

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

УТВЕРЖДАЮ

Директор института магистратуры

 /Ярмоленко И.В./



УТВЕРЖДАЮ

Директор института ИСИ

 /Уваров В.А./



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
**дисциплины**

Аэродинамика вентиляции, механика аэрозолей

направление подготовки:

08.04.01 «Строительство»

Направленность программы:

Системы обеспечения микроклимата зданий и сооружений

Квалификация

магистр

Форма обучения

заочная


**Институт:** инженерно-строительный

**Кафедра:** теплогазоснабжения и вентиляции


Белгород – 2021

Рабочая программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 08.04.01 Строительство (уровень магистратуры), утвержденного приказом Министерством образования и науки Российской Федерации от 31 мая 2017 года № 482;
- учебного плана, утвержденного ученым советом БГТУ им. В.Г. Шухова в 2021 г.

Составитель (составители): д.т.н., проф.  (К.И. Логачев)

Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой  
Теплогасоснабжение и вентиляция

Заведующий кафедрой: профессор, д.т.н.  (В.А. Уваров)

« 14 » 05 2021 г.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

« 14 » 05 2021 г., протокол № 12

Заведующий кафедрой: д-р техн. наук, профессор  (В.А. Уваров)

Рабочая программа одобрена методической комиссией института

« 27 » 05 2021 г., протокол № 10

Председатель канд. техн. наук, доцент  (А.Ю. Феоктистов)

## 1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Категория (группа) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания
Общепрофессиональные	ПКО-3. Способность осуществлять обоснование проектных решений систем теплогаснабжения, вентиляции	ПКО -3.1. Выбор данных для выполнения расчётного обоснования технологических, технических и конструктивных решений систем теплогаснабжения, вентиляции	<b>Знать:</b> технологические, технические и конструктивные решения систем теплогаснабжения, вентиляции <b>Уметь:</b> осуществлять выбор данных для выполнения расчётного обоснования технологических, технических и конструктивных решений систем теплогаснабжения, вентиляции. <b>Владеть:</b> навыками и основными методами выполнения расчётного обоснования.
		ПКО -3.2. Выбор метода и методики выполнения расчётного обоснования технологических, технических и конструктивных решений систем теплогаснабжения, вентиляции	<b>Знать:</b> методы и методики выполнения расчётного обоснования технологических, технических и конструктивных решений систем теплогаснабжения, вентиляции; <b>Уметь:</b> решать научно-технические задачи в сфере профессиональной деятельности на основе нормативно-технической документации и знания проблем отрасли <b>Владеть:</b> навыками выполнения расчётного обоснования
		ПКО -3.3. Выполнение и контроль	<b>Знать:</b> освоенный материал в полном

		<p>проведения расчетного обоснования технологических, технических и конструктивных решений систем теплогазоснабжения, вентиляции, документирование результатов расчётного обоснования</p>	<p>объеме;  <b>Уметь:</b>осуществлять контроль проведения расчетного обоснования технологических, технических и конструктивных решений систем теплогазоснабжения, вентиляции  <b>Владеть:</b>навыками документирование результатов расчётного обоснования</p>
	<p>ПКР-1.  Способность выполнять и организовывать научные исследования в сфере теплогазоснабжения и вентиляции</p>	<p>ПКР-1.1  Формулирование целей, постановка задач исследования в сфере теплогазоснабжения и вентиляции</p>	<p>В результате освоения дисциплины обучающийся должен  <b>Знать:</b>основные цели и задачи исследования в сфере теплогазоснабжения и вентиляции  <b>Уметь:</b> Формулировать цели и задачи в сфере ТГВ  <b>Владеть:</b>навыками формулирования целей и задач</p>
		<p>ПКР-1.2  Выбор метода и/или методики проведения исследований в сфере теплогазоснабжения и вентиляции</p>	<p>В результате освоения дисциплины обучающийся должен  <b>Знать:</b>основные методы и методики проведения исследований  <b>Уметь:</b>осуществлять выбор методов и методик, необходимых для решения задач в сфере теплогазоснабжения и вентиляции  <b>Владеть:</b>навыками проведения исследований в сфере теплогазоснабжения и вентиляции</p>

		<p>ПКР-1.3 Составление плана исследований в сфере теплогазоснабжения и вентиляции</p>	<p>В результате освоения дисциплины обучающийся должен <b>Знать:</b> подходы к расчету воздушных течений и пылевых потоков <b>Уметь:</b> рассчитывать параметры воздушных течений и пылевых потоков <b>Владеть:</b> навыками составления плана исследований в сфере теплогазоснабжения и вентиляции</p>
		<p>ПКР-1.4 Определение перечня ресурсов, необходимых для проведения исследования</p>	<p><b>Знать:</b> основные этапы исследования <b>Уметь:</b> определять ресурсы, необходимые для проведения исследования <b>Владеть:</b> навыками составления перечня ресурсов, необходимых для проведения исследования</p>
		<p>ПКР-1.5 Составление аналитического обзора научно-технической информации в сфере теплогазоснабжения и вентиляции</p>	<p>В результате освоения дисциплины обучающийся должен <b>Знать:</b> основную научно-техническую информацию в сфере теплогазоснабжения и вентиляции <b>Уметь:</b> Составлять аналитический обзор научно-технической информации в сфере теплогазоснабжения и вентиляции <b>Владеть:</b> навыками составления обзора</p>
		<p>ПКР-1.6 Разработка физических и/или математических моделей исследуемых объектов</p>	<p>В результате освоения дисциплины обучающийся должен <b>Знать:</b> математические и физические мо-</p>

