

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
Направление подготовки 12.03.01 «Приборостроение»  
Отделение контроля и диагностики

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

<b>Тема работы</b>
<b>Математическое моделирование возникновения и распространения степных пожаров</b>

УДК 614.841.42:519.876(251.1)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
151Б51	Цзюй Ичэнь		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов Валерий Афанасьевич	д.ф.-м.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фадеева Вера Николаевна	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Панин Владимир Филиппович	д.т.н., профессор		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД ИШНКБ	Мойзес Борис Борисович	к.т.н.		

Томск 2019

*Планируемые результаты освоения*

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР
Р1	<p>Работать индивидуально и в коллективе по междисциплинарной тематике, внедрять в практическую деятельность инновационные подходы для достижения конкретных результатов, обеспечивать корпоративные интересы и соблюдать корпоративную этику</p>	<p>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-3; ОПК-4, 8)            CDIO Syllabus (2.3, 3.1, 3.2, 4.7, 4.8)            Критерий 5 АИОР (п. 1.6, 2.3, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI  <u>Требования профессиональных стандартов</u>            19.016. Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов №1161н (рег. № 418 от 26.12.14)            19.026. Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса №156н (рег. №436 от 3.12.15)            19.032. Специалист по диагностике газотранспортного оборудования №1125н (рег. №800 от 24.12.15)            29.004. «Специалист в области проектирования и сопровождения производства оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов» № 1141н (рег. №40836 от 28.01.16)            29.006. Специалист по проектированию систем в корпусе №519н (рег. №850 от 15.09.16)            40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции №46271 (рег. №31 от 21.03.17)            40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам № 31692 (рег. № от 21.03.14)            40.053. Специалист по организации постпродажного обслуживания и сервиса №864н (рег. №34867 от 24.11.14)            40.108. Специалист по неразрушающему контролю №976н (рег. №658 от 3.12.15)            40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики №181н (рег. № 961 от 15.02.17)</p>
Р2	<p>Применять основные законы и положения естественных наук и математики, экономических и гуманитарных наук знаний с учетом социальных и культурных аспектов инженерной деятельности при соблюдении требований охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности для ведения полноценной профессиональной деятельности</p>	<p>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-7, 8; ОПК-1, 3, 10)            CDIO Syllabus (1.1., 2.5)            Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.3, 2.5, 4.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI  <u>Требования профессиональных стандартов</u>            19.016. Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов №1161н (рег. № 418 от 26.12.14)            19.026. Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса №156н (рег. №436 от 3.12.15)            19.032. Специалист по диагностике газотранспортного оборудования №1125н (рег. №800 от 24.12.15)            29.004. «Специалист в области проектирования и сопровождения производства оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов» № 1141н (рег. №40836 от 28.01.16)            29.006. Специалист по проектированию систем в корпусе №519н (рег. №850 от 15.09.16)            40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции №46271 (рег. №31 от 21.03.17)            40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам № 31692 (рег. № от 21.03.14)            40.053. Специалист по организации постпродажного обслуживания и сервиса №864н (рег. №34867 от 24.11.14)            40.108. Специалист по неразрушающему контролю №976н (рег. №658 от 3.12.15)            40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики №181н (рег. № 961 от 15.02.17)</p>
Р3	<p>Осуществлять коммуникацию в профессиональной среде, в обществе, в т.ч. межкультурном уровне и на иностранном языке</p>	<p>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-4, 5, ОПК-8, ПК-17)            CDIO Syllabus (3.2)            Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI  <u>Требования профессиональных стандартов</u>            19.016. Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов №1161н (рег. № 418 от 26.12.14)            19.026. Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса №156н (рег. №436 от 3.12.15)            19.032. Специалист по диагностике газотранспортного оборудования №1125н (рег. №800 от 24.12.15)            29.004. «Специалист в области проектирования и сопровождения производства</p>

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР
		<p>оптотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов» №1141н (рег. №40836 от 28.01.16)  29.006. Специалист по проектированию систем в корпусе №519н (рег. №850 от 15.09.16)  40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции №46271 (рег. №31 от 21.03.17)  40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам №31692 (рег. № от 21.03.14)  40.053. Специалист по организации постпродажного обслуживания и сервиса №864н (рег. №34867 от 24.11.14)  40.108. Специалист по неразрушающему контролю №976н (рег. №658 от 3.12.15)  40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики №181н (рег. №961 от 15.02.17)</p>
Р4	Самообучаться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	<p>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-6)  CDIO Syllabus (2.4)  Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI  <u>Требования профессиональных стандартов</u>  19.016. Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов №1161н (рег. №418 от 26.12.14)  19.026. Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса №156н (рег. №436 от 3.12.15)  19.032. Специалист по диагностике газотранспортного оборудования №1125н (рег. №800 от 24.12.15)  29.004. «Специалист в области проектирования и сопровождения производства оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов» №1141н (рег. №40836 от 28.01.16)  29.006. Специалист по проектированию систем в корпусе №519н (рег. №850 от 15.09.16)  40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции №46271 (рег. №31 от 21.03.17)  40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам №31692 (рег. № от 21.03.14)  40.053. Специалист по организации постпродажного обслуживания и сервиса №864н (рег. №34867 от 24.11.14)  40.108. Специалист по неразрушающему контролю №976н (рег. №658 от 3.12.15)  40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики №181н (рег. №961 от 15.02.17)</p>
Р5	Собирать, хранить и обрабатывать информацию, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности при соблюдении основных требований информационной безопасности	<p>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, ОПК-2, 5-9)  Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI  <u>Требования профессиональных стандартов</u>  19.016. Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов №1161н (рег. №418 от 26.12.14)  19.026. Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса №156н (рег. №436 от 3.12.15)  19.032. Специалист по диагностике газотранспортного оборудования №1125н (рег. №800 от 24.12.15)  29.004. «Специалист в области проектирования и сопровождения производства оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов» №1141н (рег. №40836 от 28.01.16)  29.006. Специалист по проектированию систем в корпусе №519н (рег. №850 от 15.09.16)  40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции №46271 (рег. №31 от 21.03.17)  40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам №31692 (рег. № от 21.03.14)  40.053. Специалист по организации постпродажного обслуживания и сервиса №864н (рег. №34867 от 24.11.14)  40.108. Специалист по неразрушающему контролю №976н (рег. №658 от 3.12.15)  40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и</p>

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР
		автоматики №181н (рег. № 961 от 15.02.17)
Р6	Планировать и проводить теоретические и экспериментальные исследования, анализировать и обрабатывать их результаты с использованием инновационных методов моделирования и компьютерных сетевых технологий	<p>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, ОПК-5, 6, ПК-1-4).  CDIO Syllabus (2.1, 2.2, 2.3, 2.4)  Критерий 5 АИОР (п. 1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI</p> <p><u>Требования профессиональных стандартов</u>  19.016. Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов №1161н (рег. № 418 от 26.12.14)  19.026. Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса №156н (рег. №436 от 3.12.15)  19.032. Специалист по диагностике газотранспортного оборудования №1125н (рег. №800 от 24.12.15)  29.004. «Специалист в области проектирования и сопровождения производства оптоэлектронных, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов» №1141н (рег. №40836 от 28.01.16)  29.006. Специалист по проектированию систем в корпусе №519н (рег. №850 от 15.09.16)  40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции №46271 (рег. №31 от 21.03.17)  40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам №31692 (рег. № от 21.03.14)  40.053. Специалист по организации постпродажного обслуживания и сервиса №864н (рег. №34867 от 24.11.14)  40.108. Специалист по неразрушающему контролю №976н (рег. №658 от 3.12.15)  40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики №181н (рег. № 961 от 15.02.17)</p>
Р7	Проектировать, конструировать системы, приборы, детали и узлы с учетом обеспечения технологичности конструкции с учетом возможных рисков	<p>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2, ПК-1-6, 8)  CDIO Syllabus (1.2., 1.3, 2.4, 4.1, 4.4)  Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI</p> <p><u>Требования профессиональных стандартов</u>  19.016. Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов №1161н (рег. № 418 от 26.12.14)  19.026. Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса №156н (рег. №436 от 3.12.15)  19.032. Специалист по диагностике газотранспортного оборудования №1125н (рег. №800 от 24.12.15)  29.004. «Специалист в области проектирования и сопровождения производства оптоэлектронных, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов» №1141н (рег. №40836 от 28.01.16)  29.006. Специалист по проектированию систем в корпусе №519н (рег. №850 от 15.09.16)  40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции №46271 (рег. №31 от 21.03.17)  40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам №31692 (рег. № от 21.03.14)  40.053. Специалист по организации постпродажного обслуживания и сервиса №864н (рег. №34867 от 24.11.14)  40.108. Специалист по неразрушающему контролю №976н (рег. №658 от 3.12.15)  40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики №181н (рег. № 961 от 15.02.17)</p>
Р8	Проводить мероприятия комплексной подготовки производства в сфере профессиональной деятельности с использованием ресурсоэффективных технологий	<p>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-4, ПК-8-18)  CDIO Syllabus (2.4, 4.2, 4.3, 4.5)  Критерий 5 АИОР (п. 1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI</p> <p><u>Требования профессиональных стандартов</u>  19.016. Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов №1161н (рег. № 418 от 26.12.14)  19.026. Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса №156н (рег. №436 от 3.12.15)  19.032. Специалист по диагностике газотранспортного оборудования №1125н</p>

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР
		<p>(рег. №800 от 24.12.15)  29.004. «Специалист в области проектирования и сопровождения производства оптоэлектронных, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов» №1141н (рег. №40836 от 28.01.16)  29.006. Специалист по проектированию систем в корпусе №519н (рег. №850 от 15.09.16)  40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции №46271 (рег. №31 от 21.03.17)  40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам №31692 (рег. № от 21.03.14)  40.053. Специалист по организации постпродажного обслуживания и сервиса №864н (рег. №34867 от 24.11.14)  40.108. Специалист по неразрушающему контролю №976н (рег. №658 от 3.12.15)  40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики №181н (рег. №961 от 15.02.17)</p>
Р9	<p>Обеспечивать эксплуатацию и обслуживание информационно-измерительных средств, приборов контроля качества и диагностики</p>	<p>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2, ПК-7, 19-23)  CDIO Syllabus (4.6.)  Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI  <u>Требования профессиональных стандартов</u>  19.016. Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов №1161н (рег. №418 от 26.12.14)  19.026. Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса №156н (рег. №436 от 3.12.15)  19.032. Специалист по диагностике газотранспортного оборудования №1125н (рег. №800 от 24.12.15)  29.004. «Специалист в области проектирования и сопровождения производства оптоэлектронных, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов» №1141н (рег. №40836 от 28.01.16)  29.006. Специалист по проектированию систем в корпусе №519н (рег. №850 от 15.09.16)  40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции №46271 (рег. №31 от 21.03.17)  40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам №31692 (рег. № от 21.03.14)  40.053. Специалист по организации постпродажного обслуживания и сервиса №864н (рег. №34867 от 24.11.14)  40.108. Специалист по неразрушающему контролю №976н (рег. №658 от 3.12.15)  40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики №181н (рег. №961 от 15.02.17)</p>

