

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г.ШУХОВА»  
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

СОГЛАСОВАНО  
Директор института магистратуры

« 17 »



УТВЕРЖДАЮ  
Директор института

2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
**дисциплины (модуля)**

**Математическое планирование эксперимента**

направление подготовки (специальность):

**20.04.01 Техносферная безопасность**

Направленность программы (профиль, специализация):

**Безопасность технологических процессов и производств**

**Промышленная экология и рациональное использование природных ресурсов**

Квалификация

**магистр**

Форма обучения

**очная**


**Институт: Химико-технологический**

**Кафедра: Безопасности жизнедеятельности**


Белгород 2021

Программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки – 20.04.01 Техносферная безопасность, утвержденного Министерством науки и высшего образования Российской Федерации № 678 от 25.05.2020 г.
- плана учебного процесса БГТУ им. В.Г. Шухова, по направлению подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность, введенного в действие в 2021 году.


Составитель (составители) д.т.н., профессор  А.Н. Лопанов  
к.т.н., доцент И.В. Прушковский

Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой  
Безопасности жизнедеятельности

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор  (А.Н. Лопанов)  
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

« 14 » 05 2021 г., протокол № 7


Промышленной экологии

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор  (С.В. Свергузова)  
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

« 14 » 05 2021 г.

Рабочая программа одобрена методической комиссией института

« 15 » 05 2021 г., протокол № 9

Председатель к.т.н., доцент  (Л.А. Порожняк)  
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

## 1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Категория (группа) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине
Системное и критическое мышление	ПК-3 способен выполнять моделирование, проводить экспертизу безопасности и разрабатывать рекомендации по повышению уровня безопасности опасных технологических процессов и в среде обитания	ПК-3.3. Имеет опыт работы в коллективе при выполнении научных исследований и экспериментов	<p><b>Знать:</b> основные вопросы математического планирования эксперимента при выполнении научных исследований</p> <p><b>Уметь:</b> использовать научную методологию, основные ценностно-смысловые ориентиры планирования эксперимента на практике, в системе производства и потребления для оценки и анализа качества окружающей и производственной среды</p> <p><b>Владеть:</b> культурой безопасности и рискориентированным мышлением по повышению уровня безопасности опасных технологических процессов и в среде обитания</p>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

### 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

ПК-3 способен выполнять моделирование, проводить экспертизу безопасности и разрабатывать рекомендации по повышению уровня безопасности опасных технологических процессов и в среде обитания

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами:

Стадия	Наименования дисциплины
1.	Расчет и проектирование систем обеспечения безопасности
2.	Теория надежности в технологических процессах и производствах
3.	Моделирование природоохранных процессов
4.	Математическое планирование эксперимента
5.	Моделирование технологических процессов и производств по показателям безопасности
6.	Мониторинг и аналитический контроль качества окружающей среды
7.	Экспертиза и аудит систем управления промышленной безопасностью и охраной труда
8.	Производственная научно-исследовательская работа

### 3 ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зач. единиц, 108 часов.

Форма промежуточной аттестации зачет

Дисциплина реализуется в рамках практической подготовки

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр № 2
Общая трудоемкость дисциплины, час	108	108
<b>Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:</b>	53	53
лекции	17	17
лабораторные	-	-
практические	34	34
групповые консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации	2	2
<b>Самостоятельная работа студентов, в том числе:</b>	55	55
Курсовой проект	-	-
Курсовая работа	-	-
Расчетно-графическое задания	-	-
Индивидуальное домашнее задание	9	9
Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям (лекции, практические занятия, лабораторные занятия)	36	36
Форма промежуточная аттестация (зачет, экзамен)		зачет

### 4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 4.1 Наименование тем, их содержание и объем

##### Курс 1 Семестр 2

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
<b>1. Методы планирования эксперимента</b>					
	Задача курса. Общие вопросы планирования и организации эксперимента. Основные термины и определения: факторы, функции отклика, матрица планирования экспериментов, полный факторный эксперимент, рандомизация, дисперсия, уровень значимости. Методы планирования экстремальных экспериментов. Обработка результатов эксперимента: проверка однородности дисперсии воспроизводимости, оценка значимости	10	19	-	30

	коэффициентов регрессии, оценка адекватности математической модели.				
<b>2. Методы оптимизации эксперимента</b>					
	Планы второго порядка. Композиционные планы. Ортогональные центральные композиционные планы. Рототабельные центральные композиционные планы. Методы оптимизации многофакторных объектов. Метод Гаусса-Зейделя. Метод случайного поиска. Метод градиента. Метод крутого восхождения (Метод Бокса – Уилсона).	7	15	-	25
	<b>ВСЕГО</b>	<b>17</b>	<b>34</b>		<b>55</b>

