

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**  
**“БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ”**  
**КАФЕДРА ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА**



**Методические указания**  
**по выполнению лабораторных работ**  
**по курсу**  
***“Основы природопользования”***  
**для студентов специальности**  
**1 – 33 01 07 «Природоохранная деятельность»**  
**Часть II**

Брест 2015

УДК 502.1: 502.5+504.1=161.1(072)(21)-025

В методических указаниях дается перечень тем и заданий для выполнения лабораторных работ по предмету «Основы природопользования» за второй семестр. Изложение материала представлено в последовательности в соответствии с рабочей учебной программой по данной дисциплине. В первой части делается упор на изучение вопросов выбросов и поглощения парниковых газов искусственными и естественными природными объектами. Изложенные лабораторные работы направлены на изучение основных принципов аналитического определения воздействий на окружающую среду.

Издаётся в двух частях. Часть 2.

Составители: Шешко Н.Н. к.т.н, доцент,  
Шпендик Н.Н. к.г.н., доцент

## Содержание

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 Расчет снижения выбросов парниковых газов за счет внедрения мероприятий по энергосбережению и возобновляемых источников энергии .....	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 Расчеты выбросов и поглощения от естественных болотных экосистем, осушенных торфяных почв, выработанных и разрабатываемых торфяных месторождений.....	12
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 Расчет поглощения парниковых газов озерными экосистемами.....	16
Лабораторная работа № 4 Расчет выбросов парниковых газов при торфяных пожарах.....	19
Лабораторная работа № 5 Снижение поступления взвешенных веществ в водоёмы .....	23
Лабораторная работа № 6 Водопользование на атомных электростанциях.....	28
ЛИТЕРАТУРА.....	38

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

### Расчет снижения выбросов парниковых газов за счет внедрения мероприятий по энергосбережению и возобновляемых источников энергии

#### *Цель работы:*

1. Изучить основные методы снижения выбросов парниковых газов.
2. Ознакомится с методикой расчета снижения выбросов парниковых газов в эквиваленте  $\text{CO}_2$  за счет внедрения энергоэффективных технологий.
3. Выполнить расчет снижения выбросов парниковых газов за счет проведения реновации ограждающих конструкций здания.

#### *Основные сведения:*

Расчет выбросов парниковых газов в атмосферный воздух при сжигании различных видов топлива, при переводе (переходе) технологического оборудования с одного вида топлива на другой, при внедрении в производство мероприятий по энергосбережению, при использовании вторичных энергетических ресурсов, возобновляемых источников энергии.

Парниковыми газами, подлежащими оценке, являются газы, регулируемые Киотским протоколом к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата: двуокись углерода ( $\text{CO}_2$ ), закись азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ) и метан ( $\text{CH}_4$ ).

Методология расчета соответствует подходам к оценке выбросов парниковых газов, изложенным в руководящих и методических документах Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИК ООН) и Киотского протокола [1; 2; 3].

Изменение уровня выбросов парниковых газов при внедрении мероприятий по энергосбережению, при использовании вторичных энергетических ресурсов, при сжигании различных топлив и переводе оборудования с одного вида топлива на другой, при выполнении специальных проектов, совместных с отечественными или иностранными инвесторами, по передаче и внедрению новых технологий или иных мероприятий в эквиваленте  $\text{CO}_2$   $M_{GHG}$ , т/год, рассчитывается по формуле

$$M_{GHG} = P_{GHG}^b - P_{GHG}^{br} - L_{GHG} \quad (1.1)$$

где  $P_{GHG}^b$  – выбросы парниковых газов в эквиваленте  $\text{CO}_2$  в течение года по базовому сценарию, т/год, определяемые для каждого конкретного проекта в соответствии с принципами, изложенными ниже;  $P_{GHG}^{br}$  – выбросы парниковых газов в эквиваленте  $\text{CO}_2$  в течение года при реализации конкретного проекта, т/год, определяемые в соответствии с (1.2);  $L_{GHG}$  – дополнительные выбросы парниковых газов в эквиваленте  $\text{CO}_2$  в течение года, т/год, определяемые в зависимости от реализуемого проекта как увеличение выбросов, связанное с сопутствующим сжиганием ископаемых видов топлива на данном источнике, как

увеличение выбросов от других источников, связанное с заготовкой и доставкой биомассы, как увеличение выбросов от транспортных средств, используемых для строительства внедряемого объекта, которые рассчитываются по действующим на территории Республики Беларусь техническими нормами. При наличии в реализуемом проекте дополнительных источников выбросов парниковых газов и отсутствии данных о их мощности, производительности, величина  $L_{GHG}$  принимается равной  $L_{GHG} = 0,05 \cdot P_{GHG}^{br}$ .

Выбросы парниковых газов в эквиваленте  $CO_2$ ,  $P_{GHG}^{br}$ , т/год, рассчитываются по формуле

$$P_{GHG}^{br} = M_{CO_2} + 21 \cdot M_{CH_4} + 310 \cdot M_{N_2O} \quad (1.2)$$

где  $M_{CO_2}$  – выбросы углерода диоксида, т/год, определяемые в соответствии с (1.3);  $M_{CH_4}$  – выбросы метана, т/год, определяемые в соответствии с (1.4). Для оценки выбросов на стадии разработки предложений о реализации проектов совместного осуществления (JIT) выбросы метана могут не учитываться;  $M_{N_2O}$  – выбросы закиси азота, т/год, определяемые в соответствии с (1.5). Для оценки выбросов на стадии разработки JIT выбросы закиси азота могут не учитываться.

Выбросы углерода диоксида  $M_{CO_2}$ , т/год, рассчитываются по формуле

$$M_{CO_2} = 10^{-3} \cdot 3,667 \cdot E^{ce} \cdot K_c = E^{ce} \cdot K_{CO_2} \quad (1.3)$$

где 3,667 – коэффициент, равный соотношению молекулярных масс углерода диоксида и углерода (44 и 12 соответственно);  $E^{ce}$  – потребление (расход) топлива в общих энергетических единицах, ГДж/год, определяемое в соответствии с (1.9 – 1.12);  $K_c$  – содержание углерода для данного типа топлива, кг/ГДж, определяемый с учетом (1.6) в соответствии с таблицей А.1 (Приложение А) [4];  $K_{CO_2}$  – коэффициент выбросов углерода диоксида для данного типа топлива, т  $CO_2$ /ГДж, который следует применять при предварительных оценках изменения уровня выбросов парниковых газов и соответствия расчетных характеристик топлива таблице А.1 (Приложение А) [4], определяемый в соответствии с таблицами А.1, А.2 (Приложение А) [4].

Выбросы метана  $M_{CH_4}$ , т/год, рассчитываются по формуле

$$M_{CH_4} = 10^{-3} \cdot E^{ce} \cdot q_{CH_4} \quad (1.4)$$

$q_{CH_4}$  – удельный выброс метана, кг/ГДж, определяемый в соответствии с таблицей Б.1 (Приложение Б) [4].

Выбросы закиси азота  $M_{N_2O}$ , т/год, рассчитываются по формуле

$$M_{N_2O} = 10^{-3} \cdot E^{ce} \cdot q_{N_2O} \quad (1.5)$$

$q_{N_2O}$  – удельный выброс закиси азота, кг/ГДж, определяемый в соответствии с таблицей Б.2 (Приложение Б) [4].

Для определения содержания углерода в топливе  $K_c$  принимаются фактические значения параметров, указанные в паспортах, сертификатах качества, протоколах испытаний топлива, а в случае их отсутствия расчетные характери-

стики топлива принимаются в соответствии с таблицей А.1 (Приложение А) [4]. Содержание углерода в топливе  $K_c$ , кг/ГДж, для топлива с отличной от указанной в таблице А.1 [4] влажностью, зольностью и низшей теплотой сгорания топлива, рассчитывается по формуле

$$K_c = \frac{10 \cdot C_w^r}{Q_w^r} \quad (1.6)$$

где  $C_w^r$  – содержание углерода в рабочей массе топлива при фактической влажности  $w$ , %, определяемая в соответствии с (1.7);  $Q_w^r$  – низшая рабочая теплота сгорания топлива при фактической влажности  $w$ , при сжигании газообразного топлива ГДж/тыс. м<sup>3</sup>, при сжигании твердого и жидкого топлива ГДж/т, определяемая в соответствии с (1.8).

Значение содержания углерода в рабочей массе топлива при фактической влажности  $C_w^r$ , %, рассчитывается по формуле

$$C_w^r = C^r \cdot \frac{100 - w - A}{100 - w_A - A^r} \quad (1.7)$$

где  $C^r$  – содержание углерода в рабочей массе топлива, %, указанное для данного вида топлива в таблице А.1 (приложение А) [4];  $w$ ,  $A$  – фактическая влажность, зольность, указанная в паспортах, сертификатах качества, протоколах испытаний топлива;  $w_A$ ,  $A^r$  – влажность, зольность, которая указана для данного вида топлива в таблице А.1 (Приложение А) [4].

Низшая рабочая теплота сгорания топлива при фактической влажности  $Q_w^r$ , при сжигании газообразного топлива ГДж/тыс. м<sup>3</sup>, при сжигании твердого и жидкого топлива ГДж/т, рассчитывается по формуле

$$Q_w^r = (Q_i^r + 0,02 \cdot w_A) \cdot \frac{100 - w - A}{100 - w_A - A^r} - 0,102 \cdot w \quad (1.8)$$

где  $Q_i^r$  – низшая рабочая теплота сгорания топлива, ГДж/т, указанная для данного вида топлива в таблице А.1 (Приложение А) [4].

Численное значение энергетических ресурсов, используемых для расчета общих энергетических единиц, должно быть определено в зависимости от применяемых энергосберегающих технологий, от вида сжигаемого топлива, от вида используемого вторичного энергетического ресурса, вида возобновляемого источника энергии. Численное значение энергетических ресурсов должно быть определено для каждой из входящих в (1.1) компоненты, то есть для базового сценария, для варианта внедрения конкретного проекта и для дополнительных выбросов. Перевод различных видов энергетических ресурсов в общие энергетические единицы может осуществляться по одному из следующих вариантов:

- в соответствии с (1.9) при переводе энергетических ресурсов из тонн условного топлива;

- в соответствии с (1.10) при переводе энергетических ресурсов из тонн натурального топлива, метров кубических или плотных метров кубических;

- в соответствии с(1.11), (1.12) при переводе использованной тепловой энергии (Гкал, МВт·ч);

- в соответствии с (1.12) при переводе отпущенной от энергосистемы электрической энергии (МВт·ч).

Потребление (расход) топлива в общих энергетических единицах  $E^{тс}$ , ГДж/год, при переводе топлива из тонн условного топлива рассчитываются по формуле

$$E^{тс} = 29,308 \cdot B_y \quad (1.9)$$

где 29,308 – низшая теплота сгорания условного топлива, ГДж/т у.т.;  $B_y$  – масса условного топлива, т у.т/год.