			<p>дели пылевоздушных потоков</p> <p><b>Уметь:</b> применять методы математического моделирования для описания исследуемых объектов</p> <p><b>Владеть:</b> навыками разработки физических и/или математических моделей исследуемых объектов.</p>
		<p>ПКР-1.7</p> <p>Проведение математического моделирования в сфере теплогазоснабжения и вентиляции</p>	<p>В результате освоения дисциплины обучающийся должен</p> <p><b>Знать:</b> математические модели пылевоздушных потоков</p> <p><b>Уметь:</b> применять методы математического моделирования для описания процессов в системах аспирации</p> <p><b>Владеть:</b> навыками расчета полей скоростей воздушных течений и динамики пылевых частиц.</p>
		<p>ПКР-1.8</p> <p>Формулирование целей, постановка задач исследования в сфере теплогазоснабжения и вентиляции</p>	<p>В результате освоения дисциплины обучающийся должен</p> <p><b>Знать:</b> математические модели пылевоздушных потоков</p> <p><b>Уметь:</b> Формулировать цели и задачи исследования в сфере теплогазоснабжения и вентиляции для описания процессов в системах аспирации</p> <p><b>Владеть:</b> навыками решения задач в сфере теплогазоснабжения и вентиляции</p>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

### 1. Компетенция ПКО-3.

Способность осуществлять обоснование проектных решений систем теплогазоснабжения, вентиляции

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами:

Стадия	Наименование дисциплины
1	Проектирование энергосберегающих систем отопления зданий и сооружений
2	Проектирование комплексных систем вентиляции и кондиционирования воздуха
3	Проектирование обеспыливающей вентиляции и пылегазоочистного оборудования
4	Гидродинамика и тепломассообмен в оборудовании отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха
5	Математическое моделирование процессов отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха
6	Численные методы решения задач отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха
7	Вычислительный эксперимент в научных исследованиях
8	Аэродинамика вентиляции, механика аэрозолей
9	Аэродинамика воздушных и пылевых потоков
10	Системы автоматизированного проектирования систем отопления
11	Системы автоматизированного проектирования систем вентиляции и кондиционирования воздуха
12	Производственная преддипломная практика (4)
13	Производственная исполнительская практика (12)
14	Производственная научно-исследовательская работа
15	Государственная итоговая аттестация

### 2. Компетенция ПКР-1.

Способность выполнять и организовывать научные исследования в сфере теплогазоснабжения и вентиляции

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами:

Стадия	Наименование дисциплины
1	Математическое моделирование процессов отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха
2	Численные методы решения задач отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха
3	Вычислительный эксперимент в научных исследованиях
4	Аэродинамика вентиляции, механика аэрозолей

5	Аэродинамика воздушных и пылевых потоков
6	Производственная научно-исследовательская работа
7	Государственная итоговая аттестация

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр №3
Общая трудоемкость дисциплины, час	108	108
Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:	10	10
Лекции	4	4
Лабораторные	2	2
Практические	4	4
Групповые консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации		
Самостоятельная работа студентов, включая индивидуальные и групповые консультации, в т. ч.:	98	98
Курсовой проект	-	-
Курсовая работа	-	-
Расчетно-графическое задание	-	-
Индивидуальное домашнее задание	9	9
Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям (лекции, практические занятия, лабораторные занятия)		
Зачет	Зачет	Зачет

### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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

##### Курс 1 Семестр 1

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа



1.	Теоретические основы аэродинамики вентиляции	1		1	14
2.	Приближенные методы описания воздушных потоков. Приближенные методы описания конвективных потоков	1		1	14
3.	Расчет воздухораспределительных устройств	1		1	10
4.	Физико-механические свойства дисперсной фазы аэрозолей. Упорядоченное движение частиц грубодисперсных аэрозолей. Исследование дисперсной фазы аэрозоля в приближении сплошной среды	1		1	14
	ВСЕГО	4		4	56

## 4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

Не предусмотрены

## 4.3. Содержание лабораторных занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного занятия	К-во часов	К-во часов СРС
1.	Приближенные методы описания воздушных потоков	Исследование модели движения воздуха вблизи всасывающего отверстия  Исследование модели движения воздуха вблизи приточного отверстия  Исследование настилающей воздушной струи	1	14
2.	Приближенные методы описания конвективных потоков	Исследование модели движения воздуха вблизи компактного источника тепла  Исследование модели движения воздуха вблизи вертикальной нагретой поверхности	1	14
3.	Расчет воздухораспределительных устройств	Исследование модели процесса подачи воздуха ВРР в помещение	1	12
4.	Упорядоченное движение частиц грубодисперсных	Исследование модели распределения частиц грубодисперсных	1	10

	аэрозолей	аэрозолей в потоке воздуха		
ИТОГО:			4	50

#### 4.4. Содержание курсового проекта/работы

Не предусмотрено учебным планом

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

**Оформление индивидуальных домашних заданий.** ИДЗ предоставляется преподавателю для проверки на бумажных листах в формате А4 или в тетради.

ИДЗ предоставляется преподавателю для проверки в двух видах: отчет, на бумажных листах в формате А4, и в виде файлов, содержащих решение поставленной задачи на компьютере. Отчет индивидуального домашнего задания должен иметь следующую структуру: титульный лист; постановка задачи, результаты математического моделирования, предложения по совершенствованию системы обеспыливающей вентиляции. Срок сдачи ИДЗ определяется преподавателем.

Титульный лист или обложку тетради необходимо подписать по следующему образцу:

Студент БГТУ им. В.Г. Шухова  
Андреев И.П., группа ТВ -191  
ИДЗ №1

**Оформление индивидуального домашнего задания.** РГЗ предоставляется преподавателю для проверки в двух видах: отчет, на бумажных листах в формате А4, и в виде файлов, содержащих решение поставленной задачи на компьютере. Отчет расчетно-графического задания должен иметь следующую структуру: титульный лист; постановка задачи, результаты математического моделирования, предложения по совершенствованию системы обеспыливающей вентиляции. Срок сдачи РГЗ определяется преподавателем.