#### 4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	К-во практ. часов	К-во часов СРС
<b>семестр № 2</b>				
1	Методы планирования эксперимента	Методы оценки гипотез. Решение задач.	3	5
		Дисперсионный анализ. Решение задач.	3	5
		Корреляционный анализ. Решение задач	3	4
		Планы первого порядка. Полный факторный эксперимент ПФЭ 2п. Обработка результатов эксперимента. Решение задач.	4	6
		Дробный факторный эксперимент. Решение задач.	3	5
		Планирование в условиях временного дрейфа. Решение задач.	3	6
		Планы второго порядка. Ортогональные планы второго порядка. Решение задач.	3	5
		Рототабельные планы второго порядка. Решение задач.	2	4
		Принятие решений по планам второго порядка. Решение задач. Контрольная аттестация.	2	6
2	Методы оптимизации эксперимента	Оптимизация. Метод крутого восхождения. Принятие решений после крутого восхождения. Решение задач.	4	6
		Канонический анализ поверхности отклика. Решение задач. Контрольная аттестация.	2	5
<b>ИТОГО :</b>			<b>34</b>	<b>34</b>
<b>ВСЕГО:</b>			<b>34</b>	<b>34</b>

## 4.4. Содержание курсового проекта/работы

Не предусмотрено учебным планом.

## 4.5. Содержание расчетно-графического задания, индивидуальных домашних заданий

### Задания к ИДЗ

#### Тема1. Моделирование процессов сложных экологических систем

##### Оптимизация очистки водных растворов по математической модели

В процессе выполнения данного задания необходимо получить математическую модель процесса очистки воды от соединений ртути; найти оптимальные параметры процесса, при которых содержание ртути в сбросах минимально.

##### Основные понятия

Построение математических моделей технологических процессов природных явлений основано на использовании специальных методов планирования эксперимента. Планирование эксперимента – это управление процессом, явлениями при неполном знании механизма явления процесса.

Планирование эксперимента рассматривают как одно из направлений кибернетики, основные идеи которой сформулированы в работах английского математика Рональда Фишера в 1930-1935 гг. и развиты в 1950-1957 гг. Боксом, Уилсоном и Хантером.

Методы планирования эксперимента базируются на получении математической модели в виде полинома.

$$y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ij} x_i x_j + \sum b_{ii} x_i^2 + \dots$$

где  $b_0$ ,  $b_i$ ,  $b_{ij}$ ,  $b_{ii}$  – коэффициенты полинома;  $x$  – факторы, влияющие на процесс, явление (например, давление, температура и т.д.);  $y$  – переменная состояния объекта исследования.

Наиболее простой вид имеет линейный полином уравнения:

$$y = B_0 + B_1 x_1 + B_2 x_2 + \dots + B_n x_n$$

Линейный полином получают при помощи специальной установки эксперимента по определенному плану, представленному в виде матрицы планирования эксперимента.

Уровнем фактора называют значение параметра, которое фиксируется и изменяется при проведении процесса, например,  $x_1$  – температура, 60°C, 80°C;  $x_2$  – время 100 с, 140 с.

Средние значения уровней факторов называются нулевыми уровнями  $X_{i_0}$  ( $X_{1_0} = 70^\circ\text{C}$ ,  $X_{2_0} = 120^\circ\text{C}$ ).

Значение фактора, прибавление которого к нулевому уровню дает верхний уровень, а вычитание – нижний уровень, называют интервалом варьирования  $\Delta X_i$  ( $\Delta X_1 = 10^\circ\text{C}$ ,  $\Delta X_2 = 20\text{c}$ )

Область определения факторов – это их нижние и верхние уровни.

Каждую точку факторного пространства изображают в кодированной форме:

$$x = \frac{x_i - x_{oi}}{\Delta x};$$
$$x_{\theta(n)} = (x_i - x_{oi}) / x$$
$$x_{1_+} = \frac{80 - 70}{10} = +1$$
$$x_{1_-} = \frac{60 - 70}{10} = -1$$
$$x_{2_+} = \frac{140 - 120}{20} = +1$$
$$x_{2_-} = \frac{100 - 120}{20} = -1$$

Эксперимент, в котором реализованы все сочетания факторов на нижних и верхних уровнях, называют полным факторным экспериментом (ПФЭ). Если каждый фактор варьируется на двух уровнях, то получается ПФЭ типа  $2^n$ . Для двух факторов ( $n=2$ ) число опытов  $N=2^2=4$ .

План, содержащий запись всех комбинаций факторов кодированной формы, называют матрицей планирования. В матрице планирования сочетание первого фактора на двух уровнях (+1, -1) повторяют для каждого следующего фактора на верхнем и нижнем уровне. Фактор  $x_0$  является фиктивной переменной.

Использование фактора  $x_0$  делает расчеты коэффициентов модели более общими.

Основное преимущество факторного эксперимента заключается в одновременном варьировании всех факторов, что приводит к снижению ошибки в оценке коэффициентов полинома в  $N$  раз ( $N$  – общее число опытов).

Организация матриц планирования ПФЭ  $2^2 \dots 2^4$  показана в табл.3.1.