Потребление (расход) топлива в общих энергетических единицах  $E^{тс}$ , ГДж/год, при переводе топлива из тонн натурального топлива, метров кубических или плотных метров кубических рассчитываются по формуле

$$E^{тс} = 29,308 \cdot K_H \cdot B_H \quad (1.10)$$

$K_H$  – калорийный эквивалент натурального топлива, указанный с учетом фактической его влажности в ТУ, ГОСТ, СТБ на топливо, а также в паспортах, сертификатах качества, протоколах испытаний топлива. В случае, если нельзя определить теплотворную способность топлива лабораторным путем или нет паспортов, сертификатов качества, протоколов испытаний топлива, то следует пользоваться средними калорийными эквивалентами, указанными в таблице А.1 (Приложения А) [4];  $B_H$  – масса натурального топлива, т/год ( $\text{м}^3/\text{год}$ , тыс.пл.м<sup>3</sup>/год)

Потребление (расход) топлива в общих энергетических единицах  $E^{тс}$ , ГДж/год, при переводе использованной тепловой энергии (Гкал), рассчитываются по формуле

$$E^{тс} = 4,187 \cdot Q_y \quad (1.11)$$

где 4,187 – коэффициент перевода Гкал в ГДж;  $Q_y$  – годовой отпуск (потребление, экономия) тепловой энергии, Гкал/год.

Потребление (расход) топлива в общих энергетических единицах  $E^{тс}$ , ГДж/год, при переводе использованной электрической энергии (МВт·ч), рассчитываются по формуле

$$E^{тс} = 3,6 \cdot W_y \quad (1.12)$$

где 3,6 – коэффициент перевода МВт·ч в ГДж;  $W_y$  – годовой отпуск (потребление, экономия) электрической энергии, МВт·ч/год.

Базовый сценарий, с разумной степенью вероятности, отражает такую динамику выбросов парниковых газов, которая существовала бы при отсутствии предложенного проекта (мероприятия). Различают два метода определения базового сценария:

а) в случае выработки энергии на собственном источнике и (или) получения энергии от другого источника, параметры которого известны, доказуемы и прогнозируемы, базовый сценарий определяется на основании этих параметров, ко-

торые используются для расчета общих энергетических единиц в соответствии с (1.9)–(1.12) и расчета содержания углерода в топливе в соответствии с (1.6);

б) в случае получения электрической и (или) тепловой энергии от энергетической системы, базовый сценарий определяется в соответствии с методикой описанной ниже.

В случае получения энергии от энергетической системы, для расчета базового сценария используют один из следующих методов:

а) при получении электрической энергии, в качестве источника на котором использовано топливо, затраченное на отпуск одного киловатт часа (кВт·ч) выбирается источник со средним по Республике Беларусь потреблением топлива, равным 271 г у.т./кВт·ч;

б) при получении электрической энергии от энергосистемы для вводимых объектов электроснабжения более 50 МВт установленной мощности выбирается замыкающий источник со средним потреблением топлива, равным 312 г у.т./кВт·ч;

в) при получении тепловой энергии, в качестве источника на котором использовано топливо, затраченное на отпуск одной гигакалории (Гкал) выбирается источник со средним потреблением топлива, равным 175 кг у.т./Гкал.

В случае получения электрической энергии от энергосистемы выбросы парниковых газов в эквиваленте  $\text{CO}_2$  в течение года по базовому сценарию  $P_{GHG}^b$ , т/год, рассчитываются по формуле

$$P_{GHG}^b = 1,72 \cdot 10^{-6} \cdot K_{\text{э}} \cdot W + 21 \cdot M_{\text{CH}_4} + 310 \cdot M_{\text{N}_2\text{O}} \quad (1.13)$$

где  $1,72 \cdot 10^{-6}$  – коэффициент выброса углерода диоксида на 1 г у.т. при производстве электрической энергии, рассчитанный на основании фактического расхода всех видов топлива на производство электрической энергии, т  $\text{CO}_2$ /г у.т.;  $K_{\text{э}}$  – среднее по Республике Беларусь значение расхода топлива на производство 1 кВт·ч электроэнергии за предшествующий расчетам год, г у.т./кВт·ч, для упрощенных расчетов принимаемое равным 271 г у.т./кВт·ч;  $W$  – электрическая энергия, полученная от энергосистемы, кВт·ч/год;  $M_{\text{CH}_4}$  – выбросы метана, т/год, определяемые в соответствии с (1.4). Для оценки выбросов на стадии разработки PIN выбросы метана могут не учитываться;  $M_{\text{N}_2\text{O}}$  – выбросы закиси азота, т/год, определяемые в соответствии с (1.5). Для оценки выбросов на стадии разработки PIN выбросы метана могут не учитываться.

В случае получения тепловой энергии от энергосистемы выбросы парниковых газов в эквиваленте  $\text{CO}_2$  в течение года по базовому сценарию  $P_{GHG}^b$ , т/год, рассчитываются по формуле

$$P_{GHG}^b = 1,83 \cdot 10^{-3} \cdot K_m \cdot Q + 21 \cdot M_{\text{CH}_4} + 310 \cdot M_{\text{N}_2\text{O}} \quad (1.14)$$

где  $1,83 \cdot 10^{-3}$  – коэффициент выброса углерода диоксида на 1 кг у.т. при производстве тепловой энергии, рассчитанный на основании фактического расхода всех видов топлива на производство тепловой энергии, т  $\text{CO}_2$ /кг у.т.;  $K_m$  – среднее по Республике Беларусь значение расхода топлива на производство 1 Гкал тепловой энергии за предшествующий расчетам год, кг у.т./Гкал, для



упрощенных расчетов принимаемое равным 175 кг у.т./Гкал;  $Q$  – тепловая энергия, полученная от энергосистемы, Гкал/год.

Основные технические направления в области энергосбережения приведены в таблице 1.1. Для основных направлений ниже приводятся расчеты величины экономии топливно-энергетических ресурсов при их внедрении, которые затем используются для расчета изменения уровня выбросов парниковых газов.

В случаях внедрения проектов по использованию возобновляемых источников энергии ежегодные выбросы парниковых газов в эквиваленте  $\text{CO}_2$   $P_{\text{CHG}}^{\text{br}}$  приравниваются нулю.

Таблица 1.1 – Основные технические направления в области энергосбережения

Наименование мероприятия	Описание мероприятия
Ввод в эксплуатацию электрогенерирующего оборудования на основе паро- и газотурбинных, парогазовых, турбодегандерных и газопоршневых установок	создание мини-ТЭЦ на базе двигателей внутреннего сгорания
	создание мини-ТЭЦ на базе когенерационных установок
Внедрение мини-ТЭЦ на древесном топливе, иных видах биомассы	
Модернизация и повышение эффективности котельных и технологических печей	перевод паровых котлов в водогрейный режим
	замена неэкономичных котлов и печей с низким КПД на более эффективные
	регулярное проведение регламентных эксплуатационных работ и режимно-наладочных мероприятий
	отбор дутьевого воздуха с верхней части зданий котельных
Внедрение частотно-регулируемых электроприводов на механизмах с переменной нагрузкой	внедрение автоматизации контроля и регулирования процессов горения топлива
	канализационные насосные станции
	системы водоснабжения
	тягодутьевые механизмы котлов
Оптимизация и повышение эффективности работы систем теплоснабжения, внедрение новых эффективных источников тепла	сетевые теплофикационные насосные станции
	реконструкция тепловых узлов с внедрением высокоэффективных теплообменников
	децентрализация систем теплоснабжения с ликвидацией длинных и незагруженных паро- и тепло-трасс и установкой локальных теплоисточников
Внедрение приборов группового, индивидуального учёта и автоматического регулирования в системах тепло-, газо-, и водоснабжения	
Оптимизация схем воздухо- и холодоснабжения в целях снижения электропотребления оборудованием	
Внедрение современных энергоэффективных и повышение энергоэффективности действующих технологий, процессов, оборудования и материалов в производстве	
Ликвидация электронагрева с переводом технологического оборудования на современные высокоэкономичные энергоносители (природный газ, высокотемпературные жидкости и др.)	перевод электросушильных установок и нагревательных печей, внедрение эффективных сушильных установок для зерна

Продолжение таблицы 1.1

Увеличение термосопротивления ограждающих конструкций зданий, сооружений, жилищного фонда	применение термоподдонов
	применение терморегулирующего газотермического покрытия
	внедрение новых технологий термореновации зданий и сооружений с применением теплоизоляционных материалов (стекло-минеральных волокон, пенополистирольных плит и т.д.)
	замена стандартных окон на стеклопакеты в цехах заводов и предприятий
Внедрение автоматических систем управления освещением, энергоэффективных осветительных устройств, секционного разделения освещения	
Увеличение использования древесного топлива, иных видов биомассы, отходов производства, вторичных, энергоресурсов	перевод котлов и другого топливоспользующего оборудования на использование древесного топлива, иных видов биомассы, горючих вторичных энергоресурсов и отходов производства
	использование тепловых вторичных энергоресурсов в системах теплоснабжения
	внедрение оборудования по утилизации тепловых вторичных энергоресурсов и вторичных энергоресурсов избыточного давления
Внедрение иных мероприятий по энергосбережению	технология вихревого сжигания твердого топлива, растительных и древесных отходов
	использование теплоты конденсата с теплового пункта и цехов для приготовления химически очищенной воды и отопления зданий
	использование теплоты уходящих газов нагревательных печей для приготовления горячей воды на хозяйственно бытовые нужды и отопления
	использование теплоты воздуха компрессоров для отопления
Внедрение возобновляемых источников энергии	использование теплоты дымовых газов от установки пиролизной очистки подвесок для нагрева воды
	внедрение гидроэлектрических, ветроэнергетических, гелио- и фотоэлектрических, биогазовых установок, котельных установок использующих древесное топливо, иные виды биомассы

Применяются следующие расчетные случаи повышения энергоэффективности производства:

1. установка турбоагрегата на котельной;
2. замена неэкономичных котлов и печей с низким КПД на более эффективные, перевод котлов в водогрейный режим, внедрение котлов малой мощности вместо незагруженных котлов большой мощности;
3. перевод котла (печи) со сжигания одного вида топлива на другой вид топлива;
4. замена электрического котла (печи) на котел, использующий различные виды топлива;
5. внедрение регулируемого электропривода;

6. ликвидация длинных и незагруженных паропроводов и теплотрасс, децентрализация систем теплоснабжения;
7. термореновация ограждающих конструкций зданий;
8. внедрение автоматических систем управления освещением, энергоэффективных осветительных устройств;
9. использование тепловых вторичных энергоресурсов.

Рассмотрим детально случай 7 (термореновация ограждающих конструкций зданий).