#### Пример выполнения РГЗ

Моделирование воздушных потоков при разгрузке вагонов в приемную воронку корпуса крупного дробления

**Введение.** При разгрузке сыпучих материалов вагонами в приемные воронки корпусов крупного дробления происходят интенсивные пылевыведения (рис.1). Водное орошение форсунками для снижения выбросов пыли не дает значительных результатов. Наиболее надежным, но энергоемким способом локализации пылевыведений является применение систем местной вытяжной вентиляции. Для снижения энергозатрат на эксплуатацию

закрытых местных вентиляционных отсосов используют свойства рециркуляционных и закрученных воздушных потоков. Свойства отрывных течений и механическое экранирование используют для снижения объема воздуха, поступающего через неплотности либо, напротив, для уменьшения аэродинамического сопротивления местных вентиляционных отсосов открытого типа.

Целью данной работы является моделирование воздушных потоков при разгрузке сыпучих материалов в приемные воронки, для выбора наиболее рациональной схемы расположения местного вентиляционного отсоса и экранов, способствующих снижению объемов аспирации.



Рис.1. Разгрузка вагонов с железной рудой на Стойленском ГОКе

## 1. Постановка задачи и основные расчетные соотношения

Геометрические размеры модели приемной воронки изображены на рис.2. Они соответствуют размерам разработанной экспериментальной установки. Куски руды при падении увлекают за собой воздух, и образуется поток запыленного эжектируемого воздуха. Этот поток будем моделировать цилиндрами, из которых истекает воздух со скоростью равной скорости падения куска железной руды. Будем считать, что куски руды движутся равноускоренно и поэтому скорости с которой они толкают воздух, увеличиваются по мере приближения ко дну и составляют 2,2 м/с.

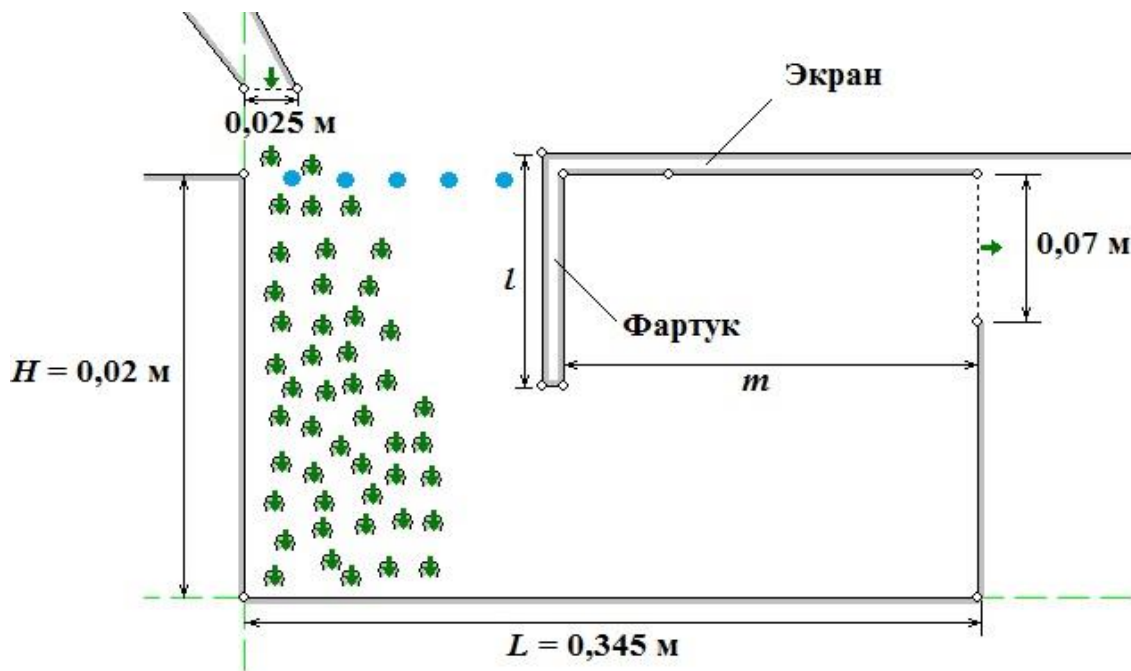


Рис.2. Геометрия расчетной области

Для моделирования будем использовать эффективный бессеточный метод граничных интегральных уравнений [11,15,16].

На границе  $S$  области течения непрерывно размещались фиктивные источники (стоки) неизвестной заранее интенсивности  $q(\xi)$ . Их величины должны быть таковы, чтобы их суммарное воздействие на точки границы индуцировало в них заданные значения нормальной составляющей скорости, то есть выполнялись граничные условия.

Значение скорости в произвольной точке  $x$  области вдоль единичного вектора  $\vec{n}$  определится из следующей формулы:

$$v_n(x) = \int_S F_2(x, \xi) q(\xi) dS(\xi), \quad (1)$$

где  $S(\xi)$  обозначает, что  $\xi$  является переменной интегрирования; функция  $F_2(x, \xi) = \frac{1}{2\pi} \frac{(x_1 - \xi_1)n_1 + (x_2 - \xi_2)n_2}{(x_1 - \xi_1)^2 + (x_2 - \xi_2)^2}$  выражает собой влияние на точку  $x(x_1, x_2)$  единичного источника, расположенного в точке  $\xi(\xi_1, \xi_2)$  вдоль единичного вектора  $\vec{n} = \{n_1, n_2\}$ .

Формула (1) являлась бы решением задачи, если бы интенсивности  $q(\xi)$  были бы известны. Для их определения устремим внутреннюю точку  $x$  к граничной точке  $x_0$  вдоль направления внешней нормали. Получим следующее выражение:

$$v_n(x_0) = \int_S^* F_2(x_0, \xi) q(\xi) dS(\xi), \quad (2)$$

где интеграл имеет особенность, что обозначено \*. Действительно  $\lim_{x_0 \rightarrow \xi} F_2(x_0, \xi) = \infty$ . Такое интегральное уравнение называется сингулярным. Однако интеграл в выражении (2) является сходящимся. Если окружить точку  $\xi$  полуокружностью бесконечно малого радиуса и вычислить интеграл по ней, то он будет равен  $-\frac{1}{2}q(x_0)$ .

