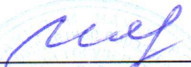



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г.ШУХОВА»**  
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

УТВЕРЖДАЮ


Директор института магистратуры

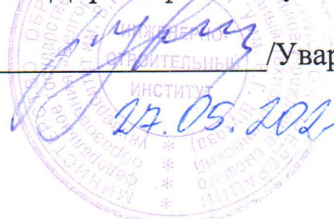
  
\_\_\_\_\_/Ярмоленко И.В./  
*24.05.2021*



УТВЕРЖДАЮ

Директор института ИСИ

  
\_\_\_\_\_/Уваров В.А./  
*24.05.2021*



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
**дисциплины**

Численные методы решения задач отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха

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  
Теплогазоснабжение 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
	ПКО-3. Способность осуществлять обоснование проектных решений систем теплогазоснабжения, вентиляции	ПКО-3. 1 Выбор данных для выполнения расчётного обоснования технологических, технических и конструктивных решений систем теплогазоснабжения, вентиляции	В результате освоения дисциплины обучающийся должен <b>Знать:</b> численные методы вихревых течений при помощи дискретных вихрей <b>Уметь:</b> использовать данные вычислительных экспериментов для разработки научно-обоснованных предложений по совершенствованию систем обеспечения микроклимата <b>Владеть:</b> навыками использования методов вычислительных экспериментов в практической деятельности
		ПКО-3. 2 Выбор метода и методики выполнения расчётного обоснования технологических, технических и конструктивных решений систем теплогазоснабжения, вентиляции	<b>Знать:</b> методы обработки экспериментальных данных; <b>Уметь:</b> решать научно-технические задачи в сфере профессиональной деятельности на основе нормативно-технической документации и знания проблем отрасли и опыта <b>Владеть:</b> навыками самостоятельной обработки информации и данных физического эксперимента
		ПКО-3. 3 Выполнение и контроль проведения расчетного обоснования технологических, технических и конструктивных решений систем теплогазоснабжения, вентиляции, документирование результатов расчётного обоснования	<b>Знать:</b> освоенный материал в полном объеме; <b>Уметь:</b> обрабатывать результаты математического эксперимента <b>Владеть:</b> навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой

	ПКР-1. Способность выполнять и организовывать научные исследования в сфере теплогазоснабжения и вентиляции	ПКР-1.1 Формулирование целей, постановка задач исследования в сфере теплогазоснабжения и вентиляции	В результате освоения дисциплины обучающийся должен <b>Знать:</b> численные методы вычислительных экспериментов на ЭВМ; <b>Уметь:</b> анализировать данные вычислительных экспериментов, определять их достоверность и адекватность. <b>Владеть:</b> навыками и основными методами обработки вычислительных экспериментов.
		ПКР-1.2 Выбор метода и/или методики проведения исследований в сфере теплогазоснабжения и вентиляции	<b>Знать:</b> теоретический материал в полном объеме; <b>Уметь:</b> обрабатывать результаты проведенных инженерных исследований <b>Владеть:</b> навыками подбора и расчета оборудования для проведения исследований.
		ПКР-1.3 Составление плана исследований в сфере теплогазоснабжения и вентиляции	<b>Знать:</b> освоенный материал в полном объеме; <b>Уметь:</b> составлять план исследований в сфере теплогазоснабжения и вентиляции <b>Владеть:</b> навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой
		ПКР-1.4 Определение перечня ресурсов, необходимых для проведения исследования	<b>Знать:</b> освоенный материал в полном объеме; <b>Уметь:</b> определять перечень ресурсов, необходимых для проведения исследования <b>Владеть:</b> навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой
		ПКР-1.5 Составление аналитического обзора научно-технической информации в сфере	В результате освоения дисциплины обучающийся должен <b>Знать:</b> научно-техническую литературу в сфере

		теплогазоснабжения и вентиляции	теплогазоснабжения и вентиляции <b>Уметь:</b> составлять аналитический обзор <b>Владеть:</b> навыками использования информационных технологий для совершенствования технологических процессов в сфере теплогазоснабжения и вентиляции
		ПКР-1.6 Разработка физических и/или математических моделей исследуемых объектов	В результате освоения дисциплины обучающийся должен <b>Знать:</b> компьютерные методы моделирования технологических процессов <b>Уметь:</b> использовать физические и математические модели исследуемых объектов для совершенствования технологических процессов <b>Владеть:</b> навыками разработка физических и/или математических моделей для совершенствования технологических процессов
		ПКР-1.7 Проведение математического моделирования в сфере теплогазоснабжения и вентиляции	В результате освоения дисциплины обучающийся должен <b>Знать:</b> технику измерения физических величин, приборы и оборудование для проведения физических измерений <b>Уметь:</b> обрабатывать результаты проведенных инженерных исследований, оценивать точность и достоверность имеющихся прямых и косвенных измерений. <b>Владеть:</b> математическими приемами анализа и обработки результатов исследований; навыками планирования экспериментальных исследований
		ПКР-1.8	<b>Знать:</b> Основные научно-

		Обработка и систематизация результатов исследования и получение экспериментально-статистических моделей, описывающих поведение исследуемого объекта	технические задачи в сфере профессиональной деятельности <b>Уметь:</b> анализировать адекватность аналитических данных относительно экспериментальных. <b>Владеть:</b> навыками и основными методами обработки экспериментов.
--	--	---	---