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего**  
**образования**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ**  
**ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки 12.03.01 «Приборостроение»  
Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП  
Б.Б. Мойзес  
Подпись 01.04.2019 г. Ф.И.О.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме

**бакалаврской работы**

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студент

Группа	ФИО
151Б51	Цзюй Ичэнь

Тема работы:

Математическое моделирование возникновения и распространения степных пожаров	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	10079/С от 14.11.2018

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Объектом исследования в данной работе были степные пожары. Исходные данные для численных расчетов задавались в редакторе ввода MATLAB. Предметом исследования являлась математическая модель степных пожаров.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1) Обзор существующих теоретических и экспериментальных методов изучения степных пожаров 2) Выбор метода математического моделирования 3) Применение метода контрольного объема для получения дискретного аналога 4) Разработка математической постановки задачи о возникновении и распространении степного пожара 5) Задание исходных данных и параметров. 6). Разработка численной методики решения задачи. 7) Численное решение задачи о распространении степного пожара 9) Анализ результатов решения задачи и анализ влияния влагосодержания растительных горючих материалов и скорости ветра на скорость распространения степного пожара.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)	

<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b>	<b>Фадеева Вера Николаевна</b>
<b>Социальная ответственность</b>	<b>Панин Владимир Филиппович</b>

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Профессор	Перминов Валерий Афанасьевич	д.ф.-м.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
151Б51	Цзюй Ичэнь		

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ**  
**ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля  
 Направление подготовки 12.03.01 «Приборостроение»  
 Уровень образования бакалавриат  
 Отделение контроля и диагностики  
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2018/2019 учебного года)

Форма представления работы:

**бакалаврской работы**

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**

**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы: \_\_\_\_\_

<b>Дата контроля</b>	<b>Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)</b>	<b>Максимальный балл раздела (модуля)</b>
1.03.19	Сбор материалов и изучение воздействия степных пожаров	10
28.04.19	Разработка математической модели возникновения и распространение степных пожаров	30
13.05.19	Расчет скорости распространения степного пожара при различных метеорологических условиях и состоянии растительных горючих материалов	30
22.05.19	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».	15
14.05.19	Раздел «Социальная ответственность». Рассмотреть опасные и вредные производственные факторы, способы защиты работающего персонала	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов Валерий Афанасьевич	д.ф.-м.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД ИШНКБ	Мойзес Борис Борисович	к.т.н.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ,  
РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>		
151Б51	Цзюй Ичэнь		
<b>Школа</b>	ИШНКБ	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	ОКД
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Приборостроение
<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>			
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; наблюдение.		
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов			
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования			
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>			
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведение НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Определение потенциального потребителя результатов исследования, SWOT-анализ, определение возможных Альтернатив проведения научных исследований		
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование этапов работы, определение календарного графика и трудоемкости работы, расчет бюджета		
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Оценка сравнительной эффективности проекта		
<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>			
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сегментирование рынка</li> <li>2. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений</li> <li>3. Матрица SWOT</li> <li>4. Морфологическая матрица</li> <li>5. Временные показатели проведения научного исследования</li> <li>6. График проведения и бюджет НИ</li> <li>7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</li> </ol>			
<b>Дата выдачи задания по линейному графику</b>			

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Фадеева Вера Николаевна	Кандидат философских наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
151Б51	Цзюй Ичэнь		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
151Б51	Цзюй Ичэнь

<b>Школа</b>	ИШНКБ	<b>Отделение Школы (НОЦ)</b>	ОКД
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Приборостроение

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Описание рабочего места (аудитория 120 корпуса №8 ТПУ, оборудованная компьютерами) на предмет возникновения: вредных проявлений факторов производственной среды (освещение, шум, микроклимат); опасных проявлений факторов производственной среды (электрической и пожарной природы); негативное воздействие на окружающую природную среду; чрезвычайных ситуаций.</p>
<p>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</p>	
<p><b>1.Производственная безопасность</b>                  1.1 Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:                  физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;                  действие фактора на организм человека;                  приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);                  предлагаемые средства защиты; (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</p> <p>1.1. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:                  механические опасности (источники, средства защиты);                  термические опасности</p>	<p>Приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);                  Предлагаемые средства защиты. электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты).</p>

(источники, средства защиты);	
электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты).	
<b>2. Экологическая безопасность:</b> защита селитебной зоны анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); анализ воздействия объекта на литосферу (отходы).
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; выбор наиболее типичной ЧС; разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; выбор наиболее типичной ЧС; разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	-организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	14.05.2019
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Панин Владимир Филиппович	д.т.н., профессор		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
151Б51	Цзюй Ичэнь		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 86 с., 11 рис., 30 табл., 18 источников.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, степной пожар, влагосодержание, запас, метод контрольного объема.

**Объектом исследования** являются степные пожары, распространяющиеся по растительному покрову.

**Предметом исследования** являются математические модели степных пожаров

**Цель работы** – с помощью метода математического моделирования определить зависимость скорости распространения степных пожаров от скорости ветра и влагосодержания растительных горючих материалов.

**В процессе исследования проводились** разработка двумерной математической модели распространения степного пожара, определялись распределения полей скорости, температуры и концентраций компонентов газовой и конденсированной фаз и скорости распространения степного пожара для различных параметров растительных материалов.

**В результате исследования получены:** скорости распространения степного пожара от скорости ветра и влагосодержания ЛГМ; распределение температур, концентраций и объемных долей фаз.

**Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики:** данная работа позволит рассчитать скорость распространения степного пожара для различных условий.

**Область применения:** профилактические мероприятия для предотвращения степных пожаров.

**Экономическая эффективность/значимость работы:** позволит более точно рассчитать параметры степных пожаров.

## Содержание

Введение.....	16
1. Теоретическая часть.....	18
1.1. Обзор литературы.....	18
1.1.1. Общие сведения о степи.....	18
1.1.2. Виды степных пожаров.....	19
1.1.3. Ситуация с степными пожарами в Китае.....	22
1.2 Предлагаемая концептуальная основа управления пожаром.....	24
1.3 Математическое моделирование для прогнозирования ЧС.....	27
1.3.1. Обзор математических моделей.....	28
2. Построение модели степных пожаров .....	31
2.1. Математическая постановка .....	31
3. Результаты численных расчетов.....	36
3.1 Метод решения.....	36
3.2 Результаты численных расчетов.....	37
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	42
4.1 Предпроектный анализ.....	42
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	42
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	43
4.1.3 SWOT – анализ.....	45
4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	48
4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	49
4.2 Инициация проекта.....	50
4.2.1 Цели и результат проекта.....	50

4.2.2	Организационная структура проекта.....	52
4.2.3	Ограничения и допущения проекта.....	52
4.3.1	Иерархическая структура работ проекта.....	53
4.3.2	Контрольные события проекта.....	53
4.3.3	План проекта.....	54
4.3.4	Бюджет научного исследования.....	57
4.3.5	Матрица ответственности.....	62
4.3.6	Реестр рисков проекта.....	62
4.4	Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	63
4.4.1	Оценка социальной эффективности исследования.....	63
5.	Социальная ответственность.....	65
5.1	Введение.....	65
5.2	Анализ вредных факторов.....	65
5.2.1	Загрязнение воздушной среды.....	67
5.2.2	Состояние воздушной среды.....	68
5.2.3	Психофизиологические факторы.....	69
5.2.4	Освещение.....	71
5.2.5	Психофизиологические факторы.....	73
5.3	Анализ опасных факторов.....	74
5.3.1	Электропоражение.....	74
5.4.	Экологическая безопасность.....	77
5.4.1	Утилизация электроники.....	77
5.4.2	Утилизация люминесцентных ламп.....	78
5.4.3	Другие воздействия.....	79
5.5	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	79
5.5.1	Пожарная и взрывная безопасность.....	79
5.5.2	Электропоражение как источник ЧС.....	80

Заключение.....	83
Литература.....	84

## Введение

Площадь степей большая, местность ровная, горючие вещества легковоспламеняющиеся. В случае пожара огонь быстро распространяется под воздействием сильных ветров и его трудно контролировать. Во-вторых, скорость быстрая. Из-за изменения направления ветра на пастбищных угодьях часто возникает разветвленная огневая головка, которая быстро распространяется и образует окружение при пожаре, которое трудно переносить людям и животным, и легко вызвать несчастные случаи. Третий сезонный.

Степной пожар могут привести к смерти и падению инвалидности. Пострадавшие пастухи разрушены, и можно легко сжечь важные национальные объекты и инфраструктуру защиты пастбищ, что приведет к серьезным потерям для страны, жизни и имущества людей.

В дополнение к потере домашнего скота степные пожары также сожгли пастбища, от которых зависит животноводство, что серьезно повлияло на производство скота.

Степи и леса Россия распределены попеременно, и после того, как пастбища загорятся, они легко сжигаются в лесных районах, вызывая лесные пожары и угрожая производственной безопасности лесных площадей.

Эти причины определяют актуальность темы. Очень часто степные пожары, начинаясь на территории соседних государств (Казахстан, Монголия), переходят государственную границу и продолжаются уже на территории Российской Федерации. Поэтому исследование этого природного явления должно носить международный характер, но, к сожалению, физико-математическому исследованию степных пожаров, уделяется мало внимания.

Целью работы является создание математической модели возникновения и распространения степных пожаров.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

1. Разработка математической модели для решения задач о распространении низовых степных пожаров.
2. Применение метода контрольного объема.

3. Исследование влияния основных параметров на скорость распространения степных пожаров.

4. Анализ полученных результатов.

В качестве основных методов использовались методы физико-математического моделирования.

# **1.ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

## **1.1.Обзор литературы**

### **1.1.1.Общие сведения о степи**

Степь — это равнинная ландшафтная зона, расположенная в умеренных и субтропических поясах Северного и Южного полушария. Степи распространены на всех континентах, за исключением Антарктиды.

К сожалению, этот вид природного ландшафта постепенно исчезает с лица земли. Причин много: распашка земли, браконьерство, интенсивный выпас скота, пожары.

Главная особенность всех степей — засушливость. Тип климата — от умеренно-континентального до резко континентального. Средняя норма годовых осадков редко превышает отметку в 400 мм. В степях преобладает ветреная погода, а лето характеризуется большим количеством солнечных дней. Зимы малоснежные, зато часты бураны и метели. Еще одна особенность степей — резкий перепад дневной и ночной температуры, так как ночью температура может падать на 15-20°C. Эти условия роднят степи с пустынями.

В степях часто бывают пыльные бури, которые влияют на эрозию почвы и приводят к образованию балок и оврагов.

Почвы степей, расположенных в умеренном климатическом поясе весьма плодородны и активно используются в сельском хозяйстве. В основе — чернозем, лишь ближе к южным широтам встречаются каштановые почвы.

### 1.1.2 Виды степных пожаров

В степной и лесостепной зонах могут происходить различные пожары, отличающиеся по своей динамике, особенностям развития, типам горючих материалов, что, в свою очередь, определяет различия в приёмах и методах их тушения.