Таблица 3.1

**Построение матриц проведения эксперимента**

№	Тип эксперимента	Фактор				
		$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$
1	ПФЭ $2^2$	+1	+1	+1	+1	+1
2		+1	-1	+1	+1	+1
3		+1	+1	-1	+1	+1
4		+1	-1	-1	+1	+1
5	ПФЭ $2^3$	+1	+1	+1	-1	+1
6		+1	-1	+1	-1	+1
7		+1	+1	-1	-1	+1
8		+1	-1	-1	-1	+1
9	ПФЭ $2^4$	+1	+1	+1	+1	-1
10		+1	-1	+1	+1	-1
11		+1	+1	-1	+1	-1
12		+1	-1	-1	+1	-1
13		+1	+1	+1	-1	-1
14		+1	-1	+1	-1	-1
15		+1	+1	-1	-1	-1
16		+1	-1	-1	-1	-1

Формально прием построения матрицы планирования сводится к методу чередования знаков уровней.

Проведение факторного эксперимента осуществляют по следующему алгоритму:

- строят матрицу планирования;
- ставят опыты в соответствии с планом матрицы;
- рассчитывают коэффициенты линейного полинома (уравнение регрессии);
- рассчитывают ошибку опыта;
- проверяют значимость коэффициентов регрессии;
- находят оптимальное решение процесса.

Коэффициенты уравнения регрессии в линейной форме рассчитывают по формуле:

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N x_{iu} \overline{y_u} \quad (i=1,2,\dots,n), \quad (3.4)$$

где  $\overline{y_u}$  – среднее значение по параллельным опытам  $u$ -й строки матрицы планирования;  $x_i$  – уровень фактора (+1, -1).

$$\overline{y_u} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m y_{uk}, \quad (3.5)$$

где  $m$  – число параллельных опытов.

Формулы (3.4.) и (3.5) можно соединить:

$$b_i = \frac{1}{Nm} \sum_{u=1}^N \sum_{k=1}^m x_{iu} y_{uk}. \quad (3.6)$$

Расчет ошибки опыта оценивают по параллельным опытам:

$$S_u^2 = (1/(m-1)) \sum_{k=1}^m (y_{uk} - \overline{y_u})^2, \quad (3.7)$$

Построчные ошибки опыта  $S$  усредняют:

$$S_o = (1/N) \sum_{u=1}^N S_u^2 \quad (3.8)$$

Для оценки влияния факторов на переменную состояния проводят проверку значимости каждого коэффициента:

- находят дисперсию коэффициентов регрессии:

$$S_{bi}^2 = (S_o^2 / N);$$

т.е. дисперсии всех коэффициентов равны, т.к. зависят только от ошибки опыта  $S_0^2$  и числа строк матрицы планирования  $N$ ;

– определяют параметр  $t_{ip}$

$$t_{ip} = \frac{|b_i|}{S_{bi}}$$

где  $|b_i|$  – абсолютное значение  $i$ -го коэффициента регрессии,  $S_{bi}$  – среднеквадратичное отклонение  $b_i$

– из табл. 3.2 определяют критерий Стьюдента по числу степеней свободы  $f_0$  и уравнению значимости

$$f_0 = N(m-1)$$

– сопоставляют  $t_{ip}$  и  $t_T$ (табл. 3.2).

Таблица 3.2

**Процентные точки распределения Стьюдента при уровне значимости  $q=0.05$**

Показатель	Значение											
Число степеней Свободы, $f_0$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	16	24
Процентные точки, $t_T$	12,7	4,3	3,19	2,78	2,57	2,45	2,36	2,31	2,26	2,23	2,1	2,0

Коэффициент значим при выполнении условия

$$t_{ip} > t_T$$

При выполнении условия значимости коэффициент принимают равным 0.

Пригодность линейного уравнения для решения задачи поиска области оптимума проверяют по критерию Фишера(табл. 3.3). Для этого сравнивают дисперсии средних опытных данных переменной состояния  $y_u$  относительно тех значений переменной состояния  $y_u$ , которые предсказаны полученным линейным уравнением регрессии. Эта дисперсия называется дисперсией адекватности и рассчитывается по формуле:

$$S_{ad}^2 = (m/(N-l)) \sum_{u=1}^N \frac{-}{-2} (y_i - y_i^2),$$

где  $N$  – число строк матрицы планирования;  $l$  – число членов в уравнении регрессии, оставшихся после оценки значимости коэффициента.

Согласно критерия Фишера уравнение адекватно описывает процесс при соблюдении следующего условия:

$$F_p < F_T,$$

где  $F$  – критерий Фишера, найденный из таблиц для степеней свободы (табл. 3.3)  $f_{ad}=N-l$  и  $f_0=N(m-1)$ ;  $F_p$  – расчетное значение критерия:  $F_p = (S_{ad}^2 / S_0^2)$

Таблица 3.3

**Критерий Фишера при уровне значимости  $q=0.05$**

$f_{ад}$	4	5	6
8	2,84	3,69	3,58
16	3,01	2,85	2,74
24	2,78	2,62	2,51

Поиск области оптимума осуществляют методом крутого восхождения. Алгоритм метода крутого восхождения заключается в проведении следующих операций.