## 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 теплообмен 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 №2
Общая трудоемкость дисциплины, час	108	108
Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:	8	8
Лекции	4	4
Лабораторные	4	4
Практические		
Групповые консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации		
Самостоятельная работа студентов, включая индивидуальные и групповые консультации, в т. ч.:	100	100
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 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. Метод дискретных вихрей для расчета вихревых течений в спектре действия местных вентиляционных отсосов. Метод дискретных вихревых колец.</b>					
	<p>История создания метода дискретных вихрей. Линейный вихрь, циркуляция. Формула Био-Савара-Лапласа. Вихревое течение в спектре действия отсоса над прямым двухгранным углом. Расчет течения на входе в щелевидный отсос. Вихревое течение на вход в щелевидный отсос-раструб. Расчет вихревого течения в замкнутом помещении рабочего кабинета.</p> <p>Поле скоростей от вихревого кольца. Взаимодействие вихревых колец. Расчет формы отрывной области на вход в круглый отсос-раструб. Турбулентные пульсации скоростей. Экранирование отсоса-раструба турбулентной кольцевой струей.</p>	1		1	12
<b>2. Численное моделирование вихревых течений в закрытых вытяжных устройствах.</b>					
	<p>Вычислительный алгоритм расчета вихревых течений в аспирационном укрытии. Расчет поведения полифракционной пылевой аэрозоли, дисперсного состава и концентрации пылевых аэрозолей в аспирируемом воздухе. Комбинация методов граничных интегральных уравнений и дискретных вихрей. Расчет течений в многосвязных областях с вращающимися цилиндрами-отсосами.</p>	1		1	12
<b>3. Численное моделирование вихревых течений в многосвязных областях с разрезами. Численный метод дискретных вихревых многоугольников</b>					
	<p>Вычислительный алгоритм расчета вихревых течений в многосвязных областях с разрезами. Условие Томпсона. Расчет течения на входе в щелевидные неплотности аспирационных укрытий. Расчет течения на предприятиях агропромышленного комплекса.</p> <p>Поле скоростей от вихревого отрезка. Вихревые многоугольники. Расчет вихревых течений на входе в</p>	1		1	15



	квадратные и многоугольные всасывающие каналы. Расчет экранированных вытяжных устройств. Оптимизация вытяжных устройств по критерию дальности				
<b>4. Метод дискретных стационарных вихрей</b>					
	Вычислительный алгоритм расчета на входе в щелевидный и круглый всасывающие каналы при задании величины постоянной циркуляции на свободной поверхности тока. Вычислительный алгоритм расчета на входе в щелевидный и круглый всасывающие каналы при средней скорости всасывания. Расчет изменения к.м.с. входа в неплотности щелевидной и круглой формы при их механическом экранировании. Расчет течений на входе в отсосы-раструбы в неограниченном пространстве. Расчет течений на входе в отсосы-раструбы над непроницаемой плоскостью. Расчет течений на входе в круглый всасывающий патрубок при наличии набегающего потока. Расчет течений на входе в отсосы-раструбы при наличии набегающего потока. О задачах аспирации аэрозолей в пробоотборники. Определение критических линий тока и предельных траекторий пылевых частиц, коэффициента аспирации. Критерии эффективности отсоса-раструба	1		1	14
	<b>ВСЕГО</b>	4		4	51

#### 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
<b>семестр № 2</b>				
1	Метод дискретных вихрей для расчета вихревых течений в спектре действия местных вентиляционных отсосов	Вихревое течение на вход в щелевидный отсос-раструб.  Расчет вихревого течения в замкнутом помещении рабочего кабинета.  Расчет формы отрывной области на вход в круглый отсос-раструб.	1	12

2	Численное моделирование вихревых течений в закрытых вытяжных устройствах.	Расчет поведения полифракционной пылевой аэрозоли, дисперсного состава и концентрации пылевых аэрозолей в аспирируемом воздухе.  Расчет поведения полифракционной пылевой аэрозоли, дисперсного состава и концентрации пылевых аэрозолей в аспирируемом воздухе при наличии вращающегося цилиндра-отсоса.	1	14
3	Численное моделирование вихревых течений в многосвязных областях с разрезами.	Расчет течения на входе в щелевидные неплотности аспирационных укрытий. Расчет вихревых течений на входе в квадратный всасывающий канал. Расчет вихревых течений на входе в круглый всасывающий канал. Расчет вихревых течений на входе в экранированный всасывающий канал.	1	12
12	Метод дискретных стационарных вихрей	Расчет изменения к.м.с. входа в неплотности щелевидной при их механическом экранировании. Расчет изменения к.м.с. входа в неплотности круглой формы при их механическом экранировании. Расчет отрывной поверхности тока на входе в круглый отсос-раструб.	1	11
ВСЕГО:			4	49

#### 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

### Пример выполнения теоретической части задания

В разделе приводится перечень заданий и материалов по оценке заявленных результатов обучения, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций (указать ссылки на все методические материалы из рабочей программы).

**Текущий контроль** осуществляется в течение семестра в форме выполнения и защиты лабораторных работ и выполнения индивидуального домашнего задания.