Часто, особенно на крупных пожарах, на местности есть элементы различных типов сообществ и различные природные горючие материалы. Например, участки степи могут чередоваться с небольшими фрагментами древесно-кустарниковой растительности, в поймах переходить в тростниковые заросли, а по старым руслам и регулярно заливаемым весной площадям иметь накопления неперегнившей растительной массы или даже торфа. Тем не менее, можно условно выделить основные виды пожаров в степях.

Травяные пожары -эти пожары скоротечны, распространяются очень быстро, обычно имеют низкую интенсивность, но часто служат причиной возникновения всех остальных видов пожаров. Характерны для собственно степных участков, а также для сельскохозяйственных угодий и земель, вышедших из сельскохозяйственного оборота (заброшенные сенокосы, пашни, пастбища и залежи). В зависимости от преобладающего видового состава и времени года (степени засушливости) интенсивность этих пожаров может быть разной. Как правило, наиболее опасные и высокоинтенсивные травяные пожары происходят на участках с накоплением, так называемого степного войлока. Дым от таких пожаров обычно густой, серый, глубина кромки - от десятков сантиметров до нескольких метров.

Выгоревшая площадь остывает относительно быстро и является надёжной зоной безопасности. При наличии скота в местности, где происходит травяной пожар, особенно на старых пастбищах, следует помнить о том, что кизяк (высохший навоз) может тлеть длительное время

и раздуваться ветром, что часто приводит к возобновлению пожара на уже потушенной кромке.

Тростниковые пожары возникают в местах массового произрастания тростника - в поймах, на переувлажнённых участках, в дельтах рек, по склонам оврагов. Пожары возникают очень легко и распространяются с большой скоростью (5-30 км/ч) [1], которая зависит, прежде всего, от скорости ветра. Дополнительную опасность создают летящие по ветру горящие частицы (например, метёлки с семенами), которые, преодолевая расстояния до 300 м [1], становятся причиной возникновения новых очагов пожара. В этом случае пожар получает пятнистую форму, хотя в условиях безветренной погоды может развиваться как устойчивый. Тотальность выгорания и интенсивность горения зависят не только от погоды, но и от времени года и возраста тростника. Полностью отмершие побеги горят интенсивнее, при пожаре редко сохраняются несгоревшие участки. Более молодые и не совсем высохшие растения горят менее интенсивно, часто пожар принимает форму беглого, с неполным выгоранием горючих материалов. Особенно опасны тростниковые пожары в старых, много лет, не выгоравших зарослях с накопившимся сухим тростником.

По форме можно условно выделить два вида тростниковых пожаров. Первый - тростниковый низовой, при котором горят опавшие листья и заломленные старые стебли у земли, но не сгорают стоящие стебли и метёлки с семенами. Такие пожары менее интенсивны, но часто очень быстро продвигаются против ветра (скорость продвижения тыла может лишь немного уступать скорости продвижения фронта). Особую опасность представляет то, что при усилении ветра такой пожар легко может перейти в форму тростникового верхового и повторно пройти по уже пройденной низовым огнём площади. Это очень опасно для людей, работающих на таких пожарах. При тростниковом верховом пожаре тростник сгорает практически полностью с интенсивным выделением тепла.

Формирующаяся конвекционная колонка поднимает недогоревшие частицы на многие сотни метров (иногда на километры), вызывая выпадение «чёрного снега» - пепла, содержащего крупные обугленные растительные остатки. Нередко горящие метёлки с семенами переносятся на сотни метров (зафиксированы случаи возникновения новых очагов от перебросов частиц более чем в 300 м от кромки). Дым при верховом тростниковом пожаре густой, чёрный, обычно явно видна высокая конвекционная колонка.

Особенность пожаров в тростниковых зарослях - способность огня преодолевать довольно широкие водные преграды. Тростник может какое-то время гореть, даже если его корни и основания стеблей находятся под водой, а горящие частицы могут переноситься через довольно широкие реки и протоки. Высота пламени тростникового пожара может достигать 5-10 м [1]. Как правило, пойменные леса, до которых доходит такой пожар, погибают. Тростниковые пожары могут действовать как в дневное, так и в ночное время, хотя ночью их горение менее интенсивно, чем в дневные часы.

Кустарниковые пожары происходят на участках, поросших кустарниками и не занятых лесом (нет сомкнутости, преобладает травяная растительность), часто это овраги, склоны. Пожары по своей динамике ближе к травяным, но распространяются чуть медленнее, с более глубокой кромкой (иногда десятки метров), с длительным догоранием одревесневших частей (сухих веток), с высокой вероятностью возобновления горения на кромке и большим задымлением на выгоревшей площади. Технологии тушения те же, что и при низовых лесных пожарах, но кустарниковые пожары более динамичны и требуют более быстрых действий при смене направления ветра, усилении горения. Выгоревшая площадь не всегда доступна как зона безопасности из-за длительного сохранения горения кустарников и сильного задымления.

### 1.1.3 Ситуация с степными пожарами в Китае

Степные районы Китая в основном сосредоточены в засушливых и полузасушливых северных регионах, включая Внутреннюю Монголию, Цзилинь, Хэйлуцзян, Ляонин, Синьцзян, Нинся, Цинхай, Сычуань, Шэньси, Шаньси, Хэбэй, Ганьсу, 12 провинций и автономных районов, общая площадь которых составляет 4,16 млн. км<sup>2</sup>, что составляет 43,3% от общей площади земли [2].

Климат степи Китая имеет значительные континентальные климатические характеристики, характеризующиеся длительным холодом зимой, короткой жарой летом, низкой среднегодовой температурой, большой разницей температур, высокой эффективной аккумулятивной температурой, низким уровнем осадков, большим испарением, сухим климатом и достаточным количеством солнечного света. Годовое количество осадков в большинстве районов степных Китая составляет менее 200 мм, а испарение превышает 1000 мм.

В весенние и осенние сезоны умеренные надземные горючие запасы и постоянное распределение в сочетании с уникальными погодными и климатическими условиями являются характеристиками высокого риска возникновения пожаров в регионе, нанося огромный ущерб социальной экономике пастбищ, жизни и собственности людей.

Со времени основания Китайской Народной Республики произошло 56 511 пожаров на лугах площадью 20 617,21 млн. м<sup>2</sup>. Число раненых составило 1413, 444 погибших. В условиях постоянного развития экономики животноводства степные пожары стали одним из основных факторов, препятствующих устойчивому развитию животноводства [2].

Вероятность ежегодного возникновения степных пожаров на разных уровнях в разных провинциях и автономных районах северных пастбищных районов Китая.

Таблица 1.1 – Предполагаемый риск пожаров в степи на различных уровнях во всех регионах северных пастбищ на севере Китая

Количество пожаров в год	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Внутренняя Монголия	1.000	0.886	0.779	0.681	0.592	0.511	0.438	0.372	0.314	0.263
Синьцзян	1.000	0.878	0.766	0.663	0.570	0.485	0.410	0.343	0.284	0.233
Цинхай	1.000	0.852	0.719	0.601	0.496	0.405	0.327	0.261	0.206	0.160
Сычуань	1.000	0.859	0.730	0.615	0.513	0.423	0.344	0,277	0.220	0.173
Хэбэй	1.000	0.887	0.781	0.684	0.594	0.512	0.438	0,371	0.312	0.260
Хэйлуцзян	1.000	0.887	0.780	0.681	0.589	0.504	0.428	0.359	0.298	0.244
Цзилинь	1.000	0.867	0.744	0.633	0.534	0.445	0.367	0.300	0.241	0.192
Ганьсу	1.000	0.874	0.757	0.650	0.553	0.466	0.388	0,320	0.261	0.210
Нинся	1.000	0.845	0.707	0.586	0.480	0.388	0.311	0.246	0.192	0.147
Ляонин	1.000	0.877	0.762	0.657	0.562	0.476	0.399	0.331	0.272	0.221
Шаньси	1.000	0.859	0.731	0.616	0.514	0.424	0.346	0.278	0.222	0.174
Шэньси	1.000	0.865	0.741	0.629	0.528	0.439	0.361	0.293	0.236	0.187

В таблице 1.1 показана вероятность возникновения степных пожаров при различных уровнях риска по количеству ежегодных степных пожаров [2]. Например, 20 столбцов в таблице указывают на вероятность степных пожаров в течение 20 лет в году. Например, вероятность пожаров Внутренней Монголии составляет 0,886.

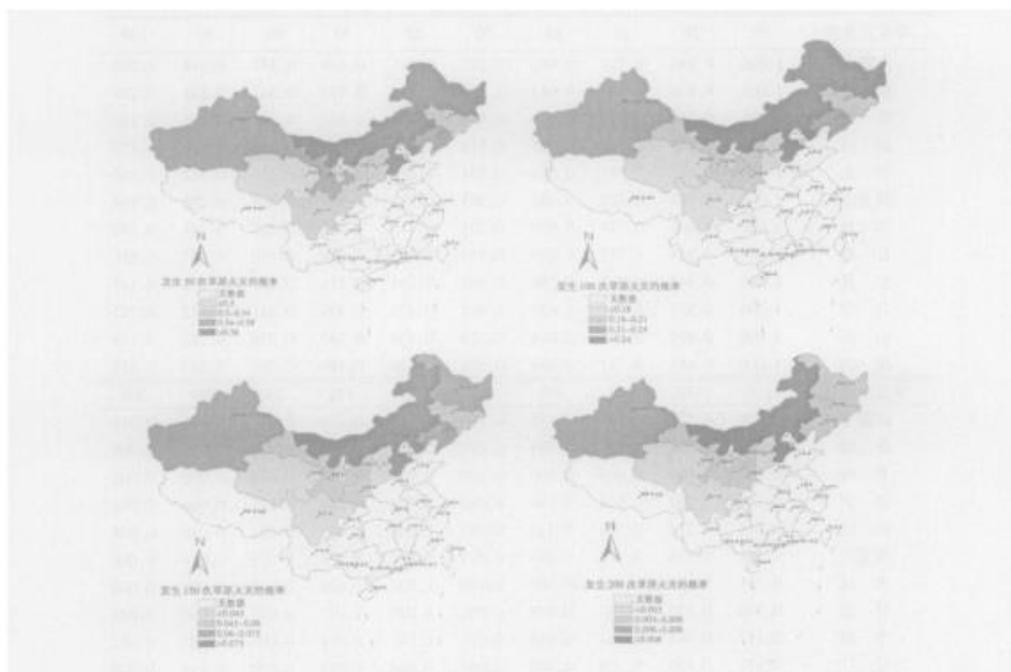


Рис .1.1 Пожары в различных пастбищных районах на севере Китая  
Глубина цвета указывает на серьезность степных пожаров.

Благодаря приведенному выше анализу общая тенденция распределения риска степных пожаров Китая уменьшается с востока на запад.

