Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 5.1.

## Обработка экспериментальных данных

Таблица 5.1 – Результаты измерений и расчетов

№ опыта	Расход озонородной смеси, л/мин	Концентрация озона в озонородной смеси, мг/дм <sup>3</sup>	Время обработки пробы озона, мин	Масса озона, введенная за время опыта, мг	Удельная доза озона, мг/дм <sup>3</sup>	Объем обрабатываемого образца ПСВ, л	Исходное ХПК модельного образца ПСВ, мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Остаточное ХПК модельного образца ПСВ, мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Δ ХПК, мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Коэффициент использования озона	Эффект очистки по ХПК, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Масса озона, введенная за время опыта, определяется по формуле:

$$G_{O_3} = q_{O_3} \cdot C_{O_3} \cdot t_{O_3} \quad (5.3)$$

где  $G_{O_3}$  — масса озона вводимая при озонировании, мг;

$q_{O_3}$  — расход озонородящего газа, л/мин;

$C_{O_3}$  — концентрация озона в озонородящем газе, мг/дм<sup>3</sup>;

$t_{O_3}$  — время озонирования, мин.

Коэффициент использования озона:

$$k_{O_3} = \frac{d_{O_3} \cdot V_{ПСВ} \cdot (ХПК_{исх} - ХПК_{ост})}{G_{O_3}} \quad (5.4)$$

где  $k_{O_3}$  — коэффициент использования озона;

$d_{O_3}$  — удельная доза озона, необходимая для снижения ХПК на 1 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, мг/дм<sup>3</sup>;

$V_{ПСВ}$  — объем озонородящего модельного образца ПСВ, л;

$ХПК_{исх}$  — исходная ХПК модельного образца ПСВ, мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>;

$ХПК_{ост}$  — остаточная ХПК модельного образца ПСВ, мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>;

$G_{O_3}$  — масса озона, введенная при озонировании, мг.

Эффект очистки по ХПК определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{ХПК} = \frac{ХПК_{исх} - ХПК_{ост}}{ХПК_{исх}} \cdot 100, \quad (5.5)$$

где  $\mathcal{E}_{ХПК}$  — эффект очистки по ХПК, %.

$ХПК_{исх}$  — исходная ХПК модельного образца ПСВ, мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>;

$ХПК_{ост}$  — остаточная ХПК модельного образца ПСВ, мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

### Контрольные вопросы

1. Перечислите наиболее приемлемые методы удаления из сточных вод биологически стойких органических загрязнений.
2. Каким показателем оценивается суммарное содержание органических веществ в сточных водах? Как его определяют?
3. Перечислите преимущества озонирования для снижения ХПК сточных вод.
4. Какие меры предосторожности необходимо соблюдать при работе с озоном?
5. Что показывает коэффициент использования озона? Как он определяется?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

### ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОЧИСТКИ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ СТОКОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИИ

(на примере работы локальных очистных сооружений  
ПРУП "Брестский электротехнический завод")

Цель работы: 1. На теоретическом уровне изучить технологическую схему очистки гальванических стоков методом электрокоагуляции.  
2. На локальных очистных сооружениях ПРУП "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 стоки, образующиеся на территории ПРУП "Брестский электротехнический завод", разделяются на два потока:

- кислотно-щелочные электролиты (-К8-);
- промывные кислотно-щелочные и хромсодержащие стоки (-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 кислотно-щелочного стока к сбросу в бытовую канализацию и на повторное использование является его очистка от ионов тяжелых металлов переводом их в гидроксиды и последующим выделением в осадок.

Технология обработки стоков предусматривает усреднение в накопителе гальванического стока и далее его обработку методом электрокоагуляции в установке проточного типа с пластинчатыми электродами из низкоуглеродистой стали.

Технологическая схема очистки гальваностоков (приложение 5). Промывные кислотно-щелочные и хромовые стоки из гальванического участка самотеком поступают в подземные усреднители поз. К10.1. Концентрированные кислотно-щелочные электролиты сливаются в лоток, по которому самотеком также поступают в усреднители поз. К10.1, после чего проходят очистку совместно с промывными стоками.