**Лабораторные работы.** В лабораторном практикуме по дисциплине представлен перечень лабораторных работ, обозначены цель и задачи, необходимые теоретические и методические указания работе, рассмотрен практический пример, даны варианты выполнения и перечень контрольных вопросов.

Защита лабораторных работ возможна после проверки правильности выполнения задания, оформления отчета. Защита проводится в форме собеседования преподавателя со студентом по теме лабораторной работы. Примерный перечень контрольных вопросов для защиты лабораторных работ представлен в таблице.

№	Тема лабораторной работы	Контрольные вопросы
1	Вихревое течение на вход в щелевидный отсос-раструб.	1. Линейный вихрь, циркуляция. 2. Формула Био-Савара-Лапласа.
2	Расчет вихревого течения в замкнутом помещении рабочего кабинета.	1. Вихревое течение в спектре действия отсоса над прямым двухгранным углом. 2. Точка отрыва от гладкой поверхности. 3. Выбор параметров дискретности
3	Расчет формы отрывной области на вход в круглый от-	1. Поле скоростей от вихревого кольца. 2. Взаимодействие вихревых колец. 3. Расчет формы отрывной области на вход в

№	Тема лабораторной работы	Контрольные вопросы
	сос-раструб.	круглый отсос-раструб. 4. Турбулентные пульсации скоростей.
4	Экранирование отсоса-раструба турбулентной кольцевой струей.	1. Точки отрыва. 2. Влияние экранирующей струи на всасывающий факел местного отсоса.
5	Расчет поведения полифракционной пылевой аэрозоли, дисперсного состава и концентрации пылевых аэрозолей в аспирируемом воздухе.	1. Вычислительный алгоритм расчета вихревых течений в аспирационном укрытии. 2. Расчет поведения полифракционной пылевой аэрозоли, дисперсного состава и концентрации пылевых аэрозолей в аспирируемом воздухе.
6	Расчет поведения полифракционной пылевой аэрозоли, дисперсного состава и концентрации пылевых аэрозолей в аспирируемом воздухе при наличии вращающегося цилиндра-отсоса.	1. Вычислительный алгоритм расчета вихревых течений в аспирационном укрытии. 2. Расчет поведения полифракционной пылевой аэрозоли, дисперсного состава и концентрации пылевых аэрозолей в аспирируемом воздухе.
7	Расчет течения на входе в щелевидные неплотности аспирационных укрытий	1. Вычислительный алгоритм расчета вихревых течений в многосвязных областях с разрезами. 2. Условие Томпсона неизменности циркуляции.
8	Расчет течения на предприятиях агропромышленного комплекса.	1. Особенности расчета течения в областях трапецевидной формы. 2. Обеспечение нормируемой скорости.
9	Расчет вихревых течений на входе в квадратный всасывающий канал.	1. Построение отрывной поверхности. 2. Выбор параметров дискретности.
10	Расчет вихревых течений на входе в	1. Пульсации скорости. 2. Осреднение поля скоростей

№	Тема лабораторной работы	Контрольные вопросы
	круглый всасывающий канал.	
11	Расчет вихревых течений на входе в экранированный всасывающий канал.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поле скоростей от вихревого отрезка.</li> <li>2. Вихревые многоугольники.</li> <li>3. Расчет вихревых течений на входе в квадратные и многоугольные всасывающие каналы.</li> <li>4. Расчет экранированных вытяжных устройств.</li> <li>5. Оптимизация вытяжных устройств по критерию дальности.</li> </ol>
12	Расчет изменения к.м.с. входа в неплотности щелевидной при их механическом экранировании.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определение влияния механических экранов на к.м.с.</li> </ol>
13	Расчет изменения к.м.с. входа в неплотности круглой формы при их механическом экранировании.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определение влияния механических экранов на к.м.с.</li> </ol>
14	Расчет отрывной поверхности тока на входе в круглый отсос-раструб.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Расчет течений на входе в круглый всасывающий патрубок при наличии набегающего потока.</li> <li>2. Расчет течений на входе в отсосы-раструбы при наличии набегающего потока.</li> <li>3. Задачи аспирации аэрозолей в пробоотборники.</li> <li>4. Определение критических линий тока и предельных траекторий пылевых частиц, коэффициента аспирации.</li> <li>5. Критерии эффективности отсоса-раструба</li> </ol>

Критерии оценивания лабораторной работы.

Оценка	Критерии оценивания
5	Работа выполнена полностью. Студент владеет теоретическим ма-

Оценка	Критерии оценивания
	териалом, отсутствуют ошибки при описании теории, формулирует собственные, самостоятельные, обоснованные, аргументированные суждения, представляет полные и развернутые ответы на дополнительные вопросы.
4	Работа выполнена полностью. Студент владеет теоретическим материалом, отсутствуют ошибки при описании теории, формулирует собственные, самостоятельные, обоснованные, аргументированные суждения, допуская незначительные ошибки на дополнительные вопросы.
3	Работа выполнена полностью. Студент владеет теоретическим материалом на минимально допустимом уровне, присутствуют незначительные ошибки при описании теории, испытывает затруднения в формулировке собственных обоснованных и аргументированных суждений, допуская незначительные ошибки на дополнительные вопросы.
2	Работа выполнена не полностью. Студент практически не владеет теоретическим материалом, допуская ошибки по существу рассматриваемых (обсуждаемых) вопросов, испытывает затруднения в формулировке собственных обоснованных и аргументированных суждений, допускает ошибки при ответе на дополнительные вопросы.