Внутренняя Монголия и Хэйлуцзян - две провинции с наибольшим риском степных пожаров в Китае. Хэбэй, Ляонин, Цзилинь и Шэньси относятся к средней зоне риска степных пожаров. Риск пожаров на пастбищах в Ганьсу, Сычуани, Шаньси, Цинхае и Нинся относительно низок. Риск степных пожаров в северном Китае вполне согласуется с распределением воды в северном Китае. В восточной части Китая улучшены водные условия и хороший рост растительности. Весной и осенью в изобилии присутствует наземное топливо, а риск степных пожаров высок. Если уменьшается увлажнение, то растительность редко растет, накопление горючих веществ уменьшается весной и осенью, а риск пожаров на лугах невелик.

## **1.2 Предлагаемая концептуальная основа управления пожаром**

Интегрированное управление пожарами (IFM) - это концептуальная структура, которую предлагается использовать для выявления и устранения связанных с пожарами угроз сохранению биоразнообразия в приоритетных заповедных зонах. Термин относится к различным аспектам управления пожарами.

Шаг 1: Оценка и анализ ситуации. Эффективный анализ конкретной ситуации является ключом к успешной интеграции экологии, социальных вопросов и соответствующих технологий управления пожарами. Определение роли, которую огонь играет в культурном, экономическом и социальном контексте различных заинтересованных сторон, имеет решающее значение для развития этого понимания.

Вопросы, которые следует задавать при проведении такого анализа, включают:

- Какова экологическая роль и воздействие пожара в данном районе?
- В каком социальном, культурном и экономическом контексте происходят пожары?
- Кто производит сжигание и почему?
- Как они горят?
- Каковы характеристики топлива в этом районе и как в нем ведет себя огонь при различных условиях горения?
- Какие другие факторы или угрозы усугубляют проблему пожаров, такую как вопросы землепользования, незаконные рубки, инвазивные виды или изменение климата?

#### Шаг 2: Законы, политика и институциональные рамки

В дополнение к институциональной структуре, которая охватывает концепцию IFM, должны быть созданы поддерживающие законы и политика. Чтобы обеспечить надлежащее распространение и внедрение, экологическая и социальная информация должна быть включена в учебные планы по управлению пожарами в университетах, техникумах и программах профессиональной подготовки.

#### Шаг 3: Готовность и ответ

Эффективное управление пожаром неизменно предполагает готовность и способность реагировать на чрезвычайные ситуации. Пожарные события можно лучше предвидеть и принимать правильные решения, когда пожары происходят, если руководители знают о прошлых пожарах, источниках возгорания, а также о необходимости и склонности некоторых типов растительности гореть.

#### Шаг 4: Восстановление, восстановление и обслуживание

Цель этого шага - собрать информацию, необходимую для работы в пост пожарной среде. Усилия по восстановлению после пожара часто плохо спроектированы, неэффективны и дороги. Они могут быть лучше

спроектированы путем включения экологических знаний о сожженной растительности и ее потенциале восстановления.

Шаг 5: Адаптивное управление, исследования и передача информации

Этот последний шаг гарантирует, что активное обучение будет происходить постоянно и улучшит управление огнем. Это чрезвычайно важно, потому что многие решения IFM будут приниматься с неполным знанием и ограниченным опытом. Важно, чтобы существовала адаптивная структура управления, с помощью которой можно вносить постоянные улучшения и корректировки. Текущие планы и действия должны основываться на существующих знаниях и выводах, полученных в результате первоначального анализа ситуации (шаг 1). Влияние этих решений должно контролироваться, и именно эти отслеживаемые тенденции наряду с включением новых знаний будут определять будущие действия руководства. Необходимо создать эффективные механизмы, которые облегчат обзор стратегий реализации, а также перевод и распространение технологий, информации и новых знаний.

### **1.3. Математическое моделирование для прогнозирования ЧС**

Спрос на прогнозирование бедствий растет, но это остается сложной задачей. Это происходит главным образом из-за того, что чрезвычайные ситуации характеризуются такими характеристиками, как внезапное начало, быстрое развитие, цепная неопределенность развития и неточность первоначальной неполноты. Поэтому единственным способом прогнозирования развития аварийной ситуации обычно является математическая модель.

Характерные особенности чрезвычайных ситуаций (ЧС), такие как внезапность возникновения, быстрота развития, неполнота и неопределенность исходной информации, разнообразие и цепной характер последствий затрудняют использование для их изучения традиционных эмпирических методов.

В связи с этим, для анализа и прогнозирования чрезвычайных ситуаций все шире применяется математическое моделирование, которое является во многих случаях единственно допустимым, как, например, при экспертизе особо опасных природных или техногенных явлений.

Математической моделью ЧС называется система соотношений, уравнений, неравенств, геометрических понятий и т.д., которые в математической форме отображают, воспроизводят или имитируют наиболее важные особенности и свойства реальных опасных явлений с целью анализа и прогнозирования их возникновения, развития и последствий.

Создание математической модели ЧС включает в себя несколько этапов. Начальным этапом является содержательное описание ЧС, которое составляется на основе всех имеющихся о ней знаний, результатов натурных обследований сходных ситуаций, консультаций с экспертами, изучения справочной и специальной литературы.

На втором этапе выполняется формализация содержательного описания модели, математическая постановка задачи с указанием всех необходимых исходных данных и искомых величин.

На третьем этапе формализованная схема ЧС должна быть преобразована в ее математическую модель. Для этого всю имеющуюся информацию необходимо выразить с помощью соотношений, неравенств, уравнений, алгоритмов. Уравнения, входящие в модель, дополняются начальными и граничными условиями, а также неравенствами, определяющими область допустимых значений вычисляемых величин.

На четвертом этапе, исследуется сама модель. Путем проведения многовариантных расчетов изучаются свойства модели и ее поведение при различных условиях.

На следующем этапе модель применяется к описанию реальных ЧС. Путем сопоставления результатов вычислительных экспериментов с

имеющимися опытными данными выполняется идентификация или уточнение параметров модели, ее тестирование, отладка и проверка адекватности.

После того, как адекватность модели, т.е. ее достаточное соответствие реальности, установлена, начинается использование модели для анализа и прогнозирования ЧС, происходящих в реальных условиях.

### **1.3.1. Обзор математических моделей**

Первая модель распространения пожаров была опубликована в 1946 году В.Л. Фонсом [9]. Она была основана только на уравнении теплового баланса и использовала в качестве коэффициентов данные, полученные при сжигании горючих веществ в аэродинамической трубе. Далее стоит выделить модель Г.М. Байрама (1970) [10], которая определяла соотношение между длиной пламени, величиной расходуемых горючих веществ и теплотой их сгорания. В этой модели использовались реальные данные, полученные при изучении пожаров в сосновых лесах. Однако недостатком этой модели было то, что в качестве входных данных использовались данные (например, длина и высота пламени), которые могут быть получены только из наблюдения за конкретным пожаром. Первой моделью, которая использовала только те данные, которые могут быть измерены заранее, стала модель низовых пожаров Р.Ротермела (1972) [11], в основе которой лежит баланс энергии твердой фазы горючего. Эта модель стала одной из наиболее удачных, прошла многочисленные полевые проверки. Некоторые положения этой модели используются до сих пор.

Рассмотрим различные методы исследования пожаров.

Физико-математическое моделирование поведения пожаров условно делят на три группы:

- модели, построенные «из первых принципов»;
- модели «черного ящика»;

- феноменологические [7].

Модели первой группы основаны на физике горения и для прогноза используют расчеты на основе исходной теории. Эти модели учитывают три вида передачи тепла: теплопроводность, конвекция и радиация.

Модели второй группы рассматривают только исходные данные пожара и сравнивают их с имеющимися экспериментальными данными и на основании сходства выдают прогнозы. Однако, успешность применения напрямую зависит от соответствия данных тем данным, которые содержатся в базе данных.

Модели третьей группы сочетают в себе физические расчеты и константы, выявленные в ходе наблюдения за реальными пожарами.

Отличие моделей первой и второй группы очевидно - первые используют только расчеты, вторые - только экспериментальные данные. Третья группа моделей занимает промежуточное положение. При этом первая группа моделей обладает универсальностью, т.е, способностью рассчитывать параметры любого пожара, а вторая - точностью и простотой построения при совпадении параметров образца и текущего пожара. Поскольку граница между этими группами (а особенно между первой и третьей), то возможно рассматривать два подхода - с описанием физико-химических процессов горения и моделирование в виде «черного ящика».

В зависимости от способа отображения данных модели разделяются на пространственные и непространственные. Модели первой группы дают возможность наблюдать визуализированное распространение пожара по массиву, а модели второй группы выдают результаты в виде графиков и таблиц. При этом непространственные модели требуют меньшие вычислительные мощности, однако сложнее для интерпретации, а пространственные интуитивно понятны, однако они требуют больше памяти и сложнее в построении.

По возможному назначению модели делятся на три уровня:

- фундаментальное моделирование;
- тактическое моделирование;
- стратегическое моделирование [12].

Фундаментальное моделирование исследует горение отдельных частиц, слоев из однородных частиц и слоев из разных горючих материалов и основано на процессах тепломассопереноса. В качестве исходных параметров берутся физико-химические свойства веществ (содержание, влажность, теплопроводность, количество и состав выделяющихся при горении веществ) и характеристики среды (скорость и направление ветра, влажность воздуха, турбулентность атмосферы). Решениями для данных моделей являются распределение температур, концентраций веществ, размеры пламени, скорость его распространения. В качестве примера можно привести модели А.М.Гришина [12] и Ю.А.Гостинцева. [14] Часто эти модели являются основой для тактического моделирования.

Тактическое моделирование прогнозирует пожар в целом - скорость распространения, контур и площадь горения, интенсивность горения. Также в данных моделях определяется вид пожара и факторы, приводящие к перемене вида пожара (параметры, при которых низовой пожар переходит в верховой, а тот в свою очередь - в пятнистый). Данные модели разрабатывали Э.В.Конев [10], Е.К. Кисильхов [13].

Стратегическое моделирование изучает совокупности пожаров - их возникновение, распространение, развитие, а также основные важнейшие их характеристики - скорость, площадь, длину фронта. Эти модели используются руководителями административных единиц, соответствующими органами МЧС и имеют важное практическое значение, поскольку на основании их прогнозов принимаются меры по защите населения и территории в пожароопасный период. В нашей стране этими моделями занимался Г.Н.Коровин [14].

## 2. Построение модели степных пожаров.

### 2.1. Математическая постановка

Для математического описания распространения степного пожара введем декартову систему координат (рис. 2.1). Положим, что ось  $x$  направлена вдоль подстиляющей органическую массу степи поверхности, ось  $y$  – перпендикулярно оси  $x$  в плоскости подстиляющей поверхности, ось  $z$  – перпендикулярно осям  $x$  и  $y$ . Будем полагать, что по направлению оси  $y$  все параметры однородны. Тогда задачу о распространении степного пожара будем рассматривать в плоскости  $xoz$ .