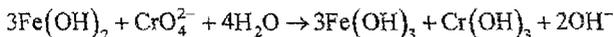
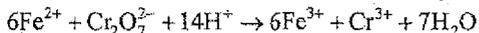
В усреднители также поступает декантат из илоуплотнителя поз. О1.1, вода от промывки сорбционных фильтров поз. В10.3, фильтрат из ресивера поз. О1.4, слив и перелив осадка из корыта вакуум-фильтра поз. О1.3, отработанные регенерационные растворы щелочи и магнезия, а также слив и перелив осветленной воды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

Из усреднителей поз. К10.1 промывные кислотнo-щелочные и хромсодержащие стоки 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  $Fe^{2+}$ , а в катодные камеры поступают очищаемые стоки;

- ионы  $Fe^{2+}$  под воздействием электрического тока проходят через полупроницаемую мембрану в катодные камеры, где смешиваются с очищаемым стоком и восстанавливают  $Cr^{6+}$  до  $Cr^{3+}$  по следующей схеме:



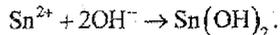
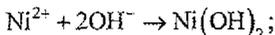
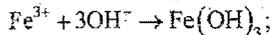
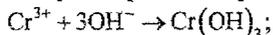
Статический гальванокоагулятор с рецикловым баком поз. Р2.1 осуществляет подачу раствора железа  $Fe^{2+}$  с помощью насосов поз. Р2.2. Нарботка железа происходит в статическом гальванокоагуляторе, заполненного стальной стружкой при циркуляции через нее суспензии катодного вещества.

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

Электроснабжение электроионного сепаратора осуществляется от выпрямительного агрегата поз. К10.6.

Прошедшие электрохимическую очистку стоки 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 pH-метра, установленного на выходе из смесителя, для поддержания pH в пределах 8,5...9,5.

В результате подщелачивания стоков до pH=8,5...9,5 образуются нерастворимые или слабо растворимые гидроксидные соединения, например:



На выходе из смесителя поз. К10.4 стоки 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 стоки 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 течение 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 выводится на захоронение.

### Методика выполнения работы

#### 1. Занятия в лаборатории.

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

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

2.1. Практически закрепить теоретические знания по очистке 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 6.1 – 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 ПРУП “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 pH происходит образование нерастворимых или слабо-растворимых гидроксидных соединений? Как обеспечивается требуемый уровень pH?
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°C). 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°C (0,05М раствор тригидродиоксалата калия); 2) буферный раствор с рН 4 при 20°C (0,05М раствор гидрофталата калия); 3) буферный раствор с рН 6,98 при 20°C (0,025М раствор дигидроортофосфата калия и 0,025М гидроортофосфата натрия); 4) буферный раствор с рН 9,22 при 20°C (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  $\text{pX}^+$  (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 течение 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.

### Фотометрический метод определения шестивалентного хрома с дифенилкарбазидом

*Сущность метода.* Дифенилкарбазид реагирует в кислой среде с бихром-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 течение 30 минут. Нажатием «100», «010» и «001» установить длину волны  $\lambda$  (нм), нажатием «A/T/C» выбрать режим A (абсорбции света).

*Измерение оптической плотности.* Вставить кювету с холостой пробой в кювето-держатель 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.

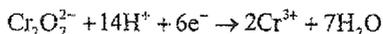
*Реактивы:* дифенилкарбазид, 0,1%-ный спиртовой раствор; серная кислота, 2 н. раствор.

*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).

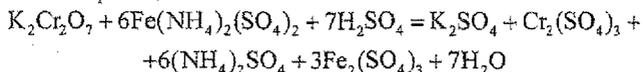
*Ход определения хрома (VI).* В 3 конические колбы емкостью 100 мл поместить по  $50 \text{ см}^3$  профильтрованной пробы, предварительно разбавленной так, чтобы в пробе содержалось 0,01 – 0,5  $\text{мг/дм}^3$  хрома. Затем пробу в одной из колб нейтрализовать 0,1 н. раствором едкой щелочи по фенолфталеину до слабо-розового окрашивания, в другой нейтрализовать таким же объемом раствора едкой щелочи, но без прибавления индикатора, прилить  $0,62 \text{ см}^3$  2 н. раствора  $H_2SO_4$  и  $0,5 \text{ см}^3$  0,1% раствора дифенилкарбазид и через 10–15 мин определить оптическую плотность раствора по отношению к пробе в третьей колбе, к которой прибавить все реактивы, кроме дифенилкарбазид. Измерение проводить при  $\lambda = 540$  нм. По калибровочному графику определить концентрацию шестивалентного хрома (при необходимости учесть разбавление пробы).