На выполнение РГЗ предусмотрено 12 часов самостоятельной работы студента.

**Цель задания:** приобретение практических навыков по применению метода дискретных вихрей для решения задач по совершенствованию системы вентиляции.

**Структура работы.** Расчётно-графическое задание предусматривает выполнение расчета поля скоростей, линий тока, вихревой структуры течения.

**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.

## Моделирование вихревых течений в трапециевидной области

Моделирование циркуляционных течений в замкнутом помещении необходимо для правильной организации вентиляции. Например, в помещении молочно-товарной фермы (МТФ) для содержания крупного рогатого скота существует ограничение по величине скорости движения воздуха. В холодное время года предельно допустимая скорость составляет  $0.3 - 0.5$  м/с. Летом скорость движения воздуха может быть увеличена до  $0.6 - 1.0$  м/с. Кроме того, необходимо, чтобы движение воздуха было организовано в нижней части помещения. Целью параграфа является определение на основе разработанной математической модели и вычислительного эксперимента наиболее рациональной схемы вентиляции в подобных помещениях.

Физическая постановка задачи состоит в определении поля скоростей и вихревой структуры течения внутри замкнутого помещения непрямоугольной формы, в верхней части которого находится всасывающее отверстие и содержащее открытые проемы, откуда воздух поступает снаружи (рис.1).

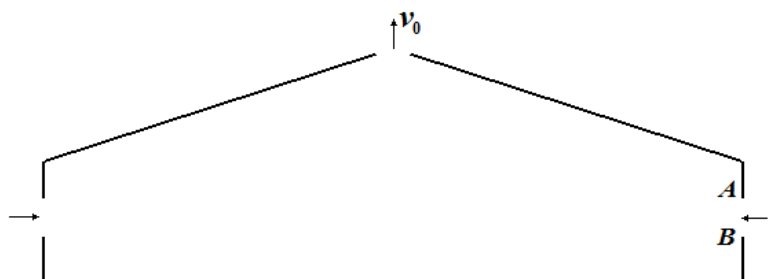


Рис.1. К постановке задачи

Поскольку течение симметрично относительно вертикальной оси, то будем рассматривать, лишь одну часть расчетной области (рис.2), в открытом проеме которого также могут содержаться тонкие профили.

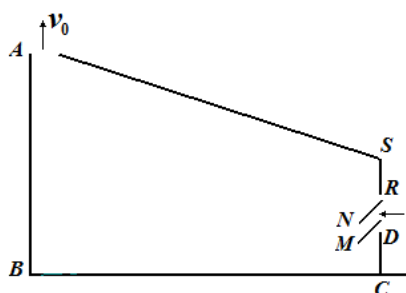


Рис.2. Расчетная область течения

Моделирование в односвязной области (рис.3) осуществлялось при следующих параметрах: шаг дискретности  $h = 0.05$  м; шаг по времени  $\Delta t = 0.06$  с; скорость в отсеке  $1$  м/с. Присоединенные вихри показаны по границе области в виде кружочков. Рассматривались следующие моменты времени: а)  $t = 77$  с (в этот момент времени в области находятся  $2075$  свободных вихрей); б)  $t = 118$  ( $2695$  свободных вихрей); в)  $t = 155$  ( $3151$  свободных вихрей); г)  $t = 178$  ( $3310$  свободных вихрей); д)  $t = 241$  ( $3696$  свободных вихрей); е)  $t = 423$  ( $4470$  свободных вихрей).

свободных вихрей); ж)  $t = 695$  (4980 свободных вихрей); з)  $t = 738$  (5118 свободных вихрей)

Линии тока строились после того, как свободные вихри (изображены точками на рис.3) полностью заполняют область. С течением времени вихревая структура (рис.3, а-з) изменяется. Вначале поток среды прижимается к низу (рис.3, а-б), затем перемещается к центру (рис.3, в-г), затем располагается ближе к верхней части границы (рис.3, д-з).