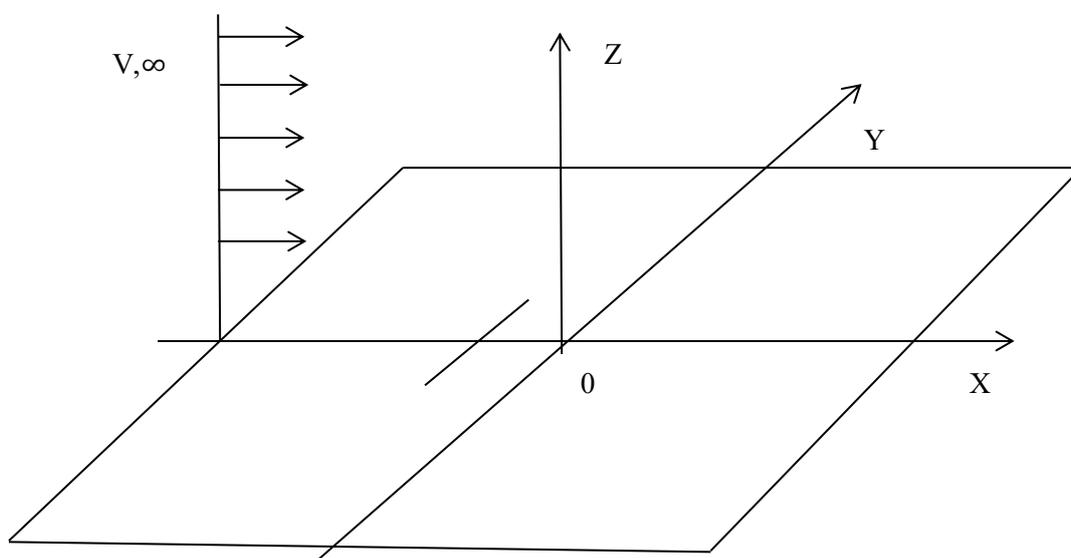


Рис. 2.1. Схема распространения степного пожара

Рассмотрим территорию покрытую травяной растительностью. Задан очаг возгорания (область с температурой горения  $T = 1000K$ ) в начале декартовой системы координат. Под действием ветра фронт пожара начинает распространяться. На левой граница задана скорость ветра  $V, \infty$ . Необходимо изучить процесс распространения фронта степного пожара в зависимости от метеорологических условий (температура, скорость и направления ветра и т.д.) и состояния растительного покрова (влажность, запас и т.д.).

Математическая данная задача сводится к решению следующей системы дифференциальных уравнений сохранения массы, количества движения и энергии для турбулентного течения:

В области, расположенной выше уровня шероховатости  $z_0$  и ниже уровня верхней границы полога леса  $h$  в плоскости  $xz$ , имеем уравнения, выражающие законы сохранения для многофазной многокомпонентной сплошной реагирующей среды:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) = \dot{m} - \frac{\dot{c}^- - \dot{c}^+}{h}, \dots \dots \dots (1)$$

$$\rho \frac{du}{dt} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}(-\rho \overline{u'^2}) + \frac{\partial}{\partial y}(-\rho \overline{u'v'}) - \rho s c_d u |\vec{u}| - \dot{m}u + \frac{(\tau_x^- - \tau_x^+)}{h} \dots \dots \dots (2)$$

$$\rho \frac{dv}{dt} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x}(-\rho \overline{u'v'}) + \frac{\partial}{\partial y}(-\rho \overline{v'^2}) - \rho s c_d v |\vec{u}| - \dot{m}v + \frac{(\tau_y^- - \tau_y^+)}{h} \dots \dots \dots (3)$$

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} = \frac{\partial}{\partial x}(-\rho c_p u' \overline{T'}) + \frac{\partial}{\partial y}(-\rho c_p v' \overline{T'}) + q_5 R_5 - \alpha_v (T - T_s) + \frac{(q_T^- - q_T^+)}{h} + k_g (c U_R - 4\sigma T^4) (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial y} \right) - k c U_R + 4k_g \sigma T^4 + 4k_s \sigma T_s^4 = 0, \quad k = k_g + k_s, \dots \dots \dots (5)$$

$$\sum_{i=1}^4 \rho_i \varphi_i c_{pi} \frac{\partial T_s}{\partial t} = q_3 R_3 - q_2 R_2 + k_s (c U_R - 4\sigma T_s^4) + \alpha_v (T - T_s) \dots \dots \dots (6)$$

$$\rho_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} = -R_1; \quad \rho_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial t} = -R_2; \quad \rho_3 \frac{\partial \varphi_3}{\partial t} = \alpha_c R_1 - \frac{M_c}{M_1} R_3; \quad \rho_4 \frac{\partial \varphi_4}{\partial t} = 0, \dots \dots \dots (7)$$

$$\sum_{\alpha=1}^3 c_\alpha = 1, \quad p_e = \rho R T \sum_{\alpha=1}^3 \frac{c_\alpha}{M_\alpha}, \quad \dot{m} = (1 - \alpha_c) R_1 + R_2 + \frac{M_c}{M_1} R_3, \quad R_{s1} = -R_3 - \frac{M_1}{2M_2} R_5; \quad R_{s2} = v_g (1 - \alpha_c) R_1 - R_5 (8)$$

Следующие уравнения описывают скорости пиролиза, испарения влаги, горения конденсированных и летучих продуктов пиролиза.

$$R_1 = k_1 \rho_1 \varphi_1 \exp\left(-\frac{E_1}{RT_s}\right), \quad R_2 = k_2 T^{-0.5} \rho_2 \varphi_2 \exp\left(-\frac{E_2}{RT_s}\right), \quad R_3 = k_3 \rho_s \varphi_3 c_1 \exp\left(-\frac{E_3}{RT_s}\right),$$

$$R_5 = k_5 M_2 \left(\frac{c_1 M}{M_1}\right)^{0.25} \frac{c_2 M}{M_2} T^{-2.25} \exp\left(-\frac{E_5}{RT}\right) \quad (9)$$

При решении вышеизложенной системы уравнений следует учитывать следующие начальные и граничные условия:

$$t = 0 : u = 0; v = 0; T = T_e; c_\alpha = c_{\alpha e}; T_s = T_e; \varphi_i = \varphi_{ie}; \quad (10)$$

$$x = 0 : u = V_e; v = 0; T = T_e; c_\alpha = c_{ae}; -\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x} + \frac{cU_R}{2} = 0; \quad (11)$$

$$x = x_e : \frac{\partial u}{\partial x} = 0; \frac{\partial v}{\partial x} = 0; \frac{\partial c_\alpha}{\partial x} = 0; \frac{\partial T}{\partial x} = 0; \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x} + \frac{cU_R}{2} = 0; \quad (12)$$

$$y = 0 : \frac{\partial u}{\partial y} = 0; \frac{\partial v}{\partial y} = 0; \frac{\partial c_\alpha}{\partial y} = 0; \frac{\partial T}{\partial y} = 0; -\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial y} + \frac{cU_R}{2} = 0; \quad (13)$$

$$y = y_e : \frac{\partial u}{\partial y} = 0; \frac{\partial v}{\partial y} = 0; \frac{\partial c_\alpha}{\partial y} = 0; \frac{\partial T}{\partial y} = 0; \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial y} + \frac{cU_R}{2} = 0; \quad (14)$$

Символом  $\frac{d}{dt}$  обозначена полная производная:

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y}.$$

Считая, что тепломассообмен во фронте пожара с приземным слоем атмосферы и нижним ярусом леса происходит по закону Ньютона, то соответствующие члены уравнений можно записать в следующем виде [3]:

$$\frac{(J_\alpha^- - J_\alpha^+)}{h} = -\frac{\alpha}{c_{ps}h} (c_\alpha - c_{ae}), \quad (15)$$

$$\frac{(q_T^- - q_T^+)}{h} = -\frac{\alpha}{h} (T - T_e), \quad (16)$$

Здесь и выше  $R_1 - R_3$  .  $R_5$  – массовые скорости реакции пиролиза сухого органического вещества ЛГМ , испарения влаги , горения конденсированных и летучих продуктов пиролиза . соответственно;

$C_{pi}$ ,  $\rho_i$ ,  $\varphi_i$  – удельные теплоемкость , истинные плотности и объёмные доли  $i$  – фазы многофазной реагирующей среды;  $u$  ,  $v$  – проекции скорости на оси  $x$  и  $y$  , соответственно;  $T$  ,  $C_\alpha$  – температура и массовые концентрации компонентов газовой фазы ( $C_\alpha$  :  $\alpha=1 - O_2$  ,  $2$  – горючие

компоненты продуктов пиролиза, 3 – инертные компоненты воздуха) ;  $P, P_\infty$  – давления в потоке и гидростатическое ;  $U_R$  – осредненная плотность излучения ;  $k$  – интегральный коэффициент (ослабления излучения).  $k_g, k_s$  – коэффициенты поглощения для газодисперсной и конденсированной фаз;  $\alpha_V$  – коэффициент обмена фаз,  $q_i, E_i, k_i$  – тепловые эффекты, энергии активации и предэкспоненты реакций пиролиза, испарения, горения кокса и летучих продуктов пиролиза;  $s_\sigma$  – удельная поверхность элемента лесных горючих материалов;  $M_w, M_c, M$  – молекулярные веса индивидуальных компонентов газовой фазы, углерода и воздушной смеси;  $s, c_d$  – удельная поверхность фитомассы и эмпирический коэффициент сопротивления полого леса;  $c$  – скорость света;  $u, v$  – проекции скорости на оси  $x, y$  соответственно;  $\alpha_c, v_c$  – коксовое число и массовая доля горючих газов в массе летучих продуктов пиролиза;  $\dot{m}$  – массовая скорость образования газодисперсной фазы;  $g$  – ускорение свободного падения. Индексы "0" и "e" относятся к значениям функций в очаге горения и на большом расстоянии от зоны пожара соответственно [3].

Система уравнений (1)-(8) содержит члены, связанные с турбулентной конвекцией и нуждаются в замыкании. Компоненты тензора турбулентных напряжений  $\overline{\rho v'_i v'_j}$ , а также турбулентные потоки тепла и массы  $\overline{\rho v'_j c_p T'}$ ,  $\overline{\rho v'_j c'_\alpha}$  записываются через градиенты среднего течения согласно [3]

$$\begin{aligned}
 -\overline{\rho v'_i v'_j} &= \mu_t \left( \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} K \delta_{ij}, \\
 -\overline{\rho v'_j c_p T'} &= \lambda_t \frac{\partial T}{\partial x_j}, \quad -\overline{\rho v'_j c'_\alpha} = D_t \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_j}, \dots \dots \dots (17)
 \end{aligned}$$

$$\lambda_t = \mu_t c_p / Pr_t, \quad \rho D_t = \mu_t / Sc_t$$

$$\mu_t = c_\mu \rho K^2 / \varepsilon.$$

(18)

Здесь  $K$  - кинетическая энергия турбулентности,  $v_i$  и  $v_i'$  - компоненты средней скорости и пульсационной составляющей скорости [3] в проекции на ось  $x_i$ ;  $\mu_t$ ,  $\lambda_t$ ,  $D_t$  - коэффициенты турбулентной динамической вязкости, турбулентной теплопроводности и диффузии;  $Pr_t$ ,  $Sc_t$  - турбулентные числа Прандтля и Шмидта;  $\delta_{ij}$  - символы Кронекера. С учетом обозначений принятых в (1) - (8)  $x_1=x$ ,  $x_2=y$ ,  $v_1=u$ ,  $v_2=v$ . Согласно [3]  $\mu_t = c_\mu \rho K^2 / \varepsilon$ , где  $\varepsilon$  - скорость диссипации турбулентной кинетической энергии,  $c_\mu$  - константа. В связи с тем, что определение коэффициента турбулентной динамической вязкости связано с трудностями обусловленными, например, произволом при выборе начальных и граничных условий для уравнения кинетической энергии турбулентности, представляет интерес приближенный способ замыкания, основанный на гипотезе пути смешения Прандтля, что фактически означает равновесное приближение (баланс генерации и диссипации) для уравнения кинетической энергии турбулентности. Детали этого подхода для двумерного плоского случая изложены в работе [3]. Для рассматриваемого случая предположим, что в уравнении для кинетической энергии турбулентности можно пренебречь нестационарными и конвективными членами, а также членами диффузии турбулентной кинетической энергии. Тогда из правой части уравнения можно получить выражение для кинетической энергии турбулентности и согласно (18) коэффициент турбулентной динамической вязкости.