Таким образом, получим:

$$v_n(x_0) = -\frac{1}{2}q(x_0) + \int_S F_2(x_0, \xi) q(\xi) dS(\xi), \quad (3)$$

где интеграл уже не содержит точку  $x_0 = \xi$ .

Граничное интегральное уравнение (3) является интегральным уравнением Фредгольма 2-го рода. Аналитически оно не решается для областей с произвольными границами, поэтому применяется следующий численный метод его решения. Граница области течения разбивается на прямолинейные отрезки (граничные элементы). Вдоль каждого из отрезков интенсивность источников (стоков) не изменяется. Тогда, записав уравнение (3) для середин  $x_0^p$  каждого  $p$ -го из  $N$  полученных отрезков, получим систему  $N$  линейных алгебраических уравнений с  $N$  неизвестными  $q(\xi^1), q(\xi^2), \dots, q(\xi^N)$ :

$$-\frac{1}{2}q(x_0^p) + \sum_{\substack{k=1, \\ k \neq p}}^N q(\xi^k) \int_{\Delta S^k} F_2(x_0^p, \xi^k) dS(\xi^k) = v_n(x_0^p), \quad p = 1, 2, \dots, N, \quad (4)$$

$\xi^k$  - произвольная точка  $k$ -го отрезка,  $\Delta S^k$  -  $k$ -ый отрезок.

Решив эту систему уравнений и определив неизвестные интенсивности источников (стоков) можно определить искомую скорость во внутренней точке вдоль заданного направления по формуле:

$$v_n(x) = \sum_{k=1}^N q(\xi^k) \int_{\Delta S^k} F_2(x, \xi^k) dS(\xi^k). \quad (5)$$

На основе приведенных основных расчетных соотношений была разработана компьютерная программа, с помощью которой были выполнены ряд вычислительных экспериментов.

## 2. Результаты вычислительных экспериментов и их обсуждение

В ходе вычислительных экспериментов определялось влияние размеров экрана и фартука на вертикальную составляющую скорости в открытом проеме (устье) приемной воронки. Для улавливания пыли это скорость должна быть направлена вниз, т.е. иметь от-

рицательную величину в выбранной системе координат. Скорость в отсосе должна обеспечивать полное улавливание струи эжектируемого воздуха. В случае, если отсос не будет обеспечивать требуемую скорость воздушный поток распространяется в окружающее пространство, что способствует выбиванию пыли из приемной воронки (рис.3).

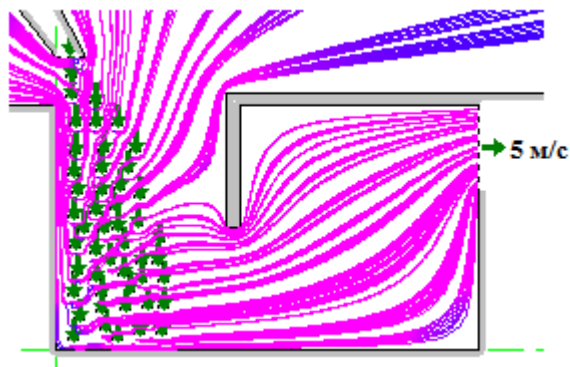


Рис.3. Случай неполного улавливания струи эжектируемого воздуха

Ширина всасывающего отверстия во всех вычислительных экспериментах фиксирована и равна 0,07м. Вертикальная составляющая скорости вычислялась в пяти точках, равноудаленных на расстояния 0,02 м друг от друга и от левого края открытой части устья (на рис.2 они изображены в виде ●).

При удалении всасывающего отверстия, расположенного на экране, от места выгрузки вагонов скорость в устье воронки корпуса крупного дробления (ККД) увеличивается, а значит, эффективность местного отсоса возрастает (рис.4а- с, табл. 1).

При расположении местного отсоса в верхней части боковой стенки приемной воронки ККД, противоположной от места разгрузки, скорость еще выше, чем при расположении местного отсоса на экране (рис.4d, табл. 1).

Однако при снижении отсоса скорость в устье ККД резко падает, а значит, снижается эффективность местного отсоса (рис.4e, табл. 1).

При уменьшении длины экрана (рис.4 f-z, табл. 1), открытая часть устья воронки ККД расширяется, и как следствие, падает скорость, что способствует выносу пыли из приемной воронки. Таким образом, чем больше длина экрана, тем эффективней работает местный отсос, но в силу технологических причин, его длина не может превосходить половины ширины воронки.

Увеличивая скорость в отсосе до 12 м/с, добиваемся полного улавливания струи эжектируемого воздуха (рис.4 h-k, табл. 1).

Заметим, что величины вертикальной составляющей скорости в устье приемной воронки ККД при горизонтальном и вертикальном размещении всасывающего канала местного вентиляционного отсоса достаточно близки между собой(рис.4 k, рис.4 l, табл. 1).

Таблица 1

**Величины вертикальной составляющей скорости в устье приемной воронки**

$x$	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
-----	------	------	------	------	-----

Рис.4 <i>a</i>	$v_y$ , м/с	-0,088	0,014	-0,428	-0,664	-0,868
Рис.4 <i>b</i>	$v_y$ , м/с	-0,113	-0,014	-0,45	-0,687	-0,894
Рис.4 <i>c</i>	$v_y$ , м/с	-0,117	-0,02	-0,453	-0,691	-0,899
Рис.4 <i>d</i>	$v_y$ , м/с	-0,127	-0,03	-0,463	-0,701	-0,910
ис.4 <i>e</i>	$v_y$ , м/с	-0,095	0,008	-0,428	-0,661	-0,861
Рис.4 <i>f</i>	$v_y$ , м/с	0,179	0,339	-0,220	-0,478	-0, 718
Рис.4 <i>z</i>	$v_y$ , м/с	0,655	0,804	0,917	-0,197	-0, 459
Рис.4 <i>h</i>	$v_y$ , м/с	0,168	0,364	-0,248	-0,518	-0, 804
Рис.4 <i>i</i>	$v_y$ , м/с	-0,147	0,07	-0,575	-0,871	-1, 182
Рис.4 <i>k</i>	$v_y$ , м/с	-0,488	-0,375	-0,921	-1,243	-1, 579
Рис.4 <i>l</i>	$v_y$ , м/с	-0,481	-0,368	-0,915	-1,237	-1, 573
Рис.4 <i>m</i>	$v_y$ , м/с	-0,221	-0,054	-0,711	-1,064	-1, 495
Рис.4 <i>n</i>	$v_y$ , м/с	0,170	0,444	-0,283	-0,571	-0, 967
Рис.4 <i>o</i>	$v_y$ , м/с	-0,618	-0,525	-0,995	-1,287	-1, 569
Рис.4 <i>p</i>	$v_y$ , м/с	-0,598	-0,499	-0,955	-1,234	-1, 56
Рис.4 <i>r</i>	$v_y$ , м/с	-0,485	-0,372	-0,918	-1,241	-1, 576