Экономия энергоресурсов при термореновации ограждающих конструкций зданий достигается за счет увеличения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций и уменьшения тепловых потерь.

Экономия тепловой энергии за счет снижения тепловых потерь через ограждающие конструкции  $Q_y$ , Гкал/год, рассчитывается по формуле

$$Q_y = 10^{-6} \cdot 24 \cdot 0,86 \cdot F_{зо} \cdot \tau_{от} \cdot (t_{ин} - t_n) \cdot \left( \frac{1}{R_{факт}} - \frac{1}{R_{досп}} \right) \quad (1.15)$$

где 24 – число часов в сутках, ч; 0,86 – коэффициент перевода электрической энергии в тепловую, Гкал/тыс. кВт·ч;  $F_{зо}$  – площадь ограждающих конструкций, подвергнутых термореновации, м<sup>2</sup>;  $\tau_{от}$  – продолжительность отопительного периода, суток;  $t_{ин}$  – температура воздуха внутри помещения, °С;  $t_n$  – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С;  $R_{факт}$  – фактическое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций здания до выполнения мероприятия, м<sup>2</sup>·°С/Вт, принимаемое на основании данных энергетического паспорта здания, проектной документации, актов тепловых испытаний ограждающих конструкций здания;  $R_{досп}$  – достигнутое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций здания после выполнения мероприятия, м<sup>2</sup>·°С/Вт.

*Задание для выполнения лабораторной работы.*

Выполнить расчет снижения выбросов парниковых газов за счет проведения термореновации ограждающих конструкций жилого здания. Проектом предусматривается устройство дополнительного утепления наружных стен, применяя для этого стекло-минеральные плиты.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### Расчета выбросов и поглощения от естественных болотных экосистем, осушенных торфяных почв, выработанных и разрабатываемых торфяных месторождений

#### *Цель работы:*

1. Изучить источники поступления и поглощения парниковых газов естественными болотными экосистемами;
2. Ознакомится с методикой расчета выбросов и поглощения от естественных болотных экосистем.
3. Выполнить сопоставительный анализ вариантов использования заболоченного массива по количеству выбросов парниковых газов.

#### *Основные сведения:*

В настоящее время применяют различные методы расчета выбросов и поглощения парниковых газов естественными болотными экосистемами, выбросов парниковых газов осушенными торфяными почвами, используемыми для возделывания сельскохозяйственных культур, выработанными и разрабатываемыми торфяными месторождениями, в зависимости от типа торфяной залежи и на основании данных государственного статистического учета их площадей при инвентаризации выбросов парниковых газов и научно обоснованных нормативов удельных показателей выбросов парниковых газов с единицы площади таких территорий.

Результаты расчетов применяют при оценке выбросов парниковых газов в атмосферный воздух, которые используются при:

- оценке воздействия на атмосферный воздух;
- подготовке предложений о реализации проектов совместного осуществления (JIN);
- подготовке бизнес-планов, инвестиционных проектов;
- ведении отчетности о выбросах парниковых газов в атмосферный воздух;
- иных мероприятиях по смягчению воздействия на климат и охране атмосферного воздуха.

Влияние естественных болотных экосистем на климат определяется не только поглощением углекислого газа из атмосферы, но также выделением метана и закиси азота. Биологические и геохимические процессы, происходящие в естественных болотных экосистемах, осушенных торфяных почвах приводят к выделению и поглощению парниковых газов в зависимости от водного режима, климатических условий и минерального питания. Водно-минеральное питание отражает тип торфяной залежи.

Разработка национальных удельных показателей выбросов и поглощения парниковых газов естественными болотными экосистемами, выработанными и разрабатываемыми торфяными месторождениями в зависимости от типа торфа в залежи, типа торфяной залежи, необходима для ведения государственного кадастра парниковых газов в соответствии с методологией Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) и решениями Конфе-

ренции Сторон Рамочной Конвенции ООН об изменении климата (РКИК) и Конференции Сторон, действующих в качестве совещания Сторон Киотского протокола.

Целью разработки национальных удельных показателей является получение достоверных данных о выбросах и поглощении парниковых газов болотными экосистемами, находящимися в естественном состоянии, с осушенных торфяных почв, выработанных и разрабатываемых торфяных месторождений.

Правила расчета национальных удельных показателей выбросов и поглощения парниковых газов естественными болотными экосистемами включают:

- установление средних значений ежегодного прироста торфяного слоя, влажности, зольности, плотности торфа в залежи, содержания углерода в органическом веществе в зависимости от типа торфа в залежи;
- расчет ежегодного поглощения диоксида углерода в зависимости от типа торфа в залежи;
- расчет ежегодного выделения метана, закиси азота в зависимости от типа торфа в залежи.

Правила расчета национальных удельных показателей выбросов парниковых газов осушенными торфяными почвами, выработанными и разрабатываемыми торфяными месторождениями включают:

- расчет удельных показателей ежегодных выбросов парниковых газов в атмосферу для осушенных торфяных почв;
- расчет удельных показателей ежегодных выбросов парниковых газов в атмосферный воздух разрабатываемых и выработанных торфяных месторождений различных типов;
- расчет удельных показателей ежегодных выносов органических веществ при ветровой и водной эрозиях разрабатываемых и выработанных торфяных месторождений.

I. Валовой выброс парниковых газов естественной болотной экосистемой  $M$ , т/год, рассчитывается по формуле

$$M = M_H + M_B \quad (2.1)$$

где  $M_H$  – валовой выброс парниковых газов низинным типом торфа в залежи, т/год, определяемый в соответствии с (2.2);  $M_B$  – валовое поглощение парниковых газов верховым типом торфа в залежи, т/год, определяемый в соответствии с (2.2).

Валовой выброс парниковых газов низинным типом торфа в залежи,  $M_H$ , т/год, валовое поглощение парниковых газов верховым типом торфа в залежи,  $M_B$ , т/год, рассчитываются по формуле

$$M_{H,B} = S \cdot (21 \cdot M_{CH_4} + 310 \cdot M_{N_2O} - M_{CO_2}) \quad (2.2)$$

где  $S$  – площадь болот в естественном состоянии, га;  $M_{CH_4}$  – удельный показатель выбросов метана ( $CH_4$ ) естественной болотной экосистемой, т/(год·га), определяемый на основании [6] и приведенный в таблице А.1 Приложения А [8];  $M_{N_2O}$  – удельный показатель выбросов закиси азота ( $N_2O$ ) естественной болот-

ной экосистемой, т/(год·га), определяемый на основании [6] и приведенный в таблице А.1 Приложения А [8];  $M_{CO_2}$  – удельный показатель поглощения диоксида углерода ( $CO_2$ ) естественной болотной экосистемой, т/(год·га), определяемый в соответствии с (2.3) или (2.4), а при отсутствии данных в соответствии с таблицей А.1 Приложения А [8].

Удельный показатель поглощения диоксида углерода из атмосферы естественной болотной экосистемой  $M_{CO_2}$ , т/(год·га), рассчитывается по одной из следующих формул:

$$M_{CO_2} = 10^{-3} \cdot 3,67 \cdot h \cdot \gamma \cdot (100 - W) \cdot (100 - A) \cdot C \quad (2.3)$$

$$M_{CO_2} = 10^3 \cdot 3,67 \cdot h \cdot \gamma \cdot K_W \cdot K_A \cdot K_C \quad (2.4)$$

где 3,67 – коэффициент перевода углерода в углекислый газ, равный отношению относительной молекулярной массы диоксида углерода к относительной атомной массе углерода;  $h$  – ежегодный вертикальный прирост торфяного слоя в субатлантический период, м, определяемый по таблице А.2 Приложения А [8];  $\gamma$  – плотность торфа в залежи, т/м<sup>3</sup>, определяемая по [7], средние значения плотности торфа представлены в таблице А.3 Приложения А [8];  $W$  – фактическая влажность торфа, %, определяемая по ГОСТ 11305 или ГОСТ 19723, а при отсутствии данных;  $A$  – фактическая зольность торфа, %, определяемая по ГОСТ 11306;  $C$  – содержание углерода в органическом веществе, %, определяемое по ГОСТ 2408.1;  $K_W$ ,  $K_A$ ,  $K_C$  – коэффициенты влажности, зольности, содержания углерода в органическом веществе соответственно, определяемые по таблице А.4 Приложения А [8].

II. Валовой выброс парниковых газов с осушенных торфяных почв  $M$ , т/год, рассчитывается по формуле

$$M = S \cdot (M_{CO_2} + M_{N_2O}) \quad (2.5)$$

где  $S$  – площадь осушенных торфяных почв, га;  $M_{CO_2}$  – удельный показатель ежегодного выделения диоксида углерода осушенными торфяными почвами при различных способах использования, т/(год·га), определяемый по (2.6), а при отсутствии данных по таблице Б.1 Приложения Б [8];  $M_{N_2O}$  – удельный показатель ежегодного выделения закиси азота осушенными торфяными почвами, т/(год·га), определяемый по [6] или по таблице Б.2 Приложения Б [8].

Удельный показатель ежегодного выделения диоксида углерода осушенными торфяными почвами  $M_{CO_2}$ , т/га, рассчитывается по формуле

$$M_{CO_2} = 3,67 \cdot P_1 \cdot K_C \quad (2.6)$$

где 3,67 – коэффициент перевода углерода в углекислый газ, равный отношению относительной молекулярной массы диоксида углерода к относительной атомной массе углерода;  $P_1$  – удельный показатель ежегодных потерь органического вещества осушенными торфяными почвами, т/га, определяемый по (2.7), средние значения удельного показателя ежегодных потерь органического углерода при различных способах использования представлены в таблице Б.3 При-

ложения Б [8];  $K_c$  – коэффициент содержания углерода в органическом веществе, определяемый по таблице А.4 Приложения А [8].

Удельный показатель ежегодных потерь органического вещества торфа осушенными торфяными почвами  $P_i$ , т/(год·га), рассчитывается по формуле

$$P_i = 10^3 \cdot h \cdot \gamma \cdot K_w \cdot K_A \quad (2.7)$$

где  $h$  – ежегодное уменьшение торфяного слоя при минерализации торфяной залежи, м, определяемое по [5];  $\gamma$  – насыпная плотность в пахотном горизонте торфяной почвы, т/м<sup>3</sup>, определяемая по ГОСТ 13673, а при отсутствии данных по таблице Б.4 Приложения Б.

### Задание

Выполнить сопоставительный анализ вариантов использования заболоченного массива площадью  $S$  при его использовании под сельхозугодья или сохранение в естественном состоянии. Вычислить изменение количества выбросов парниковых газов при двух различных вариантах использования низинного болотного массива.