### 3. МЕТОД РЕШЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ РАСЧЕТОВ

#### 3.1. Метод решения

Для численного моделирования и распространения степных пожаров будет использоваться метод контрольного объема [18]. Будем использовать дискретный аналог для двух измерений. Часть двумерной сетки показана на рис. 2. Для узловой точки  $P$  соседние точки  $W$  и  $E$  расположены по направлению оси  $x$ , точки  $N$  и  $S$  (обозначающие север и юг) — по направлению оси  $y$ . Контрольный объем, окружающий точку  $P$ , показан штриховыми линиями. Глубина объема в направлении оси  $z$  предполагается равной единице. Обозначения, введенные на рис. 3 для расстояний  $\Delta x$ ,  $(\delta x)_e$  и т. д., распространяются здесь на два измерения. Вопрос расположения граней контрольного объема по отношению к узловым точкам остается все еще открытым. Расположить их точно посередине между соседними точками можно, но можно применить и другие способы, некоторые из них будут рассмотрены ниже. Полученный здесь дискретный аналог можно будет использовать в любом подобном случае.

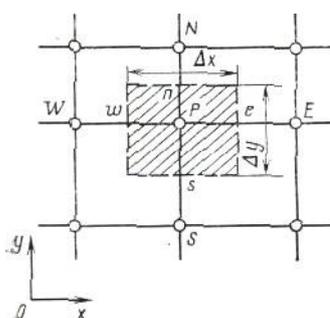


Рис. 2. Контрольный объем (заштрихованная область) для двумерного случая

### 3.2 Результаты численных расчетов

На основании вышеизложенной модели были проведены расчеты параметров горения при степном пожаре. Изменяемыми параметрами являлись:

- Запас степных горючих материалов;
- Влагосодержание ЛГМ ;
- Скорость ветра в невозмущенной среде;

В результате расчетов были получены изолинии температуры, концентрации кислорода и концентрации продуктов пиролиза. Для визуализации использовалась программа Matlab. В таблица 3.1.и на рисунке 4 представлена зависимость скорости распространения степного пожара при различных скоростях ветра и влагосодержании растительных горючих материалов. С увеличением скорости ветра и уменьшением влагосодержание растительных горючих материалов скорость распространения пожара увеличивается.

*Таблица 3.1 Зависимость скорости распространения степного пожара*

$\omega$ (м/с)	W1 = 0.2	W1 = 0.4	W1 = 0.6
Скорость ветра 3 м/с	1.50 м/с	1.25 м/с	0 м/с
Скорость ветра 5 м/с	2.51 м/с	2.10 м/с	1.75 м/с
Скорость ветра 7 м/с	3.51 м/с	3.01 м/с	2.51 м/с
Скорость ветра 10 м/с	4.90 м/с	4.00 м/с	3.51 м/с
Скорость ветра 15 м/с	7.70 м/с	6.25 м/с	5.26 м/с

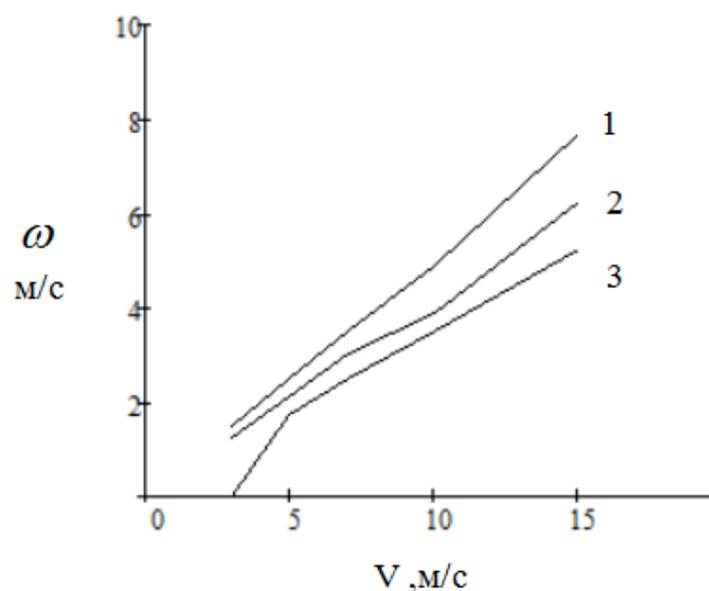


Рис.4 Влияние влагосодержания РГМ на скорость распространения степного пожара, 1-  $W = 0.2$ , 2 -  $W = 0.4$ , 3 -  $W = 0.6$ .

В таблица 3.2.и на рисунке 5 представлена зависимость скорости распространения степного пожара при различных скоростях ветра и запасе растительных горючих материалов.

*Таблица 3.2 Зависимость скорости распространения степного пожара от запаса РГМ и скорости ветра.*

$\omega$ (м/с)	Зап = 0.8	Зап = 1.0	Зап = 1.2
Скорость ветра 3 м/с	2.50 м/с	1.25 м/с	1.25 м/с
Скорость ветра 5 м/с	3.09 м/с	2.10 м/с	2.26 м/с
Скорость ветра 7 м/с	4.26 м/с	3.01 м/с	3.25 м/с
Скорость ветра 10 м/с	5.65 м/с	4.00 м/с	4.51 м/с
Скорость ветра 15 м/с	8.20 м/с	6.25 м/с	6.93 м/с

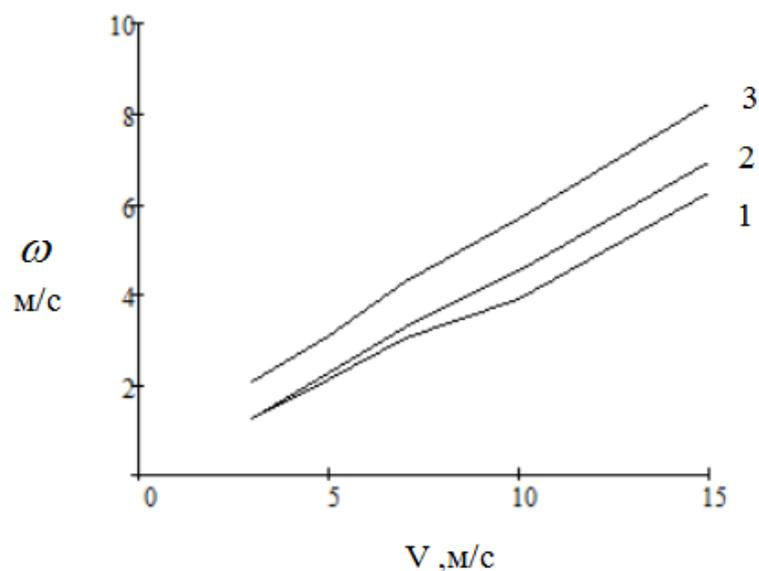


Рис.5 Влияние запаса РГМ на скорость распространения степного пожара.  
 1- $Z_{ap}=1.0$  кг/м<sup>3</sup> 2- $Z_{ap}=1.2$  кг/м<sup>3</sup> 3- $Z_{ap}=0.8$  кг/м<sup>3</sup>

На основе изложенной математической модели проводились численные расчеты по определению картины процесса возникновения степного пожара в результате от заданного очага горения.

В результате численного интегрирования получены изотермы температур. Для визуализации полученных результатов и построения графиков используем программу MATLAB.

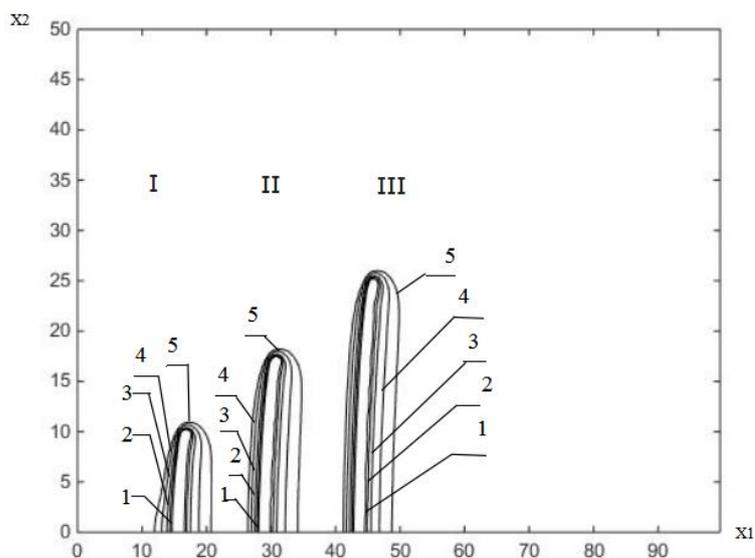


Рис.6 Распределение температуры при распространении степного пожара

Распределение температуры при распространении степного пожара (1 —  $\bar{T} = 5$ , 2 — 4, 3 — 3, 4 — 2, 5 — 1.5;  $\bar{T} = T / T_e$ ,  $T_e = 300\text{K}$ ). Числами 1- 5; 2- 4; 3 - 3; 4 — 2 ; 5- 1.5 обозначены значения изотерм безразмерной температуры, которая определяется в следующие моменты времени: I —  $t = 5\text{с}$ , II —  $t = 10\text{с}$ , III —  $t = 15\text{с}$ . По рисункам можно сделать вывод, что с увеличением скорости ветра изменяется наклон изотерм.

На основе полученных данных следует, что с течением времени возрастают температуры газовой и твердой фаз, происходит уменьшение массовой концентрации кислорода и изменение количества горючих продуктов пиролиза.