### 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  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . 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  $\text{ХПК}_{\text{теор}}$ . Потеря (2–5%) объясняется образованием летучих, устойчивых к окислению продуктов распада ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ). 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  $\text{Cl}_2$ ) устраняют маскированием их сульфатом ртути (II) в количестве 22,2 мг  $\text{HgSO}_4$  на 1 мг  $\text{Cl}^-$ .

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  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{SO}_2$  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 изве 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 водоеме. 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-Фенилантраниливая 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°C, 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<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, берут для анализа 1 см<sup>3</sup> пробы, если ХПК 50–500 мг O<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, отбирают 5 см<sup>3</sup> пробы, если ХПК выше 4000 мг O<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, пробу предварительно разбавляют, если же ХПК ниже 50 мг O<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°C. Через 2 мин охлаждают раствор до комнатной температуры, приливают 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, вводят 5–10 капель раствора N-фенилантранилиевой 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 поглощение кислорода (ХПК), выраженное числом миллиграммов кислорода в 1 дм<sup>3</sup> сточной воды, вычисляют по формуле:

$$\text{ХПК} = \frac{(a - b) \cdot N \cdot 8 \cdot 1000}{V}$$

где ХПК – химическое поглощение кислорода, мг O<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>;

*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.

## Построение калибровочного графика для определения концентрации раствора органического красителя

*Аппаратура:* спектрофотометр SP-830 plus.

*Подготовка к работе.* После включения дать прибору прогреться в течение 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.

### 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 изменяются 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  $D = f(C_k)$ .

## Экспликация оборудования

Поз. Обознач.	Наименование	Кол.	Примечание
K10.1	Усреднитель прамывных стоков, емк. 100 м <sup>3</sup>	1	
K10.2	Насос химический X50-32-125-Е, Q=12,5м <sup>3</sup> /ч, H=20м	2	
K10.3	Электронный сепаратор Q=10м <sup>3</sup> /ч	1	ТЕЯ-178
K10.4	Смеситель	1	
K10.5	Блок очистки Q=10м <sup>3</sup> /ч	1	ТЕЯ-203
K10.6	Выпрямительный агрегат ТВ-800/24	1	
K8.1	Накопитель кислородных электролитов	1	
K8.2	Насос АХ40-25-160 Q=6,3м <sup>3</sup> /ч H=32м	1	
B10.1	Бак осветленной воды	1	
B10.2	Насос K50-32-160, Q=12,5м <sup>3</sup> /ч H=20м	2	
B10.3	Фильтр сорбционный ФОВ-1,0-0,6	2	
P7.1	Дозатор флокулянта емк.0,2м <sup>3</sup>	1	ТЕЯ-189
B11.1	Бак чистой воды	1	
B11.2	Насос K50-32-125, Q=12,5м <sup>3</sup> /ч H=20м	2	
O1.1	Илоуплотнитель	1	
O1.2	Насос песковой ПР12,5/12,5 Q=12,5м <sup>3</sup> /ч H=12,5м	1	
O1.3	Вакуум-фильтр БОН1-1-1к	1	
O1.4	Резервуар Ф=700 емк. 0,63 м <sup>3</sup>	1	
O1.5	Вакуум-насос ВВН1-1,5М Q=1,5м <sup>3</sup> /мин N=4кВт	1	
P4.1	Шаровая мельница	1	ТЕЯ-11
P2.1	Статический гальванокоагулятор с рециркуляционным баком	1	
P2.2	Насос X65-50-125-Е, Q=25м <sup>3</sup> /ч, H=20м	2	
P1.1	Бак растворения щелочи и магнезия емк.1м <sup>3</sup>	1	
P1.2	Насос АХ40-25-160-А, Q=6,3м <sup>3</sup> /ч, H=32м	1	
P1.3	Дозатор щелочи емк.0,2м <sup>3</sup>	1	
P3.2	Насос пневмоприводной М 025 PLASTIC	1	
P5.1	Бак регенерационного раствора щелочи(магнезия) емк 3 м <sup>3</sup>	1	
P5.2	Насос KM50-32-125 Q=12,5м <sup>3</sup> /ч, H=20м	1	
P3.1	Дозатор кислоты емк.0,2м <sup>3</sup>	1	