Таблица 2.1 – Исходные данные к выполнению лабораторной работы

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Площадь заболоченного участка, га	400	240	350	540	320	375	280	430	580	730	140	130
Вид сельскохозяйственных культур	Все виды культур в среднем по Беларуси	Многолетние травы, возделываемые при УТВ 0,5-2,5 м	Многолетние травы, возделываемые при УТВ 0,5-1,5 м	Многолетние травы, возделываемые при УТВ 0,5-0,9 м	Зерновые и зернобобовые культуры	Пропашные культуры	Севообороты полевые:	Севообороты пропашные	Многолетние травы, возделываемые при УТВ 0,5-1,5 м	Зерновые и зернобобовые культуры	Севообороты пропашные	Все виды культур в среднем по Беларуси
Ежегодное уменьшение торфяного слоя, м	0,053	0,035	0,028	0,027	0,048	0,077	0,054	0,061	0,028	0,048	0,061	0,053

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### Расчет поглощения парниковых газов озерными экосистемами

#### *Цель работы:*

1. Изучить принципы накопления углерода в водоемах;
2. Ознакомиться с методикой расчета поглощения парниковых газов озерными экосистемами.
3. Выполнить расчет поглощения диоксида углерода водоемом.

#### *Основные сведения:*

Биологические и геохимические процессы, происходящие в естественных озерных экосистемах, приводят к поглощению диоксида углерода в зависимости от водного режима, климатических условий и минерального питания. Водно-минеральное питание отражает тип сапропелевых отложений. В свою очередь сапропель представляет собой тонкоструктурные, коллоидные отложения пресноводных водоемов, содержащие не менее 15% органического вещества, а также неорганические компоненты биогенного и привносного характера [9]. Целью расчета удельных показателей поглощения диоксида углерода является получение достоверных данных о его преобразовании естественными озерными экосистемами в зависимости от типа сапропеля в залежи.

Расчеты удельных показателей поглощения диоксида углерода озерными экосистемами в зависимости от типа сапропелевых залежей включают:

- установление среднего значения ежегодного вертикального прироста слоя сапропеля различных типов;
- установление средних значений влаги, зольности, объемной массы сапропеля;
- установление среднего значения содержания углерода в органическом веществе сапропеля;
- установление среднего значения содержания углерода в карбонатах кальция сапропелевой залежи;
- расчет годового поглощения диоксида углерода естественной озерной экосистемой в зависимости от типа сапропеля в залежи.

Согласно [9; 10; 11; 12] выделено четыре типа сапропеля: органический, кремнеземистый, карбонатный и смешанный. Промышленно-генетическая классификация отражает генезис озерных отложений, обосновывает наиболее рациональные области использования выделенных типов и классов с учетом их состава.

Диоксид углерода выводится из атмосферы и накапливается в озерных экосистемах двумя путями: в органическом веществе различных типов сапропеля в виде органического углерода и карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ).

Валовое поглощение диоксида углерода из атмосферы естественной озерной экосистемой в зависимости от типа сапропеля  $M_{\text{CO}_2}$ , т/год, вычисляется по формуле

$$M_{\text{CO}_2} = S \cdot (3,67 \cdot M_C + 0,55 \cdot M_{\text{CaCO}_3}), \quad (3.1)$$

где  $S$  – площадь сапропелевой залежи, га; 3,67 – коэффициент перевода углерода в углекислый газ, равный отношению относительной молекулярной массы



диоксида углерода к относительной атомной массе углерода;  $M_C$  – удельный показатель ежегодного накопления органического углерода сапропелевой залежью, т/(год·га), определяемый по (3.2); 0,55 – коэффициент перевода карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) в углекислый газ, равный отношению относительной молекулярной массы диоксида углерода к относительной молекулярной массе карбоната кальция;  $M_{\text{CaCO}_3}$  – удельный показатель ежегодного накопления карбонатов сапропелевой залежью, т/(год·га), определяемый по (3.6).

Удельный показатель ежегодного накопления углерода сапропелевой залежью  $M_C$ , т/(год·га), рассчитывается по формуле

$$M_C = 10^3 \cdot h \cdot \gamma \cdot K_W \cdot K_{MB} \cdot K_C, \quad (3.2)$$

где  $h$  – ежегодный вертикальный прирост слоя сапропеля, м, определяемый по отношению возраста озерных отложений к их глубине, принимается согласно [14] по таблице А.7 (Приложение А) [16];  $\gamma$  – объемная масса сапропеля в залежи, т/м<sup>3</sup>; определяемая по [13];  $K_W$  – коэффициент влажности сапропеля в залежи, определяемый согласно(3.3);  $K_{MB}$  – коэффициент зольности сапропеля в залежи, определяемый согласно(3.4);  $K_C$  – коэффициент содержания углерода в органическом веществе сапропеля, определяемый согласно (3.5).

Коэффициент влажности сапропеля в залежи  $K_W$  рассчитывается по формуле

$$K_W = \frac{100 - W}{100}, \quad (3.3)$$

где  $W$  – влажность сапропеля, %, определяемая по [15], а при отсутствии данных принимаемая по таблице А.8 Приложения А [16].

Коэффициент зольности сапропеля в залежи  $K_{MB}$  рассчитывается по формуле

$$K_{MB} = \frac{100 - A^C}{100}, \quad (3.4)$$

где  $A^C$  – зольность сапропеля, %, определяемая по [15], а при отсутствии данных принимаемая по таблице А.8 Приложения А [16].

Коэффициент содержания углерода в органическом веществе сапропеля  $K_C$  рассчитывается по формуле

$$K_C = \frac{C}{100}, \quad (3.5)$$

где  $C$  – содержание углерода в органическом веществе сапропеля, %, определяемое по ГОСТ 2408.1, а при отсутствии данных принимаемое по таблице А.8 Приложения А.

Удельный показатель ежегодного накопления карбонатов сапропелевой залежью  $M_{\text{CaCO}_3}$ , т/(год·га), рассчитывается по формуле

$$M_{\text{CaCO}_3} = 10^3 \cdot h \cdot \gamma \cdot K_W \cdot K_{\text{CaCO}_3}, \quad (3.6)$$

где  $K_{\text{CaCO}_3}$  – коэффициент содержания  $\text{CaCO}_3$  в залежи сапропеля, определяемый по таблице А.2 Приложения А [16].

**Задание.** Выполнить расчет количества ежегодного поглощения диоксида углерода водоемом за счет накопления сапропеля.

Таблица 3.1 – Исходные данные к выполнению лабораторной работы

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Площадь сапропелевой залежи, га	38	12	42	24	8	16	21	26	32	15	6	13
Тип сапропеля	Органический	Кремнеземистый	Карбонатный	Смешанный	Органический	Кремнеземистый	Карбонатный	Смешанный	Органический	Кремнеземистый	Карбонатный	Смешанный
Ежегодный вертикальный прирост слоя сапропеля, м	0,00048	0,00045	0,00051	0,00043	0,00049	0,00046	0,00053	0,00044	0,00051	0,00048	0,00054	0,00046
Влажность сапропеля, %	92,1	92,2	84,4	90,3	94,9	95,0	86,9	93,0	88,2	88,3	80,8	86,5
Содержание углерода в органическом веществе сапропеля, %	54,7	52,1	58,3	56,1	56,3	53,7	60,0	57,8	52,4	49,9	55,8	53,7

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

### Расчет выбросов парниковых газов при торфяных пожарах

*Цель работы:*

1. Изучить принципы и методику расчета выбросов парниковых газов при торфяных пожарах.
2. Вычислить объем уничтоженных торфяников в результате пожара.
3. Выполнить расчет выбросов парниковых газов.

*Основные сведения:*

Широко используются методы расчета выбросов парниковых газов в атмосферный воздух при торфяных пожарах на естественных и нарушенных болотах в зависимости от типа торфа в залежи на основе научно обоснованных нормативов удельных показателей выбросов.

Такого рода подходы рекомендуются для применения государственными органами, научными, научно-исследовательскими и другими организациями при:

- оценке воздействия на атмосферный воздух;
- подготовке предложений о реализации проектов совместного осуществления;
- подготовке бизнес-планов, инвестиционных проектов;
- ведении отчетности о выбросах парниковых газов в атмосферный воздух;
- составлении и ведении государственного кадастра парниковых газов;
- иных мероприятиях по смягчению воздействия на климат и охране атмосферного воздуха.

Парниковыми газами, подлежащими оценке, являются газы: диоксид углерода (CO<sub>2</sub>), закись азота (N<sub>2</sub>O) и метан (CH<sub>4</sub>).

Процессы горения, происходящие при торфяных пожарах, приводят, в зависимости от водного режима и типа торфа в залежи к различным выбросам парниковых газов в атмосферный воздух.

Разработка национальных удельных показателей расчета выбросов парниковых газов в атмосферу при торфяных пожарах необходима для ведения госу-

дарственного кадастра парниковых газов в соответствии с методологией Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК).

При проведении оценки выбросов парниковых газов при торфяных пожарах на естественных и нарушенных болотах, определенной на основании инструментальных измерений, материальных балансов, аналитических расчетов следует применять значения удельных показателей.

Выбросы парниковых газов при торфяном пожаре через единицу объема ( $P_v$ ) сгоревшего материала, т, определяются по формуле

$$P_v = V \cdot (M_{CO_2} + 21 \cdot M_{CH_4} + 310 \cdot M_{N_2O}) \quad (4.1)$$

где  $M_{CO_2}$  – удельные показатели выбросов диоксида углерода при торфяном пожаре, т/м<sup>3</sup>, рассчитываемые согласно (4.2);  $M_{CH_4}$  – удельные показатели выбросов метана при торфяном пожаре, т/м<sup>3</sup>, определяемые по таблицам А.1, А.2 Приложения А, таблицам Б.1, Б.2 Приложения Б [17];  $M_{N_2O}$  – удельные показатели выбросов закиси азота при торфяном пожаре, т/м<sup>3</sup>, определяемые по таблицам А.1, А.2 Приложения А, таблицам Б.1, Б.2 Приложения Б [17].

Удельные показатели выбросов углекислого газа при торфяных пожарах на естественном или нарушенном болотах отнесенные к единице объема сгоревшего материала, т/м<sup>3</sup>, вычисляются по одной из следующих формул:

$$M_{v,CO_2} = 3,67 \cdot \gamma \cdot K_w \cdot K_A \cdot K_C \quad (4.2)$$

где  $\gamma$  – плотность торфа в залежи, т/м<sup>3</sup>, рассчитываемая по уравнениям (4.6), (4.7).