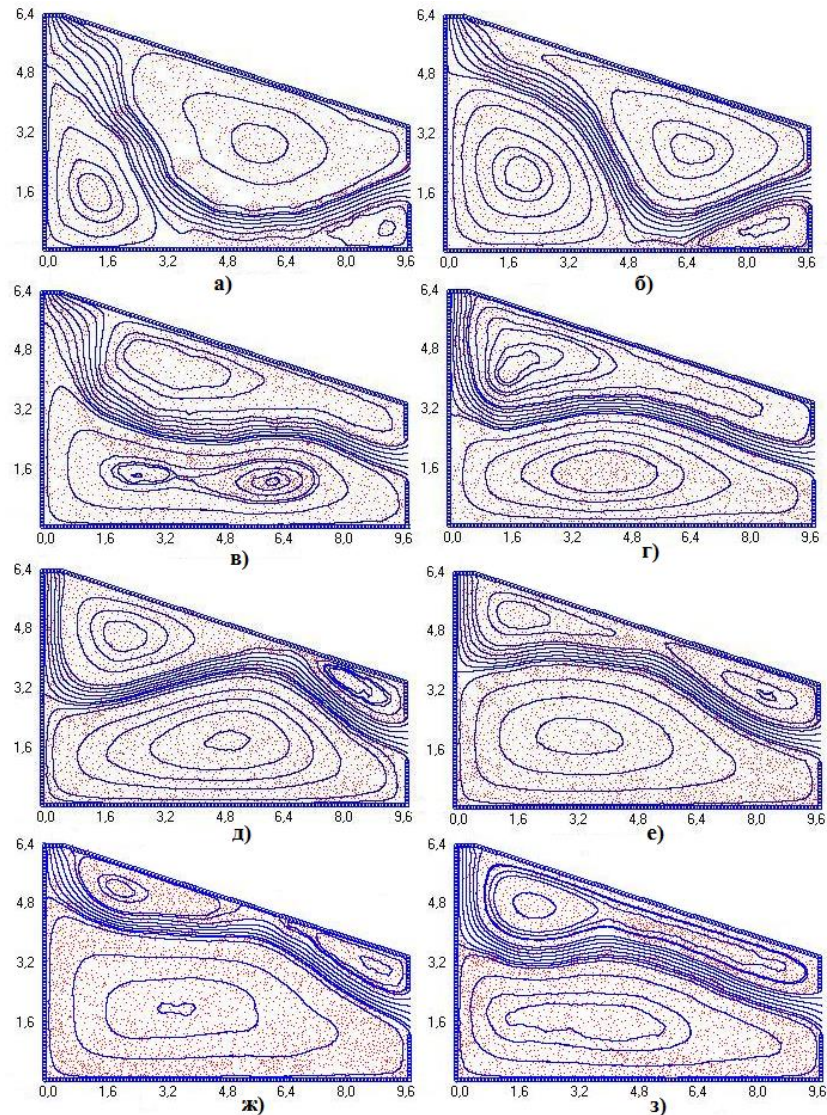


Рис.3. Вихревая структура течения в разные моменты времени

Размеры расчетной области соответствуют размерам помещения МТФ на 650 фуражных коров в с. Кривцово Яковлевского района Белгородской области (рис.1). Моделирование осуществлялось при разных высотах открытого проема (окна): 1,2 м (рис.4); 0,8 м (рис.5); 0,4 м (рис.6). Расстояние между двумя соседними присоединенными вихрями (шаг дискретности)  $h = 0.1$  м;



шаг по времени  $\Delta t = h \cdot AB / (v_0 \cdot 1\text{м})$ . Построены линии тока и в профили продольной и горизонтальной составляющей скорости в масштабе.

При высоте окна в интервале 0.8-1.2 м застойная (вихревая) область находится в нижней части помещения (рис.4-5), что является нежелательным для содержания крупного рогатого скота и безопасности труда. В случае снижения размера высоты окна до 0.4 м застойная зона перемещается в верхнюю часть помещения (рис.6). Однако в этом случае наблюдается повышенные значения для скорости в достаточно узкой области, примыкающей к низу помещения. Эту область можно расширить, если при полностью открытом проеме окна установить тонкие профили, например, два профиля длиной 20 см под углом 45 градусов (рис.7). По найденным профилям скоростей можно найти необходимую для безопасности животных скорость вытяжки  $v_0$ . Из расчетов видно, что величина  $v_0$  должна быть снижена вдвое, т.е. должна быть 0.5 м/с.

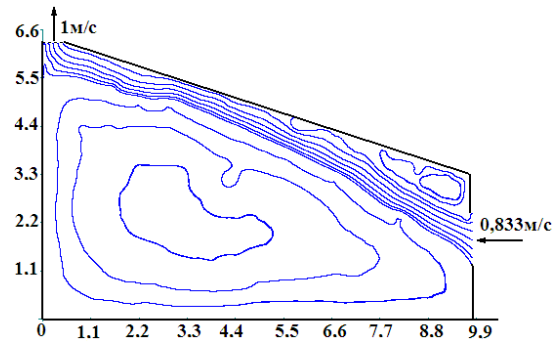
Наиболее рациональной для организации вентиляции является установка тонких профилей в открытых проемах окон, прижимающих вентиляционную струю к нижней части помещения. Построенные линии тока и профили скоростей могут служить для определения необходимых объемов отсасываемого воздуха для обеспечения нужного скоростного режима в воздушных струях.

Таким образом, на основе метода дискретных вихрей и условия Томпсона неизменности циркуляции по жидкому контуру, охватывающему профиль и след, построена математическая модель отрыва потока, отличающаяся от существующих учетом множества разрезов внутри расчетной области, с которых происходит сход вихревой пелены.

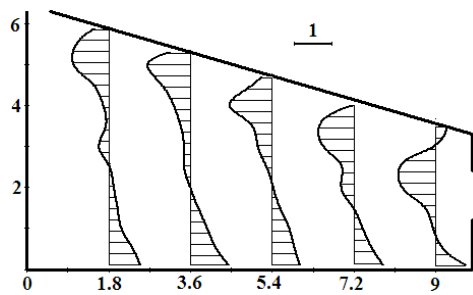
Разработан численный метод реализации указанной модели, состоящий в построении рекуррентной вычислительной схемы, заключающейся в решении систем линейных алгебраических уравнений на каждом временном шаге, правая часть которых определяется с использованием ее значений в предыдущий момент времени и добавлении дискретных аналогов условий Томпсона для каждого из разрезов.