При уменьшении длины фартука величина вертикальной составляющей скорости заметно падает (рис.4 *m*, таблица). А при отсутствии фартука скорость воздуха, при данной скорости в отсосе, будет способствовать выбиванию пыли из приемной воронки ККД (рис.4 *n*, таблица).

При увеличении длины фартука до 3/4 высоты вертикальная составляющая скорости воздуха возрастает относительно случая 1/2 высоты не во всех точках устья приемной воронки (рис.4 *o*, рис.4 *l*, таблица). Вблизи фартука она убывает.

При дальнейшем увеличении фартука скорость падает (рис.4 *p*, таблица). Поэтому длина фартука, равная половине высоты приемной воронки, достаточна для эффективной локализации пылевых выбросов.

В случае конструктивного оформления всасывающего отверстия в виде угла (часть расположена на экране, часть на боковой стенке), величины вертикальной составляющей скорости находятся в диапазоне величин, найденных для отсоса, расположенного только на экране, и отсоса, расположенного только на боковой стенке (рис.4 *r* таблица).

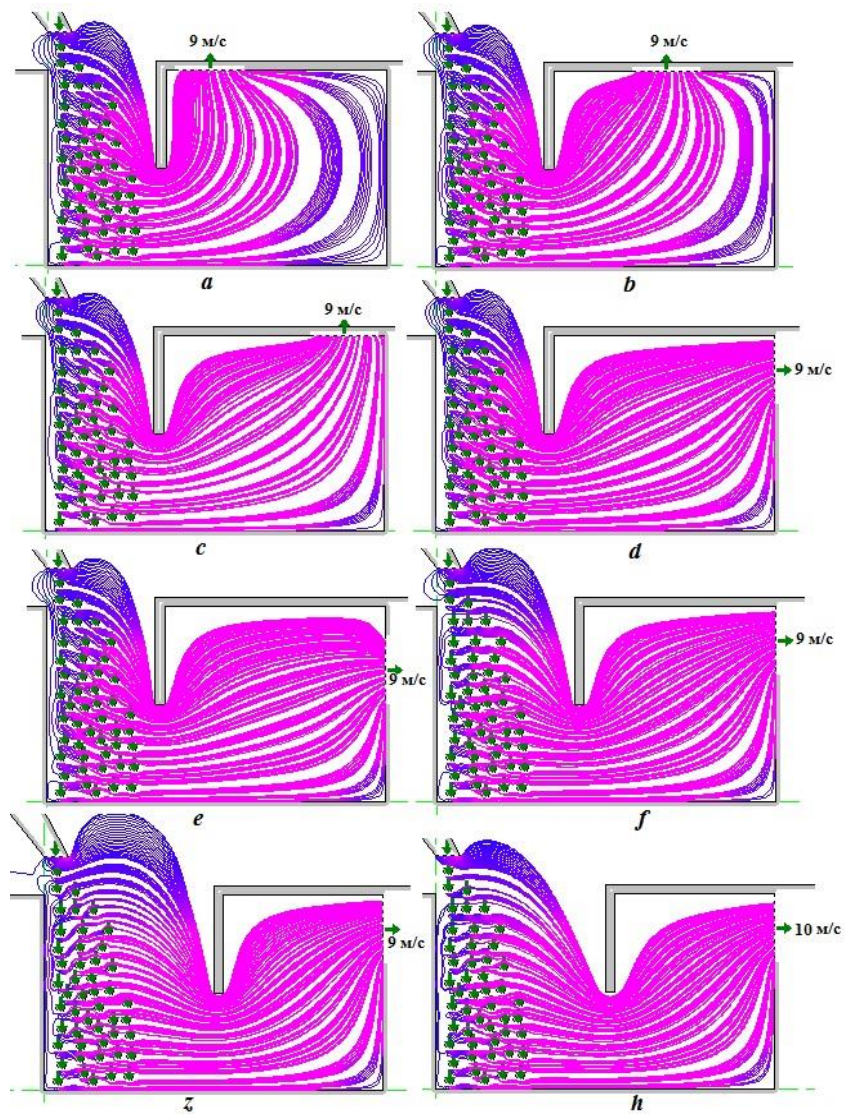


Рис.4. Линии тока: а)  $m=0,235\text{м}$ ;  $l=0,1\text{м}$ ; б)  $m=0,235\text{м}$ ;  $l=0,1\text{м}$ ; в)  $m=0,235$ ;  $l=0,1\text{м}$ ; д)  $m=0,235\text{м}$ ;  $l=0,1\text{м}$ ; е)  $m=0,235\text{м}$ ;  $l=0,1\text{м}$ ; ф)  $m=0,205\text{м}$ ;  $l=0,1\text{м}$ ; з)  $m=0,1725\text{м}$ ;  $l=0,1\text{м}$ ; h)  $m=0,1725\text{м}$ ;  $l=0,1\text{м}$  (начало)