Коэффициент влажности  $K_w$  рассчитывается по формуле

$$K_w = \frac{100 - W}{100} \quad (4.3)$$

Коэффициент зольности  $K_A$  рассчитывается по формуле

$$K_A = \frac{100 - A}{100} \quad (4.4)$$

Коэффициент содержания углерода  $K_C$  рассчитывается по формуле

$$K_C = \frac{C}{100} \quad (4.5)$$

При отсутствии данных по плотности торфа  $\gamma$ , т/м<sup>3</sup>, следует пользоваться зависимостью между плотностью торфа, его влажностью и степенью разложения: для низинного торфа

$$\gamma = 0,001 \cdot \left( \frac{1400 \cdot R}{100 - W + R} - 4 \cdot R + 60 \right); \quad (4.6)$$

для верхового торфа

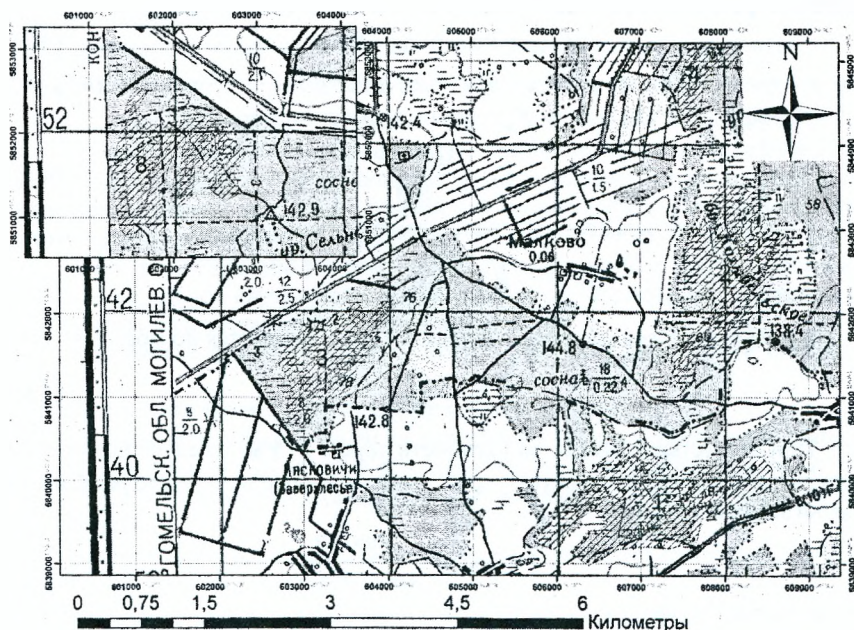
$$\gamma = 0,001 \cdot \left( \frac{1700 \cdot R}{100 - W + R} - 5 \cdot R + 90 \right) \quad (4.7)$$

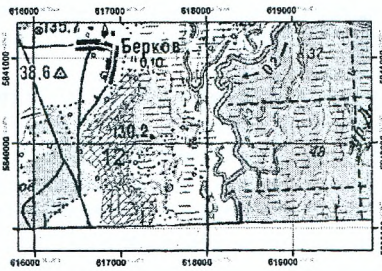
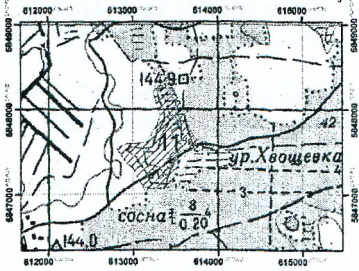
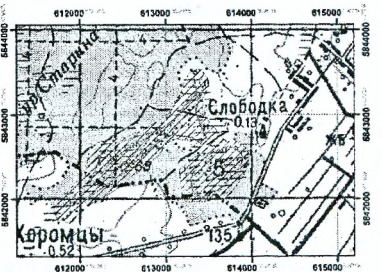
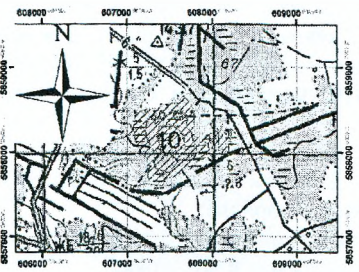
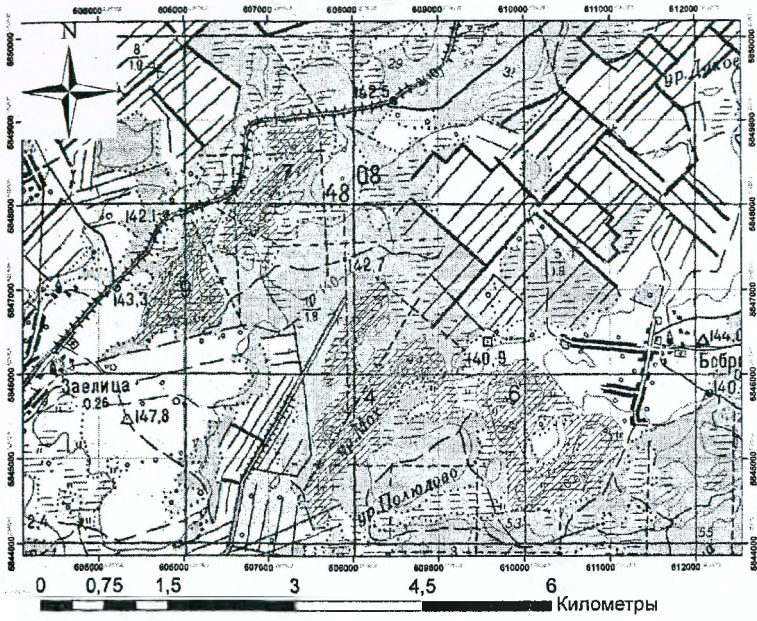
где  $W$  – фактическая влажность торфа, %;  $R$  – степень разложения торфа, %.

*Задание.* Выполнить расчет выбросов парниковых газов в результате торфяного пожара при следующих исходных данных. Объем торфяного пожара вычислить графоаналитическим способом. Глубина выгорания торфяной залежи указана в сантиметрах.

Таблица 4.1 Исходные данные к выполнению лабораторной работы

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Номер участка пожара	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Тип торфяной залежи	низинное						верховое					
Использование болотно-го массива	нарушенное состояние			естественное состояние						нарушенное состояние		
Влажность торфа, %	74	73	75	88	86	87	90	92	91	77	79	78
Содержание углерода, %	57	58	59	56	57	58	52	53	51	54	55	53
Зольность, %	10	12	11	13	10	13	4	5	6	6	5	4
Степень разложения торфа, %	35	37	36	37	36	35	35	34	33	32	34	33





## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

### Снижение поступления взвешенных веществ в водоёмы

#### *Цель работы:*

1. Ознакомиться с особенностями формирования и оценки твердого стока гидрографической сети;
2. Изучить содержание и основные требования предъявляемые к проектам снижения поступления взвешенных веществ;
3. Запроектировать уширение мелиоративного канала.

#### *Основные сведения:*

С территории водосбора взвешенные вещества интенсивно поступают с поверхностным стоком в период весеннего половодья (от 50% до 60%) и летне-осенних паводков (40%).

По величине декадных максимальных значений мутности в реках Республики Беларусь выделяются две группы водотоков:

I группа – водотоки с ярко выраженными максимальными значениями мутности в период весеннего половодья и незначительными показателями мутности в период летне-осенних паводков, к данной группе относятся средние и малые реки, гидрологический режим которых не затронут антропогенной деятельностью. Для водотоков данной группы характерно значение мутности в период весеннего половодья до 60 мг/дм<sup>3</sup>.

II группу составляют водотоки, гидрологический режим которых подвержен антропогенному воздействию, которое выражается, главным образом, в зарегулированности стока мелиоративными каналами и плотинами. Для водотоков данной группы характерно высокое значение мутности до 150-160 мг/дм<sup>3</sup> в период весеннего половодья, с постепенным уменьшением значений мутности до 5-20 мг/дм<sup>3</sup> для летне-осеннего периода.

Работы по снижению поступления взвешенных веществ с водосбора по гидрографической сети в водные объекты методом устройства гидротехнических сооружений осуществляются в следующем порядке:

- проведение изыскательских работ по изучению гидрологического стока и уровню содержания взвешенных веществ в водоёмах и водотоках;
- разработка проектной документации с соблюдением требований законодательства Республики Беларусь и правил, установленных настоящим техническим кодексом;
- реализация утвержденных проектных решений по снижению поступления взвешенных веществ с водосбора по гидрографической сети в водные объекты методом устройства гидротехнических сооружений;
- передача объекта после завершения работ эксплуатирующим организациям в установленном законодательством порядке.

Изыскательские работы включают:

- топографо-геодезические и гидрологические изыскания;
- инженерно-геологические и гидрогеологические изыскания;
- гидрологические изыскания.

Топографо-геодезические изыскания включают следующие виды работ:

- топографическую съемку в масштабе 1:5000 или 1:10000;
- съемку основных каналов (продольные и поперечные профили) с поперечниками через 200-500 м;
- съемку основных существующих сооружений в масштабе 1:200 или 1:500 (водоподпорных сооружений, водовыпусков, переездов на дорогах), 1:1000 или 1:2000 (плотин, дамб), эскизы второстепенных сооружений;
- съемку площадок под основные сооружения в масштабе 1:200 или 1:500.

Гидрологические изыскания должны включать:

- оценку схемы водосборных площадей в масштабе 1:10000 или 1:25000;
- характеристику гидрографической сети и гидрологических условий.

Инженерно-геологические и гидрогеологические изыскания должны включать характеристику грунтов по каналам через 200-500 м.

Изыскательские работы должны обеспечивать данными разработку проектной документации и включать следующие разделы:

- обоснование проведения работ по снижению поступления взвешенных веществ в водоём (увеличение рекреационного потенциала водоёма, борьба с процессами эвтрофирования и др.);
- уровень содержания взвешенных и биогенных веществ в водоёме;
- обоснование способа количественного снижения поступления в экосистему взвешенных и биогенных веществ;
- расчёты изменения качества воды после снижения поступления взвешенных и биогенных веществ в водоём.

Проектная документация снижения поступления взвешенных веществ с водосбора по гидрографической сети (далее проект), разрабатывается специализированной проектной организацией, в соответствии с законодательством об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности.

Проектная документация разрабатывается на основании данных инженерных изысканий, научного обоснования, а также с увязкой ранее полученных материалов по данному объекту.

Разработка проекта состоит из следующих стадий:

- разработка технического задания на разработку проекта;
- разработка проектной документации;
- разработка проекта возможна по стадиям: архитектурный проект, строительный проект.

Основанием для разработки проекта является техническое задание, разработанное заказчиком.

Техническое задание на разработку проектной документации должно содержать:

- наименование заказчика, юридический статус и его реквизиты;
- основание для проектирования;
- месторасположение проектируемого объекта;
- площадь объекта, га;
- вид строительства;

- основные требования к проекту;
- стадийность проектирования;
- требования к вариантной разработке;
- требования и условия разработки природоохранных мероприятий;
- срок начала и окончания строительства;
- способ (метод) строительства;
- наименование подрядной организации;
- источник финансирования на разработку проектной документации;
- срок сдачи проекта.

Техническое задание на разработку проекта утверждается заказчиком.

Объект, законченный строительством в соответствии с утверждённой проектной документацией, должен быть представлен заказчиком к приёмке специально создаваемой приёмочной комиссии.