1. Выбор базового фактора. Фактор, для которого произведение коэффициента регрессии на интервалах варьирования максимально, называют базовым:  $a = \max (B \cdot X)$ .

2. Для базового фактора выбирают шаг крутого восхождения  $h$ , равный интервалу варьирования  $X_a$ .

3. Пересчитывают составляющие градиента по выбранному шагу крутого восхождения:

$$h = ((B \cdot X) / a) \cdot h_a,$$

4. Округляют шаг крутого восхождения.

5. Организуют поиск оптимальной области путем последовательного прибавления составляющих градиента уравнения регрессии к нулевому уровню. Получают серию значений факторов крутого восхождения. Переводят факторы крутого восхождения в кодированную форму и получают расчетное значение переменной состояния  $Y$ . Через несколько шагов ставят эксперименты, проверяя соответствие расчета и эксперимента.

Стратегия проведения опытов состоит в том, чтобы найти такие шаги, которые увеличивают выходную переменную, а затем ее уменьшают.



Пример. Получено уравнение регрессии следующего вида:

$$Y = 23,28 + 1,78 \cdot X_1 + 10,23 \cdot X_2 + 9,36 \cdot X_3$$

Требуется осуществить поиск максимальных значений параметра  $Y$ . Результаты крутого восхождения приведены в табл.3.4.

Таблица 3.4

Исходные данные и результаты крутого восхождения

Наименование	Фактор			Расчет	
	$X_1$	$X_2$	$X_3$		
Нулевой уровень	0,7	135	30		
Интервал варьирования $X$	0,2	5	15		
Коэффициенты	1,78	10,23	9,36		
Произведение $B \cdot X$	0,356	51,4	140,4		
Пересчет составляющих градиента при $h = 15$	0,038	5,49	15		
Округление шага	0,04	5	15		
Опыт	Крутое восхождение			Переменная состояния	
9	0,74	140	45	43	–
10	0,78	145	60	70	–
11	0,82	150	75	89	67
12	0,86	155	90	109	–
13	0,90	160	105	–	73
14	0,94	165	120	–	68

В табл. 3.4 даны расчетные значения параметра и экспериментальной величины процесса ( $Y$ ).

В качестве примера рассчитаем значение  $Y$  для опыта 9:

$X_1 = 0,74$ : кодированное значение  $X_1 = (0,74 - 0,7)/0,2 = 0,2$ ;

$X_2 = 140$ : кодированное значение  $X_2 = (140 - 135)/5 = 1$ ;

$X_3 = 45$ : кодированное значение  $X_3 = (45 - 30)/15 = 1$

$Y = 23,28 + 1,78 \cdot 0,2 + 10,23 + 9,36 = 43$

Крутое восхождение в данном примере эффективно: в опыте 13 достигнуто максимальное значение параметра.

#### Исходные данные для выполнения работы

В работе необходимо построить математическую модель извлечения ртути из раствора при производстве хлора и щелочи электролизом хлорида натрия на ртутном катоде.

В качестве переменной состояния выбирают показатель «содержание ртути на выходе процесса». Так как раствор электролита сбрасывают в водный бассейн, цель моделирования состоит в установлении таких параметров работы, при которых содержание ртути в растворе минимально. Технологическая схема получения хлора и щелочи изображена на рис.3.1.1.

Процесс очистки раствора осуществляет методом экстракции. Экстракция зависит от скорости вращения мешалки, температуры раствора, времени пребывания раствора в реакторе. Нулевые уровни факторов:

$X_{10} = 2500$  об/мин;

$X_{20} = 100$  °С;

$X_{30} = 45$  мин.

Интервалы варьирования:

$X_1 = 500$  об/мин;

$X_2 = 10$  °С;

$X_3 = 15$  мин.

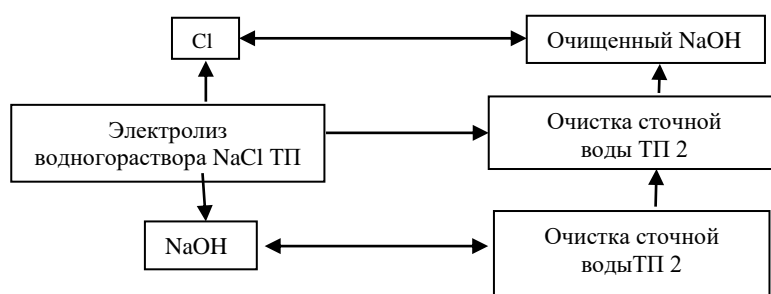


Рис. 3.1. Технологическая схема получения хлора и щелочи электролизом хлорида натрия на ртутном катоде

### Порядок выполнения работы

1. Получить вариант выполнения работы (табл. 3.5).
2. В соответствии с матрицей планирования провести расчет коэффициентов линейного уравнения регрессии.
3. Оценить значимость коэффициентов регрессии.
4. Проверить адекватность уравнения.