Разработана компьютерная программа для расчета вихревых нестационарных течений в разомкнутых областях с множеством профилей, позволяющих определять поле скоростей, строить линии тока и визуализировать изменение вихревой структуры течения во времени.

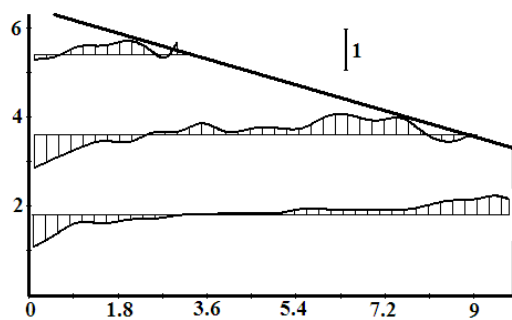
Разработанные методы и алгоритмы проведения вычислительных экспериментов являются основой для построения систем компьютерного и имитационного моделирования в области аэродинамики вентиляции. Обоснованность такого вывода иллюстрируется разработанной программной поддержкой, позволяющей проводить соответствующие вычислительные эксперименты.



а)



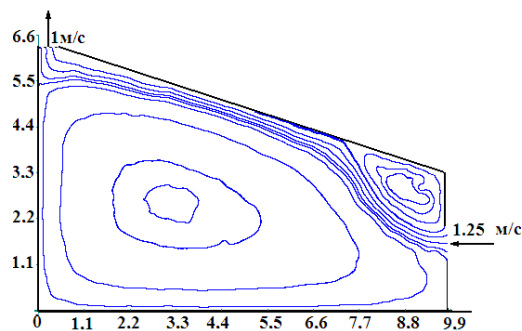
б)



в)

Рис.4. Структура течения при полностью открытом окне высотой 1.2м:

а – линии тока; б – профиль горизонтальной составляющей скорости (изображенный единичный отрезок соответствует величине скорости 1 м/с); в) профиль вертикальной составляющей скорости (модельный момент времени  $t = 448.8$ ; количество свободных вихрей - 2321; шаг по времени  $\Delta t = 0.12$ )



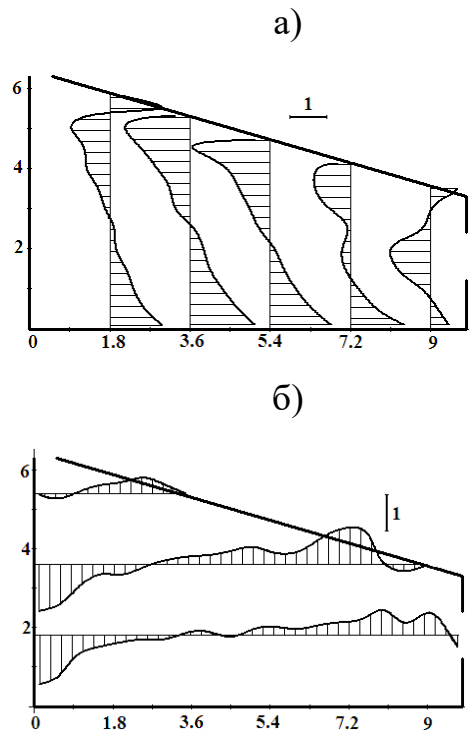
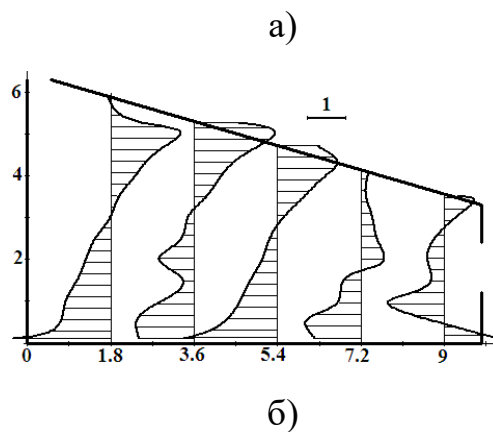
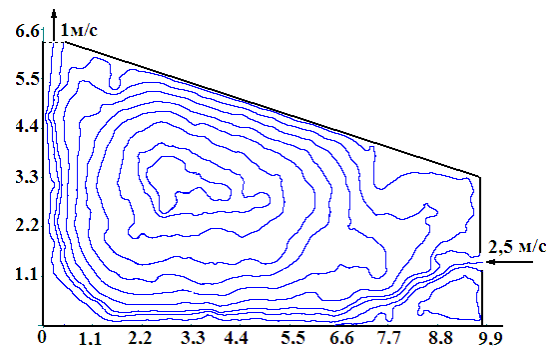
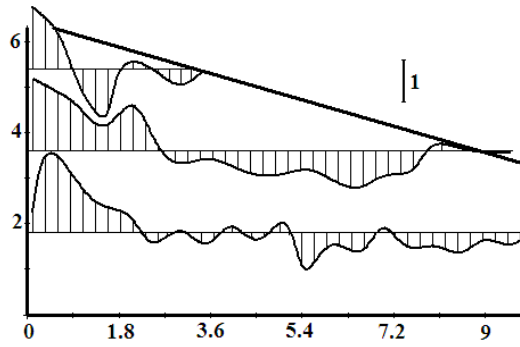