Для снижения переноса взвешенных веществ по проводящей сети рекомендуется использование шлюзов-регуляторов, для осушительной сети – регуляторы трубчатые, являющиеся наиболее распространенными гидротехническими сооружениями, обеспечивающими регулирование уровня, расхода воды и изменение скоростей движения воды.

Возможно использование следующих типовых шлюзов-регуляторов, рассчитанных на пропуск максимальных расходов до 150 м<sup>3</sup>/с: от ШР 2-5,5 (Г-4, 5) до ШР 3,5 – 5,5-3 (Г-8). Рабочий напор для этих шлюзов колеблется от 1 до 3,5 м, причем подавляющее большинство рассчитано на перепад уровней 1-2 м. Для пропуска расходов, превышающих 150 м<sup>3</sup>/с, возможно использование шлюзов-регуляторов следующих модификаций: ШРп 3,5–3х5,5–5 до ШРп 3,5–5х5,5-6.

В целях снижения величины взвешенных наносов на осушительной сети возможно использование трубчатых регуляторов следующих модификаций: от РТК 6-0-18 до РТК 2-14-10-27.

Для осаждения взвешенных наносов используются отстойники различного типа, представляющие собой обычно расширенную и углубленную часть канала.

Разработка регламента работы гидротехнических сооружений по снижению содержания взвешенных наносов в водотоках осуществляется на использовании закономерности распределения содержания наносов по глубине [18].

Взвешенные наносы со средним размером частиц (от 0,03-0,15 мм до 0,15-0,20 мм) в большем количестве перемешаются у дна и в меньшем – у поверхности воды, более крупные частицы движутся преимущественно у дна.

В расчётах движение взвешенных веществ в составе водного потока обычно определяют по величине его транспортирующей способности, т.е. по его способности перемещать взвешенные наносы.

Транспортирующая способность канала  $p$ , г/м<sup>3</sup> определяется по формулам:

- при  $2 < W < 8$  мм/с

$$p = 700 \cdot \left( \frac{v}{W} \right)^3 \sqrt{R \cdot i}; \quad (5.1)$$



- при  $0,4 < W < 2$  мм/с

$$p = 350 \cdot v \sqrt{\frac{R \cdot i \cdot v}{W}}, \quad (5.2)$$

где  $W$  – гидравлическая крупность частиц среднего диаметра, принимается по таблице 5.1;  $v$  – скорость течения воды в канале, м/с;  $R$  – гидравлический радиус канала, м;  $i$  – уклон дна канала.

Таблица 5.1 – Соотношение размера взвешенных частиц  $d$ , мм, и гидравлической крупности частиц  $W$ , мм/с

$d$ , мм	$W$ , мм/с	$d$ , мм	$W$ , мм/с
0,005	0,0175	0,09	5,61
0,01	0,0692	0,10	6,92
0,02	0,277	0,125	10,81
0,03	0,623	0,150	15,60
0,04	1,11	0,175	18,90
0,05	1,73	0,20	21,60
0,06	2,49	0,225	24,30
0,07	3,39	0,25	27,00
0,08	4,43	0,275	29,90

Выполняются расчеты для построения графиков зависимости между крупностью взвешенных частиц (мм) и транспортирующей способностью водотока. При увеличении диаметра частиц транспортирующая способность потока снижается не пропорционально (увеличение диаметра частиц от 0,005 мм до 0,05 мм влечёт за собой уменьшение транспортирующей способности потока в 10 раз, увеличение до 0,1 мм – в 20 раз, и увеличение до 0,2 мм – в 35,6 раза).

На основании проведенных расчетов для заданных значений  $d$  и  $p$  определяется допустимая скорость течения воды в водотоке, обеспечивающая снижение концентрации взвешенных веществ ниже регулирующих гидротехнических сооружений.

**Задание.** Определить параметры устройства по снижению взвешенных и влекомых наносов. В качестве регулирующего сооружения принять углубление и уширение канала. Размеры заглубленной части принять исходя из накопления наносов в период весеннего половодья. Размер уширения принять исходя из допустимой транспортирующей способности канала.

Пояснения к выполнению расчета: скорость и расход воды в канале выполнялись с использованием уравнения Шези; размеры уширенной части канала принять исходя из соотношения ширины к длине участка равной 3, при этом углубленную часть не учитывать при расчете снижения транспортирующей способности.

Уравнение Шези

$$v = C \sqrt{R \cdot i}, \quad (5.3)$$

где  $C$  – коэффициент Шези вычисляемый по формуле,

$$C = \frac{1}{n} + 17,72 \lg R \quad (5.4)$$

где  $n$  – коэффициент шероховатости русла.

Таблица 5.2 – Исходные данные к выполнению лабораторной работы

№ варианта	Уклон	Параметры канала				Средний диаметр частиц, мм	Допустимая транспортирующая способность, г/м <sup>3</sup>	Расчетная продолжительность весеннего половодья, мес.	Периодичность обслуживания канала, лет
		ширина, м	глубина, м	заложение откосов	коэффициент шероховатости русла				
1	0,001111	0,6	1,2	2	0,025	0,03	4	1	10
2	0,001333	0,8	1,1	2,5	0,032	0,04	2	1,5	11
3	0,001378	0,6	1,4	3	0,025	0,05	4	1,2	12
4	0,001778	0,8	1,5	3	0,03	0,06	0,5	1,6	5
5	0,001111	4	1,4	2	0,025	0,07	0,4	1,7	10
6	0,000889	0,8	1,2	2,5	0,032	0,03	2,5	1,2	11
7	0,001333	0,6	1,1	3	0,025	0,04	2,5	1,6	15
8	0,001	0,8	1,4	2	0,032	0,05	1	1,7	20
9	0,001778	0,6	1,2	2,5	0,025	0,06	1,9	1,1	15
10	0,001667	0,8	1,1	3	0,032	0,07	0,2	1,2	50
11	0,000889	0,8	1,8	3	0,021	0,06	0,5	1,2	5
12	0,001778	1	1,6	3	0,022	0,07	0,4	1,2	9

Расход канала, м<sup>3</sup>/с определяется

$$Q = v \cdot \omega = v \cdot (b \cdot h + m \cdot h^2) \quad (5.5)$$

где  $\omega$  – живое сечение потока, м<sup>2</sup>;  $b$  – ширина канала, м;  $h$  – глубина канала, м;  $m$  – заложение откосов.

В свою очередь гидравлический радиус  $R$ , м определится по формуле

$$R = \frac{b \cdot h + m \cdot h^2}{b + 2 \cdot h \sqrt{1 + m^2}} \quad (5.6)$$

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

### Водопользование на атомных электростанциях

*Цель работы:*

1. Ознакомиться с классификацией систем технического водоснабжения АЭС;
2. Изучить показатели эффективности запроектированной системы водоснабжения;
3. Детально описать одну из схем технического водоснабжения в соответствии с заданием преподавателя.

*Основные сведения:*

На атомных электростанциях применяются различные системы водоснабжения. Для правильного восприятия и применения одной из многих систем необходима их классификация. При классификации охлаждающих систем технического водоснабжения учитываются следующие критерии:

- кратность использования воды;
- наличие (отсутствие) отвода нагретой воды из системы охлаждения;
- наличие (отсутствие) водоподпорных сооружений;
- использование подпиточной воды;
- наличие (отсутствие) контакта охлаждаемой воды с атмосферным воздухом.

Охлаждающие системы технического водоснабжения АЭС в зависимости от кратности использования воды подразделяются на:

- оборотные;
- с повторным использованием воды;
- прямоточные;
- комбинированные.

Охлаждающие оборотные системы технического водоснабжения АЭС в зависимости от использования для охлаждения различных типов охладителей подразделяются на:

- оборотные с брызгальными бассейнами (сооружение для охлаждения воды путем разбрызгивания ее в атмосферном воздухе)
- оборотные с градирнями (сооружение, применяемое для охлаждения воды путем передачи тепла воздуху при его циркуляции через внутреннее пространство градирни);
- оборотные с водоемами-охладителями;
- оборотные комбинированные.

Водоемы-охладители, используемые в охлаждающих системах технического водоснабжения АЭС, в зависимости от типа водного объекта, где они организованы и схемы их использования, подразделяются на:

- русловые;
- отсечные;
- наливные;
- озерные.

Градирни, используемые в охлаждающих системах технического водоснабжения АЭС, по наличию контакта воды с охлаждающим воздухом подразделяются на: испарительные и радиаторные (сухие).

Испарительные градирни по конструкции подразделяются на:

- башенные;
- открытые;
- вентиляторные;
- эжекторные.

Радиаторные градирни по конструкции подразделяются на: башенные и вентиляторные.

Охлаждающие оборотные системы технического водоснабжения АЭС в зависимости от наличия или отсутствия контакта охлаждающей воды с атмосферным воздухом подразделяются на: открытые и закрытые.

Охлаждающие системы технического водоснабжения АЭС, предназначенные для отвода тепла, не использованного для производства электрической и тепловой энергии, от оборудования блока АЭС, представляют собой совокупность гидротехнических сооружений, насосных станций, трубопроводов и теплообменного оборудования блока АЭС, сетей и сооружений, обеспечивающих подачу, аккумулярование, распределение и отвод воды на охлаждение.

Конкретный состав элементов охлаждающей системы технического водоснабжения устанавливается проектом АЭС. Описание и принципиальные схемы:

- Водосем-охладитель руслового типа образуется с помощью водоподпорного сооружения на реке. Водоем-охладитель может быть оснащен струенаправляющей дамбой для равномерного распределения нагретой воды по акватории и струераспределительной дамбой для повышения охлаждающей способности воды. Режим регулирования водоема-охладителя – сезонный. Подпитка водоема-охладителя осуществляется за счет речного стока (рис. 1).

- Водоем-охладитель озерного типа представляет собой зарегулированную систему из озер. Для регулирования уровня воды в озерах предназначено водоподпорное сооружение на реке, вытекающей из озера. Подпитка водоема-охладителя осуществляется впадающими в озеро ручьями (рис. 2).

- Водоем-охладитель отсечного типа образуется путем отсечения мелководной части водохранилища ограждающими дамбами. Водоем-охладитель оснащен струенаправляющей дамбой – для равномерного распределения нагретой воды по акватории. Режим регулирования водоема-охладителя – поверхностный водосброс. Подпитка водоема-охладителя осуществляется насосами подпитки (рис. 3).

- Водоем-охладитель наливного типа – искусственный водный объект – образуется поверхностным забором воды из реки (аванкамера). Для регулирования водоема-охладителя используется сифонный водосброс, и (или) система продувки и (или) перепускной шлюз. Водоем-охладитель оснащен струенаправляющей дамбой для равномерного распределения нагретой воды по акватории и (или) струераспределительной дамбой. Подпитка водоема-охладителя осуществляется насосами подпиточной воды (рис. 4).