## 5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### 5.1. Реализация компетенций

1 ПК-3 способен выполнять моделирование, проводить экспертизу безопасности и разрабатывать рекомендации по повышению уровня безопасности опасных технологических процессов и в среде обитания

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
ПК-3.3. Имеет опыт работы в коллективе при выполнении научных исследований и экспериментов	Собеседование, ИДЗ, зачет

### 5.2. Типовые контрольные задания для промежуточной аттестации

#### 5.2.1. Перечень контрольных вопросов (типовых заданий) для экзамена

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	Методы планирования экспериментов	1. Методы статистического анализа эксперимента
		2. Определение параметров функции распределения
		3. Дисперсионный анализ. Планирование эксперимента при дисперсионном анализе.
		4. Регрессионный анализ в матричной форме. Получение уравнения множественной регрессии.
2	Методы оптимизации эксперимента	5. Оптимизация методом крутого восхождения по поверхности отклика.
		6. Описание области, близкой к экстремуму.
		8. Планирование эксперимента при изучении зависимости свойства от соотношений компонентов
		9. Методы подобия и размерностей.

#### 5.2.2. Перечень контрольных материалов для защиты курсового проекта/ курсовой работы

Не предусмотрено учебным планом.

### 5.3. Типовые контрольные задания (материалы) для текущего контроля в семестре

Результаты обучения, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности проводятся по двум формам контроля: текущей и промежуточной.

**Текущий контроль** осуществляется в течение всего времени изучения дисциплины в виде практических и контрольных работ.

**Практические работы.** Практические работы служат для изучения основных положений законодательства мониторинга безопасности окружающей среды, классификацию видов мониторинга, основных положений экологической экспертизы. Дается представление об основных закономерностях и принципах развития экологических систем; представлены методики и методы контроля безопасного состояния природно-технических систем, специальные методы расчетов количества веществ, поступающих в экологические системы, основы эколого-экономической экспертизы и другие аспекты мониторинга безопасности жизнедеятельности.

Требования к выполнению практической работы определены в методических указаниях из списка основной литературы пункта 6 рабочей программы дисциплины. В практикуме представлен перечень работ, указаны цель и задачи, даны необходимые теоретические и методические указания к работе, варианты контрольных вопросов, выносимых на допуск к выполнению лабораторных работ.

Перед выполнением работы проводится собеседование преподавателя со студентами для определения наличия необходимых знаний. Приметный перечень вопросов представлен ниже в таблице. Результат выполнения работы является основным критерием для получения зачета.

Критерии оценивания практической работы.

Форма оценки	Критерий оценивания
зачтено	Цель, поставленная студенту, выполнена полностью. Решены все задачи, указанные в работе. Студент в полном объеме владеет теоретическим материалом для выполнения работы. Четко знает всю последовательность выполнения работы. Правильно подбирает методику Грамотно и понятно оформляет отчет о проведенной работе. Формирует полный, четкий и соответствующий целям и задачам вывод по работе. Полностью выполняет требования технике безопасности.
не зачтено	Цель, поставленная студенту, не достигнута. Решена часть задач или задачи не решены вообще. Студент плохо владеет теоретическим материалом для выполнения работы. Путаet последовательность или выполняет не все этапы работы. Неправильно определяет необходимые параметры и размеры. Небрежно оформляет отчет о проделанной работе, упускает важные моменты в отчете. Сформированный вывод о проделанной работе не соответствует или частично соответствует поставленной цели и задачам. Нарушает требования технике безопасности.

**Контрольные работы.** Контрольные работы служат целью оценить приобретенные умения

Контрольные работы проходят в рамках практических работ по дисциплине. На практических работах рассматриваются варианты решения конкретных задач, ставящихся студенту.

В ходе изучения дисциплины предусмотрено выполнение 3<sup>x</sup> контрольных работ. Каждая контрольная работа выполняется после изучения конкретного раздела дисциплины.

Каждая контрольная работа выполняется студентами в аудитории, под наблюдением преподавателя. Продолжительность контрольной работы 45 минут.

#### *Типовое задание для контрольной работы*

**Задача 1.** Определить количество твердых веществ, поступающих в атмосферу при сжигании каменного угля, в топке с неподвижной решеткой. Расход топлива 350кг/ч, КПД золоуловителя равен 0,6, зольность угля – 28%, если коэффициент  $f$  для угля и топки с неподвижной решеткой равен 0,0023.