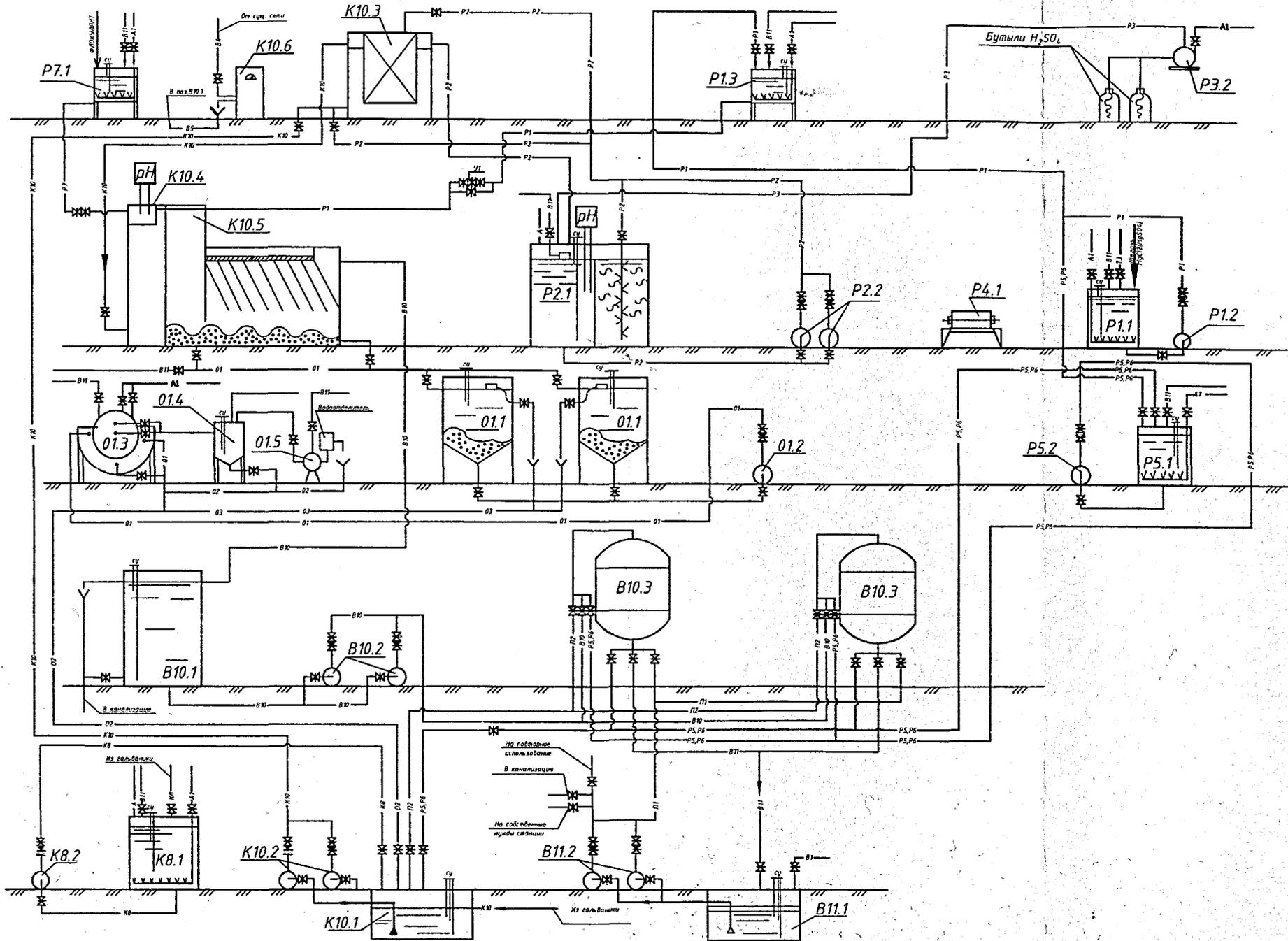
## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- P2 — Трубопровод раствора коагулянта
- P3 — Трубопровод раствора кислоты
- O1 — Трубопровод осадка
- O2 — Трубопровод фильтрата
- O3 — Трубопровод декантата
- A1 — Трубопровод сжатого воздуха
- A — Трубопровод связи с атмосферой
- P5, P6 — Трубопровод подачи регенерационных растворов щелочи или хлористого магния  $MgCl_2(MgSO_4)$
- K8 — Трубопровод кислщелочных электролитов
- B4, B5 — Трубопровод оборотной воды—подающий и обратный
- K10 — Трубопровод промывных кислщелочных и хромсодержащих стоков
- П2 — Трубопровод отвода промывной воды
- П1 — Трубопровод промывки фильтров
- B10 — Трубопровод осветленной воды
- B11 — Трубопровод чистой воды
- P1 — Трубопровод раствора щелочи
- P7 — Трубопровод раствора флокулянта
- B3 — Трубопровод производственного водопровода
- СУ            Сигнализатор уровня