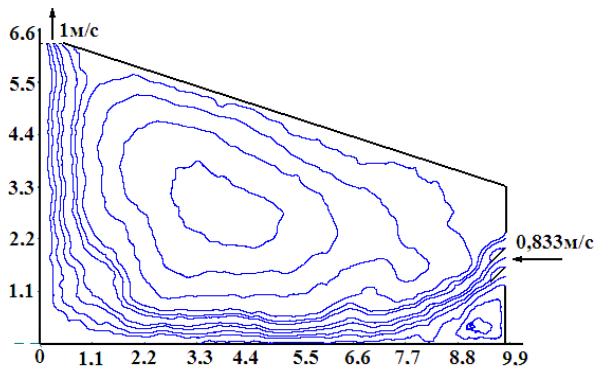
Рис.5. Структура течения при частичном открытом окне высотой 0.8м:  
*a* – линии тока; *б* – профиль горизонтальной составляющей скорости (изображенный единичный отрезок соответствует величине скорости 1 м/с); *в* – профиль вертикальной составляющей скорости (модельный момент времени  $t = 177$ ; количество свободных вихрей - 2005; шаг по времени  $\Delta t = 0.08$ )



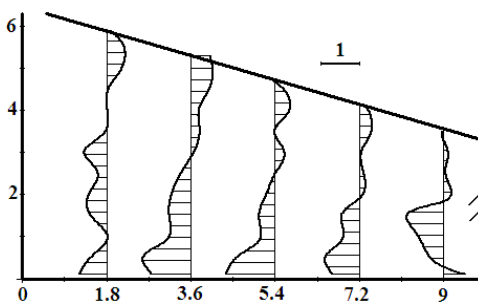


в)

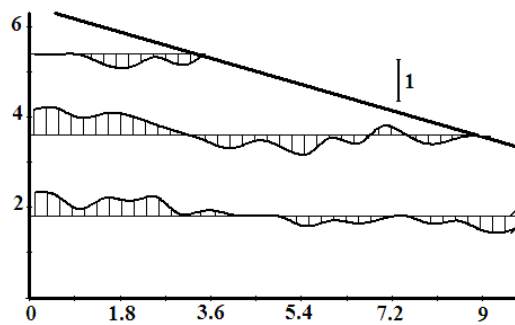
Рис.6. Структура течения при частично открытом окне высотой 0.4 м:  
*a* – линии тока; *б* – профиль горизонтальной составляющей скорости (изображенный единичный отрезок соответствует величине скорости 1 м/с); *в* – профиль вертикальной составляющей скорости (модельный момент времени  $t = 48.96$ ; количество свободных вихрей - 2017; шаг по времени  $\Delta t = 0.04$ )



а)



б)



20

в)

Рис.7. Структура течения при полностью открытом окне с направляющими потока воздуха высотой 1,2 м): *a* – линии тока; *б* – профиль горизонтальной составляющей скорости (изображенный единичный отрезок соответствует величине скорости 1 м/с); *в* – профиль вертикальной составляющей скорости (модельный момент времени  $t = 56.16$ ; количество свободных вихрей - 2599; шаг по времени  $\Delta t = 0.12$ )

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.

**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.

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

### 5.1. Реализация компетенции

#### 1. Компетенция ПКО-3.

Способность осуществлять обоснование проектных решений систем теплогазоснабжения, вентиляции

Наименование индикатора (показателя оценивания)	Используемые средства оценивания
ПКО-3. 1 Выбор данных для выполнения расчётного обоснования технологических, технических и конструктивных решений систем теплогазоснабжения, вентиляции	Зачет, лабораторные занятия, выполнение и защита ИДЗ
ПКО-3. 2 Выбор метода и методики выполнения расчётного обоснования технологических, технических и конструктивных решений систем теплогазоснабжения, вентиляции	Зачет, лабораторные занятия, выполнение и защита ИДЗ
ПКО-3. 3 Выполнение и контроль проведения расчетного обоснования технологических, технических и конструктивных решений систем теплогазоснабжения, вентиляции, документирование результатов расчётного обоснования	Зачет, лабораторные занятия, выполнение и защита ИДЗ

#### 1. Компетенция ПКР-1.

Способность выполнять и организовывать научные исследования в сфере теплогазоснабжения и вентиляции

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

сфере теплогазоснабжения и вентиляции	
ПКР-1.2 Выбор метода и/или методики проведения исследований в сфере теплогазоснабжения и вентиляции	Зачет, лабораторные занятия, выполнение и защита ИДЗ
ПКР-1.3 Составление плана исследований в сфере теплогазоснабжения и вентиляции	Зачет, лабораторные занятия, выполнение и защита ИДЗ
ПКР-1.4 Определение перечня ресурсов, необходимых для проведения исследования	Зачет, лабораторные занятия, выполнение и защита ИДЗ
ПКР-1.5 Составление аналитического обзора научно-технической информации в сфере теплогазоснабжения и вентиляции	Зачет, лабораторные занятия, выполнение и защита ИДЗ
ПКР-1.6 Разработка физических и/или математических моделей исследуемых объектов	Зачет, лабораторные занятия, выполнение и защита ИДЗ
ПКР-1.7 Проведение математического моделирования в сфере теплогазоснабжения и вентиляции	Зачет, лабораторные занятия, выполнение и защита ИДЗ
ПКР-1.8 Обработка и систематизация результатов исследования и получение экспериментально-статистических моделей, описывающих поведение исследуемого объекта	Зачет, лабораторные занятия, выполнение и защита ИДЗ

## 5.2. Типовые контрольные задания для промежуточной аттестации

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

1. История создания метода дискретных вихрей.
2. Применение метода дискретных особенностей.
3. Линейный вихрь, циркуляция.
4. Формула Био-Савара-Лапласа.
5. Вихревое течение в спектре действия отсоса над прямым двугранным углом.
6. Расчет течения на входе в щелевидный отсос.