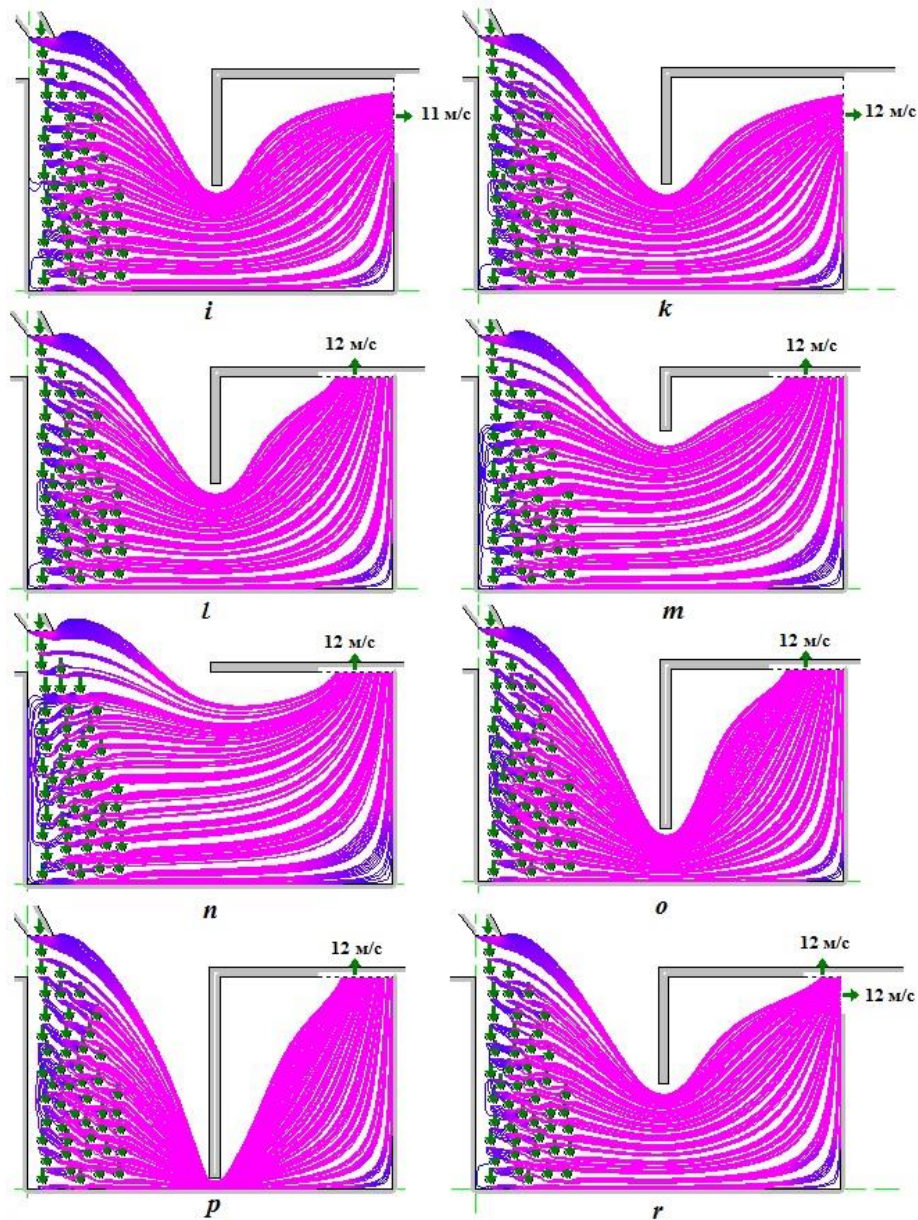


Рис.4. Линии тока: *i*)  $m=0,1725\text{м}; l=0,1\text{м}$ ; *k*)  $m=0,1725\text{м}; l=0,1\text{м}$ ; *l*)  $m=0,1725\text{м}; l=0,1\text{м}$ ; *m*)  $m=0,1725\text{м}; l=0,05\text{м}$ ; *n*)  $m=0,1725\text{м}; l=0\text{м}$ ; *o*)  $m=0,1725\text{м}; l=0,15\text{м}$ ; *p*)  $m=0,1725\text{м}; l=0,15\text{м}$ ; *r*)  $m=0,1725; l=0,15\text{м}$

(Окончание)

Заметим, что возникающая при разгрузке вагона струя запыленного воздуха настигается по дну приемной воронки, а затем по боковой стенке, что подтверждается экспериментальными наблюдениями (рис.5). Поэтому оборудование отсоса в виде уголка имеет смысл. Часть струи будет улавливаться отсосом на боковой стенке, а часть струи, распростирающейся по инерции вверх, будет улавливаться отсосом на экране.