## ЛИТЕРАТУРА

1. Строительные нормы и правила. Канализация. Наружные сети и сооружения: СНиП 2.04.03–84. – М.: ЦИТП, 1986. – 72 с.
2. Водоотводящие системы промышленных предприятий: учеб. для вузов / С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов; под ред. С.В. Яковлева. – М.: Стройиздат, 1990. – 511 с.
3. Канализация населенных мест и промышленных предприятий/ Н.И. Лихачев, И.И. Ларин, С.А. Хаскин [и др.]; под ред. В.Н. Самохина. – М.: Стройиздат, 1981. – 639 с. – (Справочник проектировщика).
4. Жуков, А.И., Канализация промышленных предприятий / А.И. Жуков, Л.Г. Демидов, И.Л. Монгайт, И.Д. Родзиллер – М.: Стройиздат, 1969. – 375 с.

Технологическая схема очистки гальванических стоков ПРУП "Брестский электротехнический завод"



## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Лабораторная работа №1. Нейтрализация сточных вод.....	4
Лабораторная работа №2. Очистка сточных вод от соединений хрома химическим методом.....	7
Лабораторная работа №3. Оценка технологической эффективности работы городских сооружений биологической очистки.....	10
Лабораторная работа №4. Изучение процесса адсорбции органических загрязнений в статических условиях.....	15
Лабораторная работа №5. Разрушение органических загрязнений производственных сточных вод с помощью озонирования.....	18
Лабораторная работа №6. Изучение технологической схемы очистки гальванических стоков методом электрокоагуляции.....	22
Приложение 1. Определение рН электрометрическим методом.....	26
Приложение 2. Фотометрический метод определения шестивалентного хрома с дифенилкарбазидом.....	27
Приложение 3. Бихроматный ускоренный метод определения ХПК.....	28
Приложение 4. Построение калибровочного графика для определения концентрации раствора органического красителя.....	30
Приложение 5. Технологическая схема очистки гальваносточков.....	32
Литература.....	34

Учебное издание

Составители:

*Белов Сергей Григорьевич  
Науменко Людмила Евгеньевна  
Акулич Татьяна Ивановна  
Наумчик Григорий Остапович*

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению лабораторных работ по дисциплине  
**«Водоотводящие системы промышленных предприятий»**  
для студентов специальности 1-70 04 03  
«Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»,  
специализации 1-70 04 03 01 «Системы водоснабжения и водоотведения»

Ответственный за выпуск: Акулич Т.И.  
Редактор: Строкач Т.В.  
Компьютерная верстка: Боровикова Е.А.  
Корректор: Никитчик Е.В.

---

Подписано к печати 04.02.2011 г. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Гарнитура Times.  
Бумага «Снегурочка». Усл. п.л. 2,1. Уч.-изд. л. 2,25. Заказ № 135.  
Тираж 50 экз. Отпечатано на ризографе Учреждения образования  
«Брестский государственный технический университет».  
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.