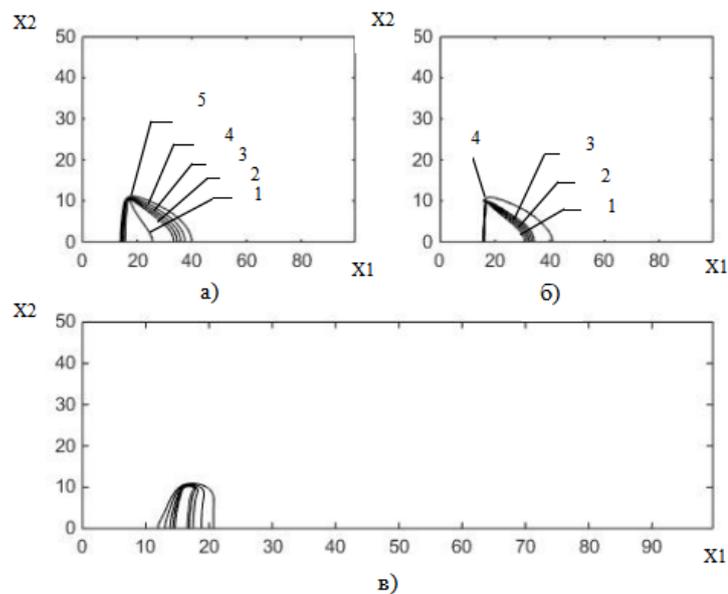


Рис. 7 Распределения концентраций  $\bar{C}_1$  и  $\bar{C}_2$  температуры во фронте степного пожара

$$V = 7 \text{ м/с}, t = 5 \text{ с.}, Z_{ap} = 0.2 \text{ кг/м}^3$$

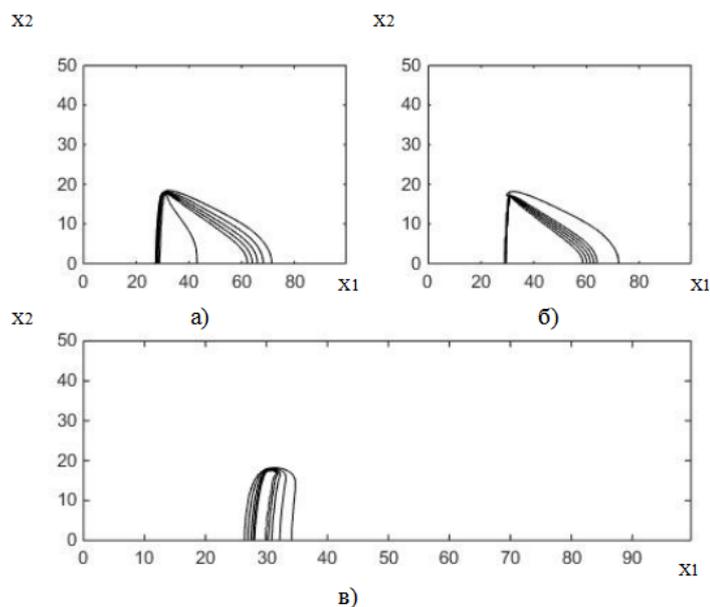


Рис. 8 Распределения концентраций  $\overline{C1}$  и  $\overline{C2}$  температуры во фронте степного пожара  
 $V = 7$  м/с,  $t = 10$  с.,  $Z_{ap} = 0.2$  кг/м<sup>3</sup>

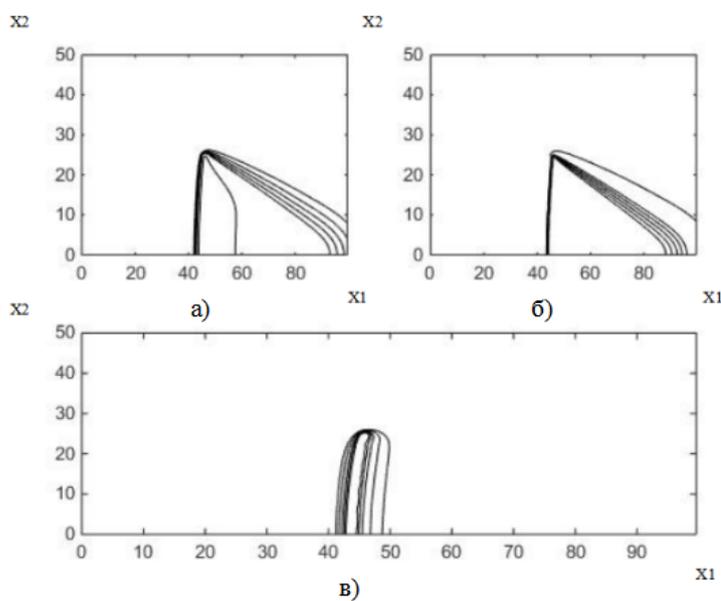


Рис. 9 Распределения концентраций  $\overline{C1}$  и  $\overline{C2}$  температуры во фронте степного пожара  
 $V = 7$  м/с,  $t = 15$  с.,  $Z_{ap} = 0.2$  кг/м<sup>3</sup>

## **4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Целью данной работы является создание двумерной математической модели тепломассопереноса от верхового лесного пожара на основе законов механики сплошных сред и экспериментальных данных, и определение безопасного противопожарного разрыва и заслона в зависимости от параметров среды и лесного массива.

На рынке представлено большое количество программ, позволяющих решить различные задачи, связанные с моделированием. В числе прочих стоит отметить PHOENICS как представителя программ для решения широкого спектра задач, связанных с моделированием потока жидкости и газа. Также существует ряд программ, нацеленных на решение определенной задачи, например, wind2, рассматривающая верховые лесные пожары в сопряженной постановке и разрывы в лесных массивах.

Программа barrier представляет интерес, поскольку несколько расширяет круг выполняемых задач, требует меньших затрат времени для расчетов.

### **4.1 Предпроектный анализ**

#### **4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Для анализа потребителей результатов проведенного исследования был проанализирован целевой рынок и проведено его сегментирование.

Учитывая область наших исследований, которые направлены на обеспечение пожарной и экологической безопасности, можно выделить следующие сегменты рынка (таблица 4.1)

- высшие учебные заведения;
- научно-исследовательские институты;
- специалисты лесной охраны;

Таблица 4.1. Карта сегментирования рынка

	Параметры программ					
	Бесплатная версия		Оперативность		Расчет заслонов	
ВУЗ						
НИИ						
МЧС						
Лесная охрана						

Wind2
  PHOENICS
  Barrier

Таким образом, видно, что основными конкурентными преимуществами программы barrier становятся наличие бесплатной версии, оперативность и возможность расчета противопожарных заслонов.

Наиболее рациональным считаю ориентирование на МЧС и организации лесной охраны. Внедрение в научно-исследовательские организации требует наличия сертификатов точности, проверок и поверок, а использование в ВУЗах возможно, но более рационально использовать иные программы, с более широким спектром выполняемых задач для использования в различных областях.

#### 4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения проводится с помощью оценочной карты, приведенной в таблице 4.2.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения подбирались, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации. Данная разработка сравнивается с

альтернативными программными продуктами подобного класса:  
программа PHOENIX (K<sub>1</sub>) и wind2 (K<sub>2</sub>).

Таблица 4.2. – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии	Вес	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Повышение производительности труда	0,2	5	4	3	1	0,8	0,6
Удобство эксплуатации	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
Потребность в вычислительных ресурсах	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
Время, затраченное на 1 расчет	0,1	5	5	3	0,5	0,5	0,3
Выполняемые задачи	0,1	3	5	2	0,3	0,5	0,2
Экономические критерии эффективности							
Цена	0,2	5	2	5	1	0,4	1
Конкурентоспособность	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3
Послепродажное обслуживание	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Итого	1	36	35	28	4,6	4,1	3,6

Анализ конкурентных технических решений проводился по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (4.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки  
или конкурента; B<sub>i</sub> – вес показателя (в долях единицы);

B<sub>i</sub> – балл i-го показателя.

После проведенного анализа, можно сделать следующие выводы:

1. Программа barrier являет собой оптимальное соотношение функциональности и упрощения и способна выполнять различные задачи за короткий промежуток времени.

2. Ближайшим конкурентом является Phoenix, однако в рамках выбранных сегментов рынка, его достоинства (математический

аппарат, многофункциональность) не играют большой роли. На первое место встает оперативность, простота использования и интуитивно понятный интерфейс. Также уязвимость заключается в высокой цене – необходимо постоянно покупать и обновлять лицензию, что влечет дополнительные расходы. В то же время лицензия для barrier стоит дешевле и приобретается один раз.

### **4.1.3 SWOT – анализ**

SWOT-анализ проводится в несколько этапов.

На первом этапе мы описываем сильные и слабые стороны проекта, выявляем возможности и угрозы при его реализации, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Сильные стороны:

С1 – высокая скорость работы.

С2 – минимальное вмешательство пользователя. С3 – низкая стоимость.

С4 – не требует специальных знаний при использовании. С5 – совместимость с другими программами.

Слабые стороны:

Сл1 – программа работает только на английском языке. Сл2 – ограниченный круг решаемых задач.

Сл3 – отсутствие визуализации.

Сл4 – внесение изменений в программу невозможно. Сл5 – отсутствие графической оболочки.

Возможности:

В1 – возможно использование в научных, образовательных и прикладных целях.

В2 – решение задач как с разрывами, так и с заслонами.

В3 – широкомасштабное продвижение в структурах МЧС при взаимодействии кафедры и ЦУКС.

Угрозы:

У1 – наличие программ с аналогичным функционалом.

У2 – без финансирования становится невозможным приобретение программы.

У3 – создание более совершенный программ – быстрых и точных.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должно быть направлено на выявление степени необходимости проведения стратегических изменений (таблица 4.3).

Таблица 4.3. Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта					Слабые стороны проекта				
		С1	С2	С3	С4	С5	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
Возможности проекта	В1	+	0	+	0	0	-	-	-	-	+
	В2	+	0	-	0	+	-	+	+	-	-
	В3	+	+	-	-	-	-	0	+	-	-
Угрозы для проекта	У1	+	0	+	+	+	0	+	+	0	+
	У2	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-
	У3	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+

В рамках *третьего этапа* составляем итоговую матрицу SWOT-анализа научно-исследовательского проекта (таблица 4.4).