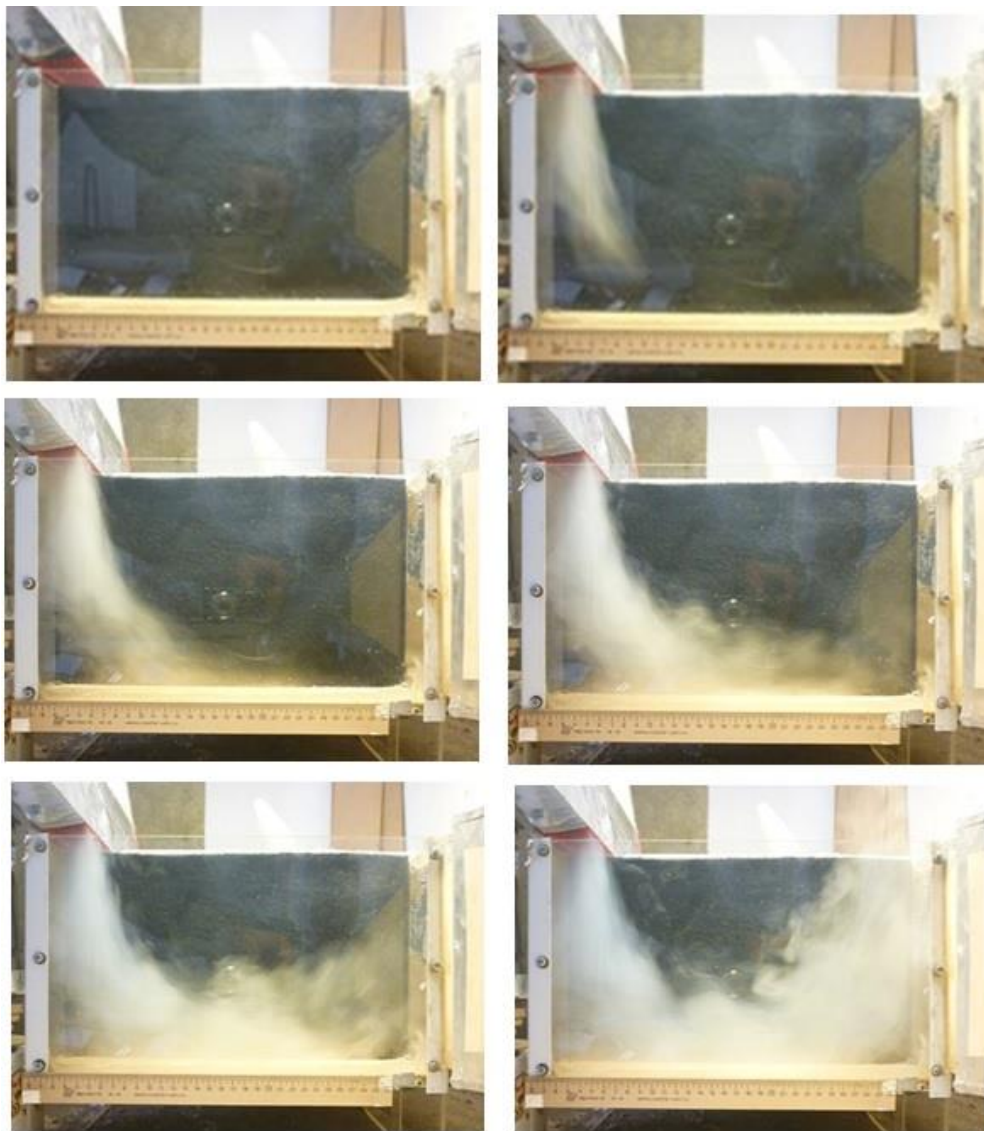


Рис.5. Экспериментальная картина распространения потока эжектируемого воздуха без вентиляционного отсоса воздуха

Эксперименты, проведенные на разработанном стенде, подтверждают результаты вычислительных экспериментов.

### **Заключение**

На основе метода граничных интегральных уравнений разработана имитационная модель разгрузки сыпучего материала в приемные воронки корпусов крупного дробления.

Проведена серия вычислительных экспериментов по разработанной компьютерной программе. Определены размеры механических экранов и фартука, способствующих эффективному улавливанию запыленного воздуха. Длина механического экрана должна составлять не менее половины ширины устья приемной воронки, а фартук до половины ее высоты. Всасывающее отверстие местного вентиляционного отсоса необходимо располагать в верхнем углу приемной воронки, противоположном месту разгрузки

вагонов. Полученные выводы, полученные с помощью вычислительных экспериментов, согласуются с экспериментальными наблюдениями

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

### **5.1. Реализация компетенции**

#### **1. Компетенция ПКО-3.**

Способность осуществлять обоснование проектных решений систем теплогоснабжения, вентиляции

Наименование индикатора (показателя оценивания)	Используемые средства оценивания
ПКО -3.1. Выбор данных для выполнения расчётного обоснования технологических, технических и конструктивных решений систем теплогоснабжения, вентиляции	Зачет, практические занятия, выполнение и защита ИДЗ
ПКО -3.2. Выбор метода и методики выполнения расчётного обоснования технологических, технических и конструктивных решений систем теплогоснабжения, вентиляции	практические занятия, собеседование, выполнение и защита ИДЗ
ПКО -3.3. Выполнение и контроль проведения расчетного обоснования технологических, технических и конструктивных решений систем теплогоснабжения, вентиляции, документирование результатов расчётного обоснования	Выполнение и защита ИДЗ, собеседование

#### **1. Компетенция ПКР-1.**

Способность выполнять и организовывать научные исследования в сфере теплогоснабжения и вентиляции

Наименование индикатора (показателя оценивания)	Используемые средства оценивания
ПКР-1.1 Формулирование целей, постановка задач исследования в	Зачет, собеседование, выполнение и защита ИДЗ

сфере теплогазоснабжения и вентиляции	
ПКР-1.2 Выбор метода и/или методики проведения исследований в сфере теплогазоснабжения и вентиляции	Выполнение и защита ИДЗ, собеседование
ПКР-1.3 Составление плана исследований в сфере теплогазоснабжения и вентиляции	Выполнение и защита ИДЗ, собеседование
ПКР-1.4 Определение перечня ресурсов, необходимых для проведения исследования	Выполнение и защита ИДЗ, собеседование
ПКР-1.5 Составление аналитического обзора научно-технической информации в сфере теплогазоснабжения и вентиляции	Выполнение и защита ИДЗ, собеседование
ПКР-1.6 Разработка физических и/или математических моделей исследуемых объектов	Выполнение и защита ИДЗ, собеседование
ПКР-1.7 Проведение математического моделирования в сфере теплогазоснабжения и вентиляции	Выполнение и защита ИДЗ, собеседование
ПКР-1.8 Формулирование целей, постановка задач исследования в сфере теплогазоснабжения и вентиляции	Выполнение и защита ИДЗ, собеседование

## 5.2. Типовые контрольные задания для промежуточной аттестации

**Промежуточная аттестация** осуществляется в конце семестра после завершения изучения дисциплины в форме **зачета**. Зачет состоит в итоговом собеседовании со студентом по выполненным лабораторным работам и лекционным занятиям.

*Перечень вопросов на зачет.*

1. Приточные струи. Основные характеристики.
2. Виды приточных струй.
3. Неизотермические струи. Коэффициент неизотермичности.
4. Настилающиеся струи. Схемы.
5. Взаимодействие приточных струй.