**Задача 2.** Рассчитать количество оксидов азота, выделяющихся при сжигании природного газа, в топке мощностью 120 кВт. Теплотворная способность топлива 25 МДж/кг. Расход топлива 225 кг/ч. Газоочистка отсутствует,  $h_i = 0$ . Коэффициент  $k$ , характеризующий количество оксидов азота, выделяющихся при горении топлива, равен 0,073 кг/МДж.

**Задача 3.** Оценить погрешность расчета выбросов оксида азота от котла ДКВР – 10-13, работающего на природном газе, если прямые измерения показали массу выброса в количестве 2,04 кг/ч. Расход топлива 0,17м<sup>3</sup>/с, теплотворная способность газа 36 МДж/м. Коэффициент  $k$ , характеризующий количество оксидов азота, выделяющихся при горении топлива, равен 0,107 кг/МДж.

Форма оценки	Критерий оценивания
зачтено	Задача, поставленная в контрольной работе решена. В процессе решения задачи отсутствуют ошибки или они носят технический характер. В решении присутствует полная или сокращенная методика определения необходимых конструктивных, технологических и прочностных параметров. Правильно выбраны необходимые справочные параметры и даны их обоснования. Грамотно и четко сделан вывод по каждой работе.
не зачтено	Задача, поставленная в контрольной работе не решена. В процессе решения задачи присутствуют грубые ошибки, нарушена методика и последовательность расчетов. В процессе решения использована неправильная методика определения необходимых конструктивных, технологических и прочностных параметров. Выбраны неправильные справочные материалы, либо они полностью отсутствуют. Вывод по работе отсутствует, либо сформулирован неправильно, не затрагивая цель поставленной задачи.

#### Вопросы к зачету

Примеры вариантов тем:

1. Методы статистического анализа эксперимента
2. Определение параметров функции распределения
3. Дисперсионный анализ. Планирование эксперимента при дисперсионном анализе.
4. Регрессионный анализ в матричной форме. Получение уравнения множественной регрессии.
5. Оптимизация методом крутого восхождения по поверхности отклика.
6. Описание области, близкой к экстремуму.
8. Планирование эксперимента при изучении зависимости свойства от соотношений компонентов
9. Методы подобия и размерностей.

Критерии оценивания зачета.

Форма оценки	Критерий оценивания
зачтено	показывает глубокие и полные знания по рассматриваемым вопросам; хорошо ориентируется в поставленных вопросах, четко и логично формирует на них ответ; демонстрирует понимание важности приобретенных знаний и умений для будущей профессиональной деятельности; свободно владеет терминами и определениями курса дисциплины; демонстрирует высокие знания, соединяя при ответе знания из разных разделов, добавляя комментарии, пояснения, обоснования; отвечая на вопрос, может быстро и безошибочно проиллюстрировать ответ дополнительными примерами; демонстрирует различные формы умственной деятельности: анализ, синтез, сравнение, обобщение и т.д.; владеет аргументированной, грамотной, лаконичной, доступной и понятной речью при общении.

Форма оценки	Критерий оценивания
Не зачтено	показывает недостаточные знания по поставленным вопросам; очень плохо ориентируется в поставленных вопросах, дает неправильный и необоснованный ответ на поставленные вопросы; не демонстрирует понимание необходимости знаний и умений для будущей профессиональной деятельности; не владеет терминами и определениями курса дисциплины; демонстрирует очень низкое качество знания конкретного материала, не основываясь на информации основных разделов и тем дисциплины; отвечая на вопрос, не дополняет графическим или иным материалом; при ответе не применяет логику, сравнение, обобщение и т.д.; не грамотно, не подготовлено ставит свою речь при общении.

#### 5.4. Описание критериев оценивания компетенций и шкалы оценивания

При промежуточной аттестации в форме зачета, дифференцированного зачета, дифференцированного зачета при защите курсового проекта/работы используется следующая шкала оценивания: 2 – неудовлетворительно, 3 – удовлетворительно, 4 – хорошо, 5 – отлично.

При промежуточной аттестации в форме зачета используется следующая шкала оценивания: зачтено, не зачтено.

Критериями оценивания достижений показателей являются:

Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине	Критерий оценивания
Знания	Знание терминов, определений, понятий
	Знание основных закономерностей, соотношений, принципов
	Объем освоенного материала
	Полнота ответов на вопросы
	Четкость изложения и интерпретации знаний
Умения	Освоение методик, умение решать (типовые) практические задачи, выполнять (типовые) задания
	Умения использовать теоретические знания для выполнения заданий по проведению экологической оценке проектных решений в области нанотехнологий, выборе методики решения инженерных задач, систем и процессов окружающей среды
	Умение проверять решения и анализировать результаты
	Умение качественно оформлять (презентовать) выполнение заданий
Навыки	Навыки решения стандартных/нестандартных задач
	Быстрота выполнения трудовых действий и объем выполненных заданий
	Качество выполнения трудовых действий
	Самостоятельность планирования трудовых действий

Оценка преподавателем выставляется интегрально с учётом всех показателей и критериев оценивания.

Оценка сформированности компетенций по показателю «Знания».