Результаты проведенного SWOT-анализа будут учтены при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

Таблица 4.4 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны:</p> <p>C1 – высокая скорость работы.</p> <p>C2 – минимальное вмешательство пользователя.</p> <p>C3 – низкая стоимость.</p> <p>C4 – не требует специальных знаний при использовании.</p> <p>C5 – совместимость с другими программами.</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>Сл1 – программа работает только на английском языке.</p> <p>Сл2 – ограниченный круг решаемых задач.</p> <p>Сл3 – отсутствие визуализации.</p> <p>Сл4 – внесение изменений в программу невозможно.</p> <p>Сл5 – отсутствие графической оболочки.</p>
<p>Возможности:</p> <p>V1 – возможно использование в научных, образовательных</p> <p>V2 – решение задач как с разрывами, так и с заслонами.</p> <p>V3 – широкомасштабное продвижение в структурах МЧС при взаимодействии кафедры и ЦУКС.</p>	<p>V1C1C3; V2C1C5;</p> <p>Высокая скорость работы программы и низкая стоимость позволяют использовать программу как в научных, так и в прикладных целях. Важным направлением продвижения является МЧС, что становится возможным ввиду описанных преимуществ</p>	<p>V1Сл5; V2Сл2Сл3; V3Сл3;</p> <p>Отсутствие визуализации и получение итоговых результатов только в числовой форме может отпугнуть потенциальных потребителей продукта. Ограниченная область применения программы позволяет более глубоко проработать тематику и выйти в лидеры на рынке программ для решения конкретной задачи.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1 – наличие программ с аналогичным функционалом.</p> <p>У2 – без финансирования становится невозможным приобретение программы. У3 – создание более совершенных программ – быстрых и точных.</p>	<p>У1У3С1С3С4С5; У2С3С5;</p> <p>Отсутствие финансирования приведет не только к затруднению приобретения данной программы, но и к невозможности ее полноценной эксплуатации – невозможности приобретения программ для визуализации. Продвижение на рынок</p>	<p>У1У3Сл2Сл3Сл5; У2Сл2.</p> <p>Наличие программ с одинаковым и более широким функционалом может привести к потере части потребителей. Необходимо усиливать преимущества и устранять недостатки.</p>

	необходимо осуществлять, опираясь и совершенствуя сильные стороны.	
--	--	--

#### 4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Для оценки готовности проекта к коммерциализации необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта (таблица 4.5).

*Таблица 4.5 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации*

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	2	2
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	2	2
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	2	2
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	1	1
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	1
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	2
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	2

11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	2	2
<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>		22	22

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (4.2)$$

где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;  $B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

Результаты оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации на данном этапе показывают перспективность ниже среднего. Причиной этому является короткий срок работы с данным программным обеспечением и завершение исследования пока только лишь начальной стадии. Для продвижения на рынок необходимо разработать бизнес-план для данной работы и осуществить привлечение специалистов для углубленного и всестороннего изучения возможностей ПО barrier.

#### **4.1.5. Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования**

Выделяют следующие методы коммерциализации научных разработок.

1. *Торговля патентными лицензиями;*
2. *Передача ноу-хау;*
3. *Инжиниринг;*
4. *Франчайзинг;*
5. *Организация собственного предприятия.*

6. *Передача интеллектуальной собственности* в уставной капитал предприятия.

7. *Организация совместного предприятия.*

8. *Организация совместных предприятий, работающих по схеме*

«российское производство – зарубежное распространение».

При продвижении такой разработки, как программное обеспечение, наиболее рациональным, на мой взгляд, является торговля патентными лицензиями, ввиду специфики продукта. Разработка программного обеспечения предполагает продажу права использования (в данном случае, бессрочно), но без права изменения или передачи иным лицам, то есть, имеется ввиду простая неисключительная беспатентная лицензия.

## **4.2 Инициация проекта**

### **4.2.1 Цели и результат проекта**

*Таблица 4.6 – Заинтересованные стороны проекта*

<b>Заинтересованные стороны проекта</b>	<b>Ожидания заинтересованных сторон</b>
Научно-исследовательские институты, высшие учебные заведения	Проведение исследований в области пожарной безопасности, моделирования лесных пожаров.
Исследовательские лаборатории и службы мониторинга промышленных предприятий	Проведение исследований и разработок в области экологической и пожарной безопасности.
Проектировочные организации и институты	Проведение исследований и разработок в области экологической и пожарной безопасности.
Федеральное агентство лесного хозяйства, управление МЧС России	Использование результатов исследований с целью проведения профилактических мероприятий в области пожарной безопасности.  Возможность проведения оценки, анализа и прогноза лесных пожаров.

В таблице 4.7. представлена информация о целях проекта и критериях достижения целей.

Таблица 4.7 –Цели и результат проекта

<b>Цели проекта:</b>	Создание модели верхового лесного пожара, и определение размеров безопасного противопожарного разрыва и заслона.
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Определение размеров безопасного противопожарного разрыва и заслона.
<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	Практическая значимость результата проекта реализуется в области пожарной безопасности, а именно: моделирование оценки воздействия верхового лесного пожара на лесной массив в присутствии разрывов и заслонов.
<b>Требования к результату проекта:</b>	<b>Требования:</b>
	Использование программного обеспечения barrier для построения модели тепломассопереноса верхового лесного пожара.
	Определение размеров безопасного противопожарного разрыва и заслона. .
	Применения полученных результатов в области пожарной и экологической безопасности.

#### 4.2.2 Организационная структура проекта

На данном этапе работы были решены следующие вопросы: кто входил в рабочую группу данного проекта, определена роль каждого участника в данном проекте, прописаны функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте.

Таблица 4.8– Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудовые затраты, час.
1	Перминов В.А., профессор каф. ЭБЖ НИ ТПУ	Координация (руководитель проекта)	Координирование деятельности	84
2	Цзюй Ичэнь Бакалавриат каф. ЭПЭО НИ ТПУ	Выполнение (исполнитель проекта)	Выполнение исследовательской работы	438
ИТОГО:				522

### 4.2.3 Ограничения и допущения проекта

В таблице 4.9 приведены факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта.

Таблица 4.9 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
1. Бюджет проекта	270 000 руб.
1.1. Источник финансирования	НИ ТПУ
2. Сроки проекта:	6.02.2019 –9.06.2019
2.1. Дата утверждения плана управления проектом	1.02.2019
2.2. Дата завершения проекта	9.06.2019

### 4.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта (рисунок 4.1).

### 4.3.2 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела необходимо определить ключевые события проекта, определить их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты. Данные сведены в таблицу 4.10.

Ключевыми событиями проекта является постановка цели и задач, аналитический обзор литературы по теме проекта, исследование в период прохождения научно-производственной практики, оценка и анализ полученных результатов и оформление проекта.

*Таблица 4.10 – Контрольные события проекта*

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Выбор темы научно-исследовательской работы. Постановка цели и задач.	6.02.19-10.02.19	Приказ
2	Анализ литературы.	16.02.19-13.03.19	Отчет по НИР.
3	Исследования в период прохождения научно-производственной практики.	30.01.19-10.03.19	Отчет по научно-производственной практике. Защита НПП.
4	Оценка и анализ полученных результатов, оформление проекта.	11.05.19-9.06.19	Предзащита – участие в конференции. Защита проекта.

### 4.3.3. План проекта

В рамках планирования научного проекта был построен линейный график проекта (таблица 4.11).

*Таблица 4.11 – Календарный план проекта*

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1.1.	Выбор темы научно-исследовательской работы . Постановка целей и задач.	5			Цзюй Ичэнь Перминов В.А.
1.2.	Выбор объектов и методов исследования	3			Цзюй Ичэнь Перминов В.А.
1.3.	Обзор литературы	15			Цзюй Ичэнь
2.1.	Физическая постановка задачи	7			Цзюй Ичэнь Перминов В.А.
2.2.	Изучение математической модели	7			Цзюй Ичэнь Перминов В.А.
2.3.	Изучение программы <i>barrier</i>	5			Цзюй Ичэнь. Перминов В.А.
2.4.	Определение размера а минимального противопожарного разрыва и заслона	20			Цзюй Ичэнь
3.1.	Оценка и анализ полученных результатов	7			Цзюй Ичэнь Перминов В.А.
3.2.	Оформление проекта	15			Цзюй Ичэнь
Итого		84			

Далее требуется построить диаграмму Ганта. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k_{\text{кал}}, \quad (4.3)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;  $T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4.4)$$

где:  $T_{\text{кал}} = 365$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}=95$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}} = 14$  –количество праздничных дней в году.

$$K_{\text{кал}} = 365 / (365 - 95 - 14) = 1.43$$

Диаграмма представлена в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

	Вид работ	Исполнители	Тк, кал.дни	Продолжительность выполнения работ													
				февраль			март			апрель			май			июнь	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
1.1	Выбор темы научно-исследовательской работы. Постановка целей и задач.	Руководитель, студент	7	■	■												
1.2	Выбор объектов и методов исследования	Руководитель, студент	4		■												
1.3	Обзор литературы	Студент	21			■	■	■	■								
2.1	Физическая постановка задачи	Руководитель, студент	10					■	■								
2.2	Изучение математической модели	Руководитель, студент	10						■	■							
2.3	Изучение программы barriер	Руководитель, студент	7							■							
2.4	Определение размера минимального противояжарного разрыва и заслона	Студент	28								■	■	■	■			
3.1	Оценка и анализ полученных результатов	Руководитель, студент	10												■		
3.2	Оформление проекта	Студент	21													■	■

#### 4.3.4. Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

##### 4.3.4.1 Расчет материальных затрат

В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Расчет затрат на материалы представлен в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Затраты на материалы

№ п/п	Наименование	Ед. измерения	Кол-во	Цена за единицу, руб	Сумма, руб.
1	Бумага	лист	100	0,5	50
2	Распечатка материалов	лист	200	2	400
3	Канцелярские принадлежности	набор	1	200	200
Всего за материалы, руб					650
Транспортно-заготовительные расходы (5%), руб					33
Итого, руб					683

##### 4.3.4.2 Затраты на оборудование и электроэнергию

Определение стоимости оборудования происходит по ценам из открытых источников.

Стоимость электроэнергии рассчитывается по формуле 4.2

$$C_{\text{эл}} = W_y \cdot T_g \cdot S_{\text{эл}}, \dots \dots \dots (4.5)$$

Где  $W_y$  – установленная мощность, кВт (0,35 кВт);

$T_g$  – время работы оборудования, час;

$S_{\text{эл}}$  – тариф на электроэнергию (2,66 руб/кВт·ч).

Затраты на потребляемую электроэнергию составляют:

$$C_{\text{эп}} = 0,35 \times 438 \times 2,66 = 408 \text{ руб.}$$

Таким образом, статьи по расходам на оборудование и электроэнергию сведены в таблицу 4.14

Таблица 4.14 – Затраты на оборудование и электроэнергию

№ п/п	Наименование	Ед. измерения	Кол-во	Цена за единицу, тыс.руб	Сумма, тыс.руб.
1	Компьютер	шт	1	30	30
2	Интернет, 5 мб/с	пакет	5	0,35	1,75
3	Flash-накопитель	шт	1	0,4	0,4
Всего за материалы, руб					32,15
Транспортно-заготовительные расходы (5%), руб					1,6
Электроэнергия					0,4
Итого, руб					34.16

#### 4.3.4.3. Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда).

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{\text{эп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} \quad (4.6)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата

Основная заработная плата ( $Z_{\text{осн}}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} + T_{\text{раб}} \quad (4.7)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{р}}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб. Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (4.8)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно технического персонала, раб. дней (таблица 4.15).

Таблица 4.15 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавриат
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	95	95
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	24
- невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	208	232

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_6 \cdot K_p \quad (4.9)$$

где  $Z_6$  – базовый оклад, руб.;

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Учитывая, что магистрант получает 100 руб/час, расчет заработной платы проводится для срока, в течение которого работали магистрант и руководитель соответственно. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.16.

Таблица 4.16 – Расчёт основной заработной платы

Исполнитель и	$