6. Стесненные струи.
7. Расчетные параметры приточных струй.
8. Эффективность вентиляции. Схемы циркуляции воздуха.
9. Конвективные струи. Характеристики свободных конвективных струй
10. Компактные конвективные струи
11. Плоские конвективные струи
12. Пристенные конвективные струи.
13. Настилающиеся конвективные струи. Схема настиления.
14. Плоские конвективные струи.
15. Стесненные конвективные струи.
16. Конвективные струи над тепловыми источниками сложной формы
17. Перетекание воздуха через проемы.
18. Перетекание воздуха через вертикальный проем при балансе механической вентиляции.
19. Классификация воздушных режимов при дебалансе механической вентиляции
20. Воздушные режимы проема при отрицательном градиенте наружного давления
21. Область применения и расчет воздушных режимов.
22. Точечный сток.
23. Линейный сток.
24. Кольцевой сток.
25. Выбор схемы подачи приточного воздуха и типа воздухораспределителя.
26. Допустимые параметры струи на входе в рабочую зону.
27. Выбор типоразмера и количества воздухораспределителей.

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

Не предусмотрено учебным планом

#### **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**

**Практические (семинарские) занятия.**

## 5.4. Описание критериев оценивания компетенций и шкалы оценивания

Критерии оценивания индивидуального домашнего задания.

Оценка	Критерии оценивания
5	Работа выполнена полностью. Теоретическое задание соответствует теме, представленный материал полностью раскрывает тему задания, в работе сформулированы значимые выводы. Практическая часть выполнена в полном объеме, для каждой задачи получены правильные ответы и студентом сформулированы полные, обоснованные и аргументированные выводы. Оформление заданий полностью соответствует предъявляемым требованиям.
4	Работа выполнена полностью. Теоретическое задание соответствует теме, представленный материал раскрывает тему задания, в работе сформулированы адекватные выводы. Практическая часть выполнена в полном объеме, для каждой задачи получены правильные ответы и студентом сформулированы выводы. Оформление заданий в целом соответствует предъявляемым требованиям.
3	Работа выполнена полностью. Теоретическое задание соответствует теме, представленный материал раскрывает тему задания, в работе сформулированы выводы. Практическая часть выполнена в полном объеме с незначительными ошибками и студентом сформулированы выводы. Оформление заданий в целом соответствует предъявляемым требованиям.
2	Работа выполнена не полностью. Теоретическое задание не соответствует теме, представленный материал не раскрывает тему задания, в работе не сформулированы выводы. Практическая часть не выполнена в полном объеме, не сформулированы выводы. Оформление заданий не соответствует предъявляемым требованиям.

## 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 лабораторных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущей и промежуточной аттестации ГК, №312, 313,	Специализированная мебель. Информационные стенды по теплогазоснабжению. Мультимедийный проектор, переносной экран, ноутбук, информационные стенды,

### 6.2. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

№	Перечень лицензионного программного обеспечения	Реквизиты подтверждающего документа
1		

## Перечень учебных изданий и учебно-методических материалов

1. Аверкова О.А. Математическое моделирование и численные методы в аэродинамике вентиляции: учебное пособие / О.А. Аверкова, К.И. Логачев. — Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. — 168 с.
2. Аверкова, О. А. Методы расчета и конструирования систем местной обеспыливающей вентиляции: монография / О. А. Аверкова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. – 221 с.
3. Феоктистов А.Ю. Аэродинамика вентиляции и механика аэрозолей: Учебное пособие. - Белгород.: Издательство БГТУ им. В.Г. Шухова, 2009. – 92 с. (электронный ресурс)
4. **Аэродинамика** вентиляции Механика аэрозолей: метод. указания к выполнению лабораторных работ / сост: А.Ю. Феоктистов. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. - 16 с.
5. Энергосбережение в аспирации: теорет. предпосылки и рекомендации / И. Н. Логачёв, К. И. Логачев, О. А. Аверкова. - Москва ; Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, 2013. - 504 с.
6. Отрывные течения в спектрах вытяжных каналов : монография / О. А. Аверкова, И. Н. Логачев, К. И. Логачев. - Москва ; Ижевск : Издательство института компьютерных исследований, 2012. - 288 с.
- Пузанов А.В. Инженерный анализ в AutodeskSimulationMultiphysics. Методическое руководство. - М.: ДМК Пресс, 2012. - 912 с.
7. Феоктистов А. Ю. Аэродинамика вентиляции. Механика аэрозолей Учебное пособие Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова 2011 <https://elib.bstu.ru/Reader/Book/2013040918112855762400005538>
8. Феоктистов А. Ю. Аэродинамика вентиляции. Механика аэрозолей Методические указания Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова2011 <https://elib.bstu.ru/Reader/Book/2013040918170073320000006296>

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

1. EqWorld Мир математических уравнений <http://eqworld.ipmnet.ru/>
2. Открытая Научная Интернет Библиотека <http://lib.e-science.ru/>
3. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU
4. Российское образование ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ПОРТАЛ: <http://www.edu.ru/>
5. Сайт НеХудожественная Литература NeHudLit: <http://www.nehudlit.ru/books/subcat352.html>

## Утверждение рабочей программы без изменений

Рабочая программа без изменений утверждена на 2022/2023 учебный год.  
Протокол № 12 заседания кафедры от «12» мая 2022 г.

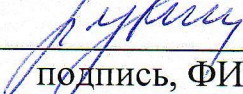
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ В.А. Уваров  
подпись, ФИО

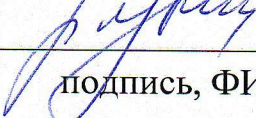
Директор института \_\_\_\_\_ В.А. Уваров  
подпись, ФИО



## Утверждение рабочей программы без изменений

Рабочая программа без изменений утверждена на 2023/2024 учебный год.  
Протокол № 12 заседания кафедры от «5» мая 2023 г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ В.А. Уваров  
  
подпись, ФИО

Директор института \_\_\_\_\_ В.А. Уваров  
  
подпись, ФИО