- Водоем-охладитель может быть образован в русле водотока. Подпитка системы происходит из водоема-охладителя. Техническая вода проходит через теплообменное оборудование АЭС, нагревается и затем охлаждается в испарительных или радиаторных (сухих) градирнях (рис. 5).

• Подпитка системы осуществляется из реки. Техническая вода проходит через теплообменное оборудование АЭС, нагревается и затем охлаждается в испарительных градирнях и брызгальных бассейнах (рис. 6).

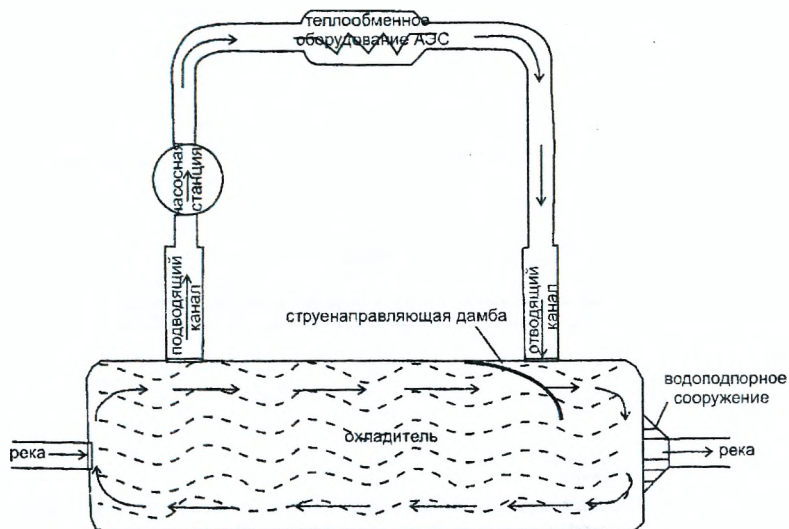


Рисунок 1 – Принципиальная схема охлаждающей оборотной системы технического водоснабжения с водоемом-охладителем руслового типа

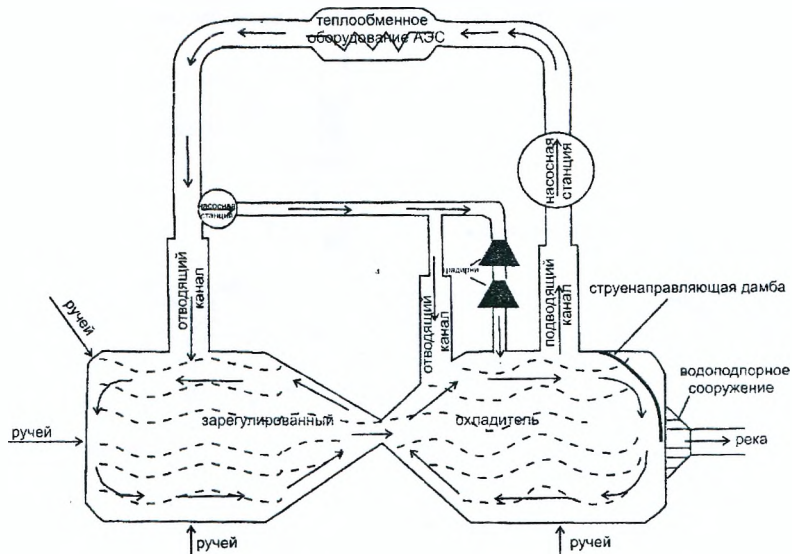
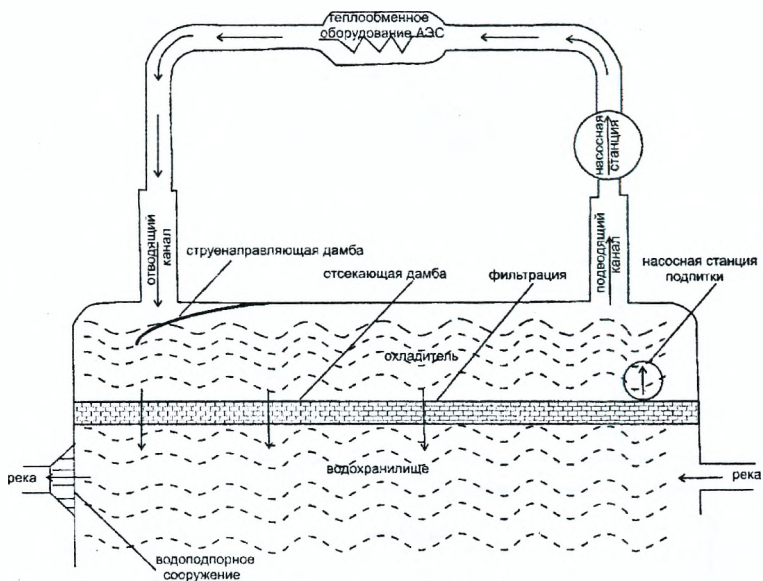
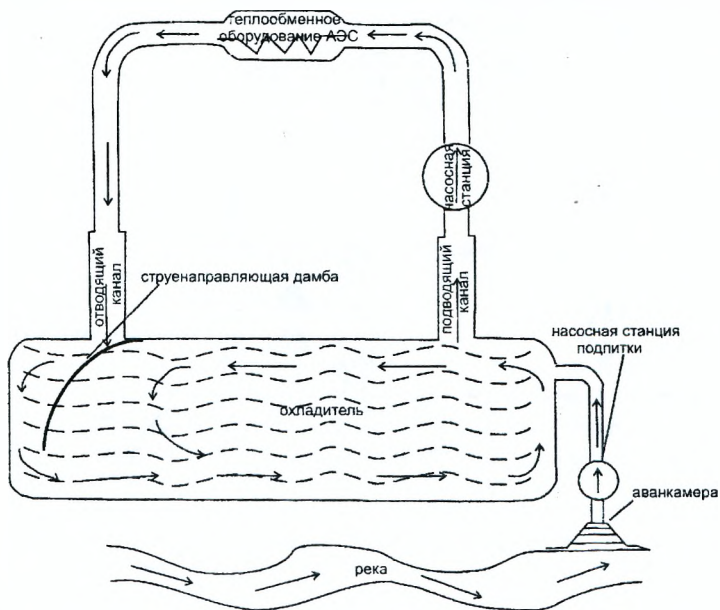


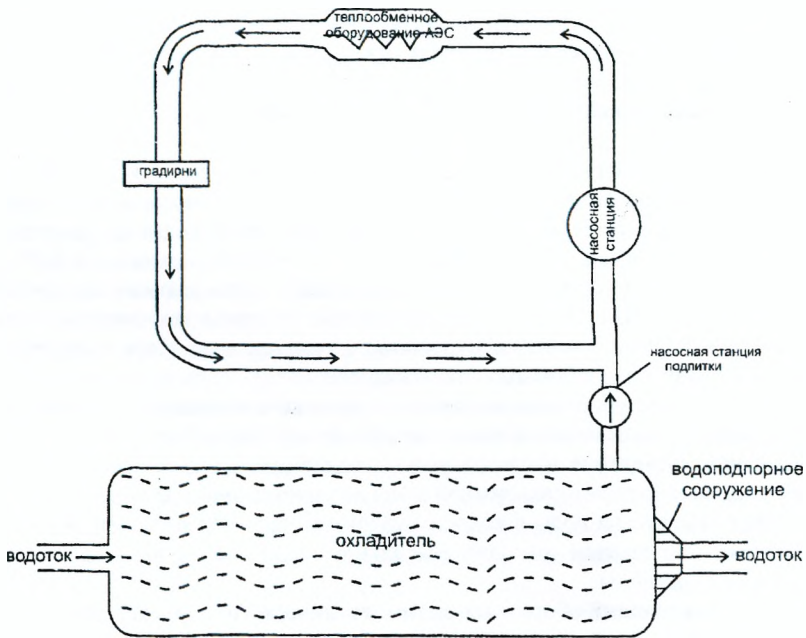
Рисунок 2 – Принципиальная схема охлаждающей оборотной системы технического водоснабжения с водоемом-охладителем озерного типа



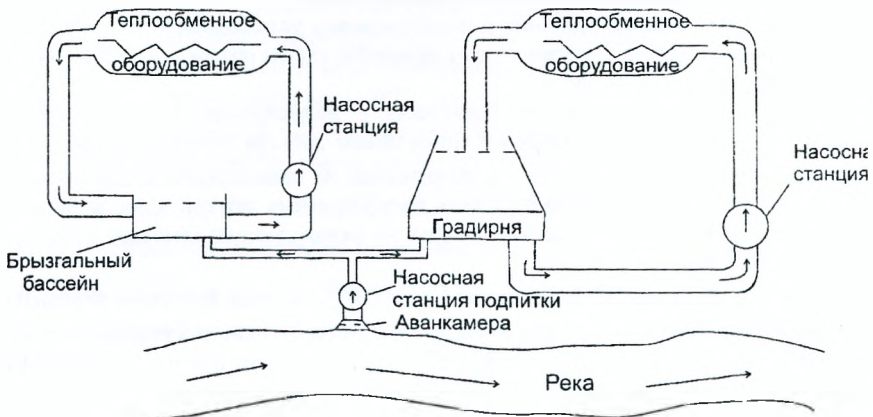
**Рисунок 3 – Принципиальная схема охлаждающей оборотной системы технического водоснабжения с водоемом-охладителем отсечного типа**



**Рисунок 4 – Принципиальная схема охлаждающей оборотной системы технического водоснабжения с водоемом-охладителем наливного типа**



**Рисунок 5 – Принципиальная схема охлаждающей оборотной системы технического водоснабжения с водоемом-охладителем и градирнями**



**Рисунок 6 – Принципиальная схема охлаждающей оборотной системы технического водоснабжения с испарительными градирнями, брызгальными бассейнами и подпиткой из реки, без водоема-охладителя**

Выбор источника и схемы охлаждающей системы технического водоснабжения АЭС осуществляется при проектировании и обосновывается в проекте АЭС. Выбор типа водоема-охладителя производится на основании технико-экономических расчетов в зависимости от технологических требований к температуре охлаждающей воды и природно-климатических условий площадки размещения АЭС.

При проектировании охлаждающих систем технического водоснабжения АЭС руководствуются принципом сочетания рационального использования водных ресурсов и их охраны, с учетом обеспеченности водными ресурсами, потребности в них и состояния водных объектов в регионе размещения АЭС.

Не допускается проектирование прямоточных охлаждающих систем технического водоснабжения АЭС. Охлаждающие системы технического водоснабжения АЭС проектируют оборотными, с охлаждением воды в градирнях, водоемах-охладителях и брызгальных бассейнах.

Охлаждающие оборотные системы технического водоснабжения проектируют с многократным использованием охлаждающей воды с ее промежуточным охлаждением. Отведение нагретой воды в водоем-охладитель производится с последующим изъятием охлажденной воды на технологические нужды АЭС.