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Знание терминов, определений, понятий	Недостаточный уровень знаний терминов, определений, понятий Не ответил на дополнительные вопросы	Знает термины и определения, но допускает неточности формулировок. Ответил на некоторые дополнительные вопросы	Знает термины и определения. Ответил на большинство дополнительных вопросов	Знает термины и определения, может корректно сформулировать их самостоятельно Аргументированно ответил на все дополнительные вопросы
Знание основных закономерностей, соотношений, принципов	Не знает вопросы безопасности новых технологий и материалов, виды экологического контроля, мониторинг воздушной среды, оказавшейся под влиянием загрязнения атмосферы в области, классификацию загрязнителей воздуха и источники загрязнений воды, нормативно-правовую базу мониторинга и экспертизы безопасности жизнедеятельности	Знает вопросы безопасности новых технологий и материалов, виды экологического контроля, мониторинг воздушной среды, оказавшейся под влиянием загрязнения атмосферы в области, классификацию загрязнителей воздуха и источники загрязнений воды, нормативно-правовую базу мониторинга и экспертизы безопасности жизнедеятельности	Знает, интерпретирует и использует сведения о вопросах безопасности новых технологий и материалов, виды экологического контроля, мониторинг воздушной среды, оказавшейся под влиянием загрязнения атмосферы в области, классификацию загрязнителей воздуха и источники загрязнений воды, нормативно-правовую базу мониторинга и экспертизы безопасности жизнедеятельности	Знает и может самостоятельно получить сведения о вопросах безопасности новых технологий и материалов, виды экологического контроля, мониторинг воздушной среды, оказавшейся под влиянием загрязнения атмосферы в области, классификацию загрязнителей воздуха и источники загрязнений воды, нормативно-правовую базу мониторинга и экспертизы безопасности жизнедеятельности
Объем освоенного материала	Не знает значительной части материала дисциплины	Знает только основной материал дисциплины, не усвоил его деталей	Знает материал дисциплины в достаточном объеме	Обладает твердым и полным знанием материала дисциплины, владеет дополнительными знаниями
Полнота ответов на вопросы	Не дает ответы на большинство вопросов	Дает неполные ответы на все вопросы	Дает ответы на вопросы, но не все - полные	Дает полные, развернутые ответы на поставленные вопросы

Четкость изложения и интерпретации и знаний	Излагает знания без логической последовательности	Излагает знания с нарушениями в логической последовательности	Излагает знания без нарушений в логической последовательности	Излагает знания в логической последовательности, самостоятельно их интерпретируя и анализируя
	Не иллюстрирует изложение поясняющими схемами, рисунками и примерами	Выполняет поясняющие схемы и рисунки небрежно и с ошибками	Выполняет поясняющие рисунки и схемы корректно и понятно	Выполняет поясняющие рисунки и схемы точно и аккуратно, раскрывая полностью усвоенных знаний
	Неверно излагает и интерпретирует знания	Допускает неточности в изложении и интерпретации знаний	Грамотно и по существу излагает знания	Грамотно и точно излагает знания, делает самостоятельные выводы

Оценка сформированности компетенций по показателю «Умения».

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Освоение методик, умение решать (типовые) практические задачи, выполнять (типовые) задания	Не умеет выполнять типовые задания практических работ, не способен решать типовые задачи с использованием известного алгоритма действий	Умеет выполнять типовые задания, способен решать типовые задачи с применением известного алгоритма действий	Умеет выполнять типовые задания, способен решать типовые задачи, предусмотренные рабочей программой	Умеет выполнять задания и решать задачи повышенной сложности
Умения использовать теоретические знания для выполнения заданий по проведению экологической оценке проектных решений в области мониторинга бжд, выборе методики решения инженерных задач (ОВОС и экологическая	Не может увязывать теорию с практикой, не может ответить на простые вопросы, связанные с выполнением задания, не может обосновать выбор метода при решении практических задач; не может обосновать	Испытывает затруднения в применении теории при выполнении практических задач; обосновании полученных результатов	Правильно применяет полученные знания при выполнении, обосновании решений и защите заданий. Грамотно применяет методики выполнения практических работ и алгоритм решения практических задач	Умеет применять теоретическую базу дисциплины при выполнении всех видов заданий, предлагает собственные методы решения; грамотно обосновывает полученные результаты

экспертиза) с учетом экологических ограничений (экологического нормирования) на всех этапах жизненного цикла объектов, систем и процессов окружающей среды	полученные результаты			
Умение проверять решения и анализировать результаты	Допускает грубые ошибки при выполнении заданий и решении практических задач. Не способен сформулировать и обосновать выводы по работе.	Допускает ошибки при решении задач и выполнении заданий. Испытывает затруднения при формулировании и обосновании выводов	Не допускает ошибок при решении задач и выполнении заданий. Формулирует, обосновывает и делает выводы по работам	Самостоятельно анализирует полученные результаты при решении задач и выполнении заданий. Самостоятельно формулирует, обосновывает и делает выводы по работам
Умение качественного оформлять (презентовать) выполнение заданий	Не способен качественного оформлять (презентовать) выполнение заданий	Небрежно оформляет (презентует) выполнение заданий	Понятно и корректно оформляет (презентует) выполнение заданий	Умеет качественно, верно и аккуратно оформлять (презентовать) выполненные задания

Оценка сформированности компетенций по показателю «Навыки».