7. Вихревое течение на вход в щелевидный отсос-раструб.
8. Расчет вихревого течения в замкнутом помещении рабочего кабинета.
9. Поле скоростей от вихревого кольца.
10. Взаимодействие вихревых колец.
11. Расчет формы отрывной области на вход в круглый отсос-раструб.
12. Турбулентные пульсации скоростей.
13. Экранирование отсоса-раструба турбулентной кольцевой струей.
14. Вычислительный алгоритм расчета вихревых течений в аспирационном укрытии.
15. Расчет поведения полифракционной пылевой аэрозоли, дисперсного состава и концентрации пылевых аэрозолей в аспирируемом воздухе.
16. Комбинация методов граничных интегральных уравнений и дискретных вихрей.
17. Расчет течений в многосвязных областях с вращающимися цилиндрами-отсосами.
18. Вычислительный алгоритм расчета вихревых течений в многосвязных областях с разрезами.
19. Условие Томпсона неизменности циркуляции.
20. Расчет течения на входе в щелевидные неплотности аспирационных укрытий.
21. Расчет течения на предприятиях агропромышленного комплекса.
22. Поле скоростей от вихревого отрезка.
23. Вихревые многоугольники.
24. Расчет вихревых течений на входе в квадратные и многоугольные всасывающие каналы.
25. Расчет экранированных вытяжных устройств.
26. Оптимизация вытяжных устройств по критерию дальнобойности.
27. Вычислительный алгоритм расчета на входе в щелевидный и круглый всасывающие каналы при задании величины постоянной циркуляции на свободной поверхности тока.



28. Вычислительный алгоритм расчета на входе в щелевидный и круглый всасывающие каналы при средней скорости всасывания.
29. Расчет изменения к.м.с. входа в неплотности щелевидной и круглой формы при их механическом экранировании.
30. Расчет течений на входе в отсосы-раструбы в неограниченном пространстве.
31. Расчет течений на входе в отсосы-раструбы над непроницаемой плоскостью.
32. Расчет течений на входе в круглый всасывающий патрубок при наличии набегающего потока.
33. Расчет течений на входе в отсосы-раструбы при наличии набегающего потока.
34. Задачи аспирации аэрозолей в пробоотборники.
35. Определение критических линий тока и предельных траекторий пылевых частиц, коэффициента аспирации.
36. Критерии эффективности отсоса-раструба

### **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.**

Не предусмотрено учебным планом

### **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

Оценка	Критерии оценивания
	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. Математические модели и численные методы САПР систем ТГВ / К. И. Логачев, О. А. Аверкова; БГТУ им. В. Г. Шухова. - Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2013. - 154 с.
3. Логачев, К. И. Математическое моделирование и математическое обеспечение систем теплогазоснабжения и вентиляции [Электронный ресурс]

<https://elib.bstu.ru/Reader/Book/2014040920344837515700001801>

4. Волков, Е. А. Численные методы : учеб. пособия / Е. А. Волков. - СПб. : Лань, 2004, 2008 - 248 с.
5. Зарубин, В. С. Математическое моделирование в технике: учеб. / В. С. Зарубин; ред.: В. С. Зарубин, А. П. Крищенко. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. - 495 с.
6. Самарский, А. А. Численные методы / А. А. Самарский, А. В. Гулин. - М.: Наука, 1989. - 432 с.
7. Пирумов, У. Г. Численные методы: учебное пособие / У. Г. Пирумов. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Дрофа, 2003. - 221 с.
8. Масхалая Ж.И., Осипов Ю.В., Павлов А.Б. Основы современной информационной технологии: учебное пособие.— М.: Издательство ассоциации строительных вузов, 2003. — 176 с.
9. Аверченков В.И. Основы математического моделирования технических систем [Электронный ресурс]: учебное пособие/ В.И. Аверченков — Брянск: Брянский государственный технический университет, 2012.— 271с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/7003>
10. Янилкин Ю.В., Стаценко В.П., Козлов В.И. Математическое моделирование турбулентного перемешивания в сжимаемых средах [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Ю.В. Янилкин, В. П. Стаценко, В.И. Козлов — Саратов: Российский федеральный ядерный центр, 2009. — 508с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/18438>
11. Саталкина Л.В., Пеньков В.Б. Математическое моделирование: задачи и методы механики. [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Л.В. Саталкина, В.Б. Пеньков В.Б. — Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2013. — 97с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/22880>

#### **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

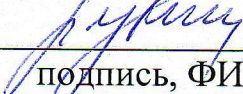
Рабочая программа без изменений утверждена на 2022/2023 учебный год.  
Протокол № 12 заседания кафедры от «12» мая 2022 г.

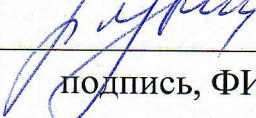
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ В.А. Уваров  
подпись, ФИО

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