Перед отведением воды в водоем-охладитель нагретая вода при необходимости может подаваться для дополнительного охлаждения на градирни или брызгальные бассейны.

Для охлаждающих оборотных систем технического водоснабжения характерно добавление подпиточной воды для восполнения безвозвратных потерь. Расход воды на подпитку охлаждающих оборотных систем технического водоснабжения определяется на основании расчетов и проектирования охлаждающих оборотных систем технического водоснабжения.

Нормативы водопотребления и водоотведения устанавливаются на стадии проектирования АЭС в зависимости от принятой схемы охлаждающей системы технического водоснабжения.

Для охлаждающих систем технического водоснабжения с водоемами-охладителями руслового и озерного типов объем добычи (изъятия) воды  $W_{\text{от}}$ , в метрах кубических, указываемый в разрешении на специальное водопользование, рассчитывается как сумма объема безвозвратных потерь воды и объема изъятия воды на технологические нужды из охлаждающей системы технического водоснабжения.

При расчете безвозвратных потерь воды  $W_{\text{от}}^{\text{ан}}$ , м<sup>3</sup>, для водоемов-охладителей руслового и озерного типов учитываются потери воды на естественное испарение, определяемое согласно ТКП 17.10-27, и дополнительное испарение с зеркала водоема-охладителя, возникающее при отведении нагретой воды, а также потери воды на фильтрацию.

Для водоемов-охладителей озерного типа дополнительные потери воды на естественное испарение принимаются с учетом увеличения площади водной поверхности водоема-охладителя в результате строительства водоподпорного сооружения.



Для водоемов-охладителей руслового типа дополнительные потери воды на естественное испарение определяются как разность испарения с водной поверхности и испарения с суши в пределах площади построенного водоема-охладителя.

Для охлаждающих систем технического водоснабжения, которые используют для охлаждения водоемы-охладители отсечного типа, объем добычи (изъятия) воды  $W_{ox}$ , м<sup>3</sup>, указываемый в разрешении на специальное водопользование, рассчитывается как сумма объема изъятия воды на технологические нужды из охлаждающей оборотной системы технического водоснабжения, объема фильтрации воды через ограждающую дамбу и ложе отсечной части водного объекта, объема для восполнения безвозвратных потерь в охлаждающей оборотной системе технического водоснабжения, а также объема потерь воды на естественное и дополнительное испарение с отсечной части водного объекта.

Для охлаждающих систем технического водоснабжения, которые используют для охлаждения водоемы-охладители наливного типа, объем добычи (изъятия) воды  $W_{ox}$ , м<sup>3</sup>, указываемый в разрешении на специальное водопользование, рассчитывается как сумма объема изъятия воды на технологические нужды из охлаждающей системы технического водоснабжения, объема фильтрации воды в водоеме-охладителе, объема воды для восполнения безвозвратных потерь в охлаждающей системе технического водоснабжения, а также естественное и дополнительное испарение со всей площади наливного водоема-охладителя.

Для охлаждающих систем технического водоснабжения, которые используют для охлаждения испарительные градирни и брызгальные бассейны, объем добычи (изъятия) воды  $W_{ox}$ , м<sup>3</sup>, указываемый в разрешении на специальное водопользование, рассчитывается как сумма объема подпиточной воды, необходимой для восполнения безвозвратных потерь в охлаждающей системе технического водоснабжения, и объема изъятия воды на технологические нужды.

Безвозвратные потери воды  $W_{ox}^{bn}$ , складываются из объема потерь воды на испарение и капельный унос с градирен и брызгальных бассейнов и объема подпиточной воды, необходимой для восполнения потерь воды на продувку:

$$W_{ox}^{bn} = W_{ox}^u + W_{ox}^{ky} + W_{ox}^{np} \quad (6.1)$$

где  $W_{ox}^u$  – объем потерь воды на испарение, м<sup>3</sup>;  $W_{ox}^{ky}$  – объем потерь воды за счет капельного уноса, м<sup>3</sup>;  $W_{ox}^{np}$  – объем продувочной воды м<sup>3</sup>.

Эффективность использования воды оценивается тремя показателями в совокупности:

- коэффициентом использования оборотной воды;
- коэффициентом использования воды из водных объектов (водных ресурсов);
- коэффициентом безвозвратных потерь воды.

С помощью коэффициента использования оборотной воды  $K_{об}$  оценивается техническое совершенство охлаждающей системы технического водоснабжения.

Коэффициент использования оборотной воды  $K_{об}$ , %, вычисляется по формуле:

$$K_{об} = \frac{W_{об}^{об}}{W_{об}^{об} + W_{об}} \cdot 100 \quad (6.2)$$

где  $W_{об}^{об}$  – объем оборотной воды за 1 год, м<sup>3</sup>;

$W_{об}$  – объем изъятной воды за 1 год, м<sup>3</sup>.

Коэффициент использования оборотной воды показывает в процентном соотношении количество оборотной воды в общем объеме водопотребления.

С помощью коэффициента использования воды из водных объектов (водных ресурсов)  $K_{и}$  оценивается рациональность использования изъятной воды. Коэффициент использования воды из водных объектов (водных ресурсов)  $K_{и}$ , %, вычисляется по формуле

$$K_{и} = \frac{W_{об} - W_{об}^{см}}{W_{об}} \cdot 100 \quad (6.3)$$

где  $W_{об}^{см}$  – объем сточной воды, отводимой в водный объект, за 1 год, м<sup>3</sup>.

Коэффициент безвозвратных потерь воды  $K_{ном}$ , в процентах, вычисляется по формуле:

$$K_{ном} = \frac{W_{об} - W_{об}^{см}}{W_{об} + W_{об}^{об}} \cdot 100 \quad (6.4)$$

Коэффициент безвозвратных потерь воды показывает в процентном соотношении потери воды в общем объеме водопотребления.

Коэффициент использования оборотной воды и коэффициент использования воды из водных объектов (водных ресурсов) используются при выборе и обосновании схемы охлаждающей системы технического водоснабжения АЭС.

Чем ближе  $K_{и}$ ,  $K_{об}$  к 100%, тем совершеннее охлаждающая система технического водоснабжения.

При выборе схемы охлаждающей системы технического водоснабжения коэффициенты сравниваются попарно. Выбирается та схема охлаждающей системы технического водоснабжения, у которой оба коэффициента больше. Коэффициент безвозвратных потерь воды является дополнительным и используется при выборе схемы охлаждающей системы технического водоснабжения АЭС, если один из коэффициентов больше, а второй меньше. Чем  $K_{ном}$  ближе к 0%, тем совершеннее охлаждающая система технического водоснабжения.

## Литература

1. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006 г., Том 4, Сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования, Часть 2.
2. Киотский протокол к Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата
3. Региональное руководство БАСРЕК по процедурам совместного осуществления в регионе Балтийского моря
4. ТКП 17.09-01-2011 (02120). Охрана окружающей среды и природопользование. Климат. Выбросы и поглощение парниковых газов. Правила расчета выбросов за счет внедрения мероприятий по энергосбережению, возобновляемых источников энергии. – Введ. 2011–09–05. – Мн.: Минприроды, 2011. – 27 с.
5. Бамбалов, Н.Н. Баланс органического вещества торфяных почв и методы его изучения. – Мн.: Наука и техника, 1984. – 176 с.
6. Loftfield N., Flessa H., Augustin J., Beese F. 1997. Automated gas chromatographic system for rapid analysis of atmospheric trace gases: methane, carbon dioxide and nitrous oxide. *Journal of Environmental Quality*, 26:560-564. (Автоматическая газ хроматографическая система для быстрого анализа атмосферного следа газов: метана, диоксида углерода и закиси азота).
7. Семенский, Е.П. Технический анализ торфа. – М., 1966.
8. ТКП 17.09-02-2011 (02120). Охрана окружающей среды и природопользование. Климат. Правила расчета выбросов и поглощения от естественных болотных экосистем, осушенных торфяных почв, выработанных и разрабатываемых торфяных месторождений. – Введ. 2011–09–05. – Мн.: Минприроды, 2011. – 17 с.
9. Методические указания по поискам и разведке озерных месторождений сапропелей БССР. – Мн.: Наука и техника, 1986.
10. Пидопличко, А.П. Озерные отложения Белорусской ССР (генезис, стратиграфия и некоторые качественные особенности). – Мн.: Наука и техника, 1975.
11. Лиштван, И.И. Промышленно-генетическая классификация сапропелей БССР / И.И. Лиштван, М.З. Лопотко, С.В. Богданов // История озер в СССР: тез. докл. VI Всесоюз. совещания / АН ЭССР, ин-т геологии; под ред. А.В. Раукаса, Л.А. Саарсе. Таллин: АН ЭССР, 1983. Т. 2. – 114-115 с.
12. Лапотко, М.З., Евдокимова Г.А. Сапропели и продукты на их основе / Под ред. Н.В. Кислова. – Мн.: Наука и техника, 1986.
13. Семенский, Е.П. Технический анализ торфа. – М., 1966.
14. Отчет по НИР «Разработать методы оценки поглощения и эмиссии диоксида углерода болотными экосистемами». – Мн.: ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси», 2009. – 130 с.
15. Инструкция по использованию сапропелевых лечебных грязей для оздоровления и санаторно-курортного лечения. – Мн., 2008.
16. ТКП 17.09-03-2011 (02120). Охрана окружающей среды и природопользование. Климат. Выбросы и поглощение парниковых газов. Правила расчета поглощения озерными экосистемами. – Введ. 2011–09–05. – Мн.: Минприроды, 2011. – 8 с.
17. ТКП 17.09-04-2011 (02120). Охрана окружающей среды и природопользование. Климат. Выбросы и поглощение парниковых газов. Правила расчета выбросов при торфяных пожарах. – Введ. 2011–09–05. – Мн.: Минприроды, 2011. – 8 с.
18. Замарин, Е.А. Транспортирующая способность и допускаемые скорости течения в каналах / Е.А. Замарин. – М.-Л.: Госстройиздат, 1951. – 83 с.

Учебное издание

Составители: Шешко Николай Николаевич  
Шпендик Наталья Николаевна

**Методические указания**  
по выполнению лабораторных работ  
по курсу  
**“Основы природопользования”**  
для студентов специальности  
1 – 33 01 07 «Природоохранная деятельность»  
Часть II

Текст печатается в авторской редакции

Ответственный за выпуск: Шешко Н.Н.

Редактор: Боровикова Е.А.

Компьютерная вёрстка: Кармаш Е.Л.

---

Подписано к печати 04.03.2015 г. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Уч. изд. л. 2,25.  
Усл. п. л. 2,1. Тираж **50** экз. Заказ № **263**. Отпечатано на ризографе учреждения  
образования «Брестский государственный технический университет».  
224017, Брест, ул. Московская, 267.