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Навыки решения стандартных задач	Не обладает навыками выполнения заданий и решения стандартных задач	Испытывает трудности при выполнении заданий и решения стандартных задач	Не испытывает затруднений при выполнении заданий и решения стандартных задач. Испытывает затруднения при выполнении нестандартных заданий и решения нестандартных задач	Обладает навыками при выполнении заданий и решения стандартных задач. Не испытывает затруднения при выполнении нестандартных заданий и решения сложных задач



Быстрота выполнения трудовых действий и объем выполненных заданий	Не выполняет трудовые действия или выполняет очень медленно, не достигая поставленных задач	Выполняет трудовые действия медленно, с отставанием от установленного графика	Выполняет трудовые действия, выполняет все поставленные задания с соблюдением установленного графика	Выполняет трудовые действия, поставленные задания качественно и быстро
Качество выполнения трудовых действий	Выполняет трудовые действия некачественно	Выполняет трудовые действия с недостаточным качеством	Выполняет трудовые действия качественно	Выполняет трудовые действия качественно, в том числе при выполнении сложных заданий
Самостоятельность планирования трудовых действий	Не может самостоятельно планировать и выполнять собственные трудовые действия	Выполняет трудовые действия с помощью наставника	Самостоятельно выполняет трудовые действия с консультацией наставника	Полностью самостоятельно выполняет трудовые без посторонней помощи

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 6.1. Материально-техническое обеспечение

№	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1	Учебная аудитория для проведения лекционных и практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, ГУК 617	Специализированная мебель. Проектор, компьютер, автоматизированный экран, магнитно-меловая доска
2	читальный зал библиотеки для самостоятельной работы	Специализированная мебель, компьютерная техника, подключенная к сети «Интернет» и имеющая доступ в электронную информационно-образовательную среду

### 6.2. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

№	Перечень лицензионного программного обеспечения.	Реквизиты подтверждающего документа
1	Microsoft Windows 10 Корпоративная	Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633. Соглашение действительно с 02.10.2017

№	Перечень лицензионного программного обеспечения.	Реквизиты подтверждающего документа
		по 31.10.2023). Договор поставки ПО 0326100004117000038-0003147-01 от 06.10.2017
2	Microsoft Office Professional Plus 2016	Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633. Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2023
3	Kaspersky Endpoint Security «Стандартный Russian Edition»	Сублицензионный договор № 102 от 24.05.2018. Срок действия лицензии до 19.08.2020 Гражданско-правовой Договор (Контракт) № 27782 «Поставка продления права пользования (лицензии) Kaspersky Endpoint Security от 03.06.2020. Срок действия лицензии 19.08.2022г.
4	Google Chrome	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения
5	Mozilla Firefox	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения

### 6.3. Перечень учебных изданий и учебно-методических материалов

1. Яковлев, В. П. Теория вероятностей и математическая статистика [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. П. Яковлев. – 2-е изд. – Электрон. текстовые дан. – М. : Дашков и К, 2011. – 1 on-line. – Загл. с титул. экрана. – ISBN 978-5-394-01235-8 : 110.00 р.
2. Лопанов, А.Н. Мониторинг и экспертиза безопасности жизнедеятельности : учеб. пособие / А. Н. Лопанов; Е. В. Климова ; БГТУ им. В. Г. Шухова. - Белгород : Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2013. - 122 с.
- 3 Математическое планирование эксперимента : учебное пособие для магистрантов направления 20.04.01 профиля подготовки – 20.04.01-01 и аспирантов направления 20.06.01 профиля подготовки – 08.06.01, направления 20.06.01 профиля подготовки – 05.26.01 / А. Н. Лопанов, И. А. Иванченко, Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2017 [Электронный ресурс]. - <https://elib.bstu.ru/Reader/Book/2017062210524495300000656674>

### 6.4. Перечень интернет ресурсов, профессиональных баз данных, информационно-справочных систем

1. Консультант плюс. Надежная правовая поддержка [www.consultant.ru](http://www.consultant.ru)
2. Научная электронная библиотека [www.elibrari.ru](http://www.elibrari.ru)
3. Официальный сайт Белгородского государственного технологического университета [www.bstu.ru](http://www.bstu.ru)
4. ФГБУН Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук <http://www.viniti.ru/>
5. Независимый научно-технический портал <http://ntpo.com>
6. Электронная библиотека. Наука и техника <http://n-t.ru/>
7. ООО Ассоциация инженерного образования в России <http://aeer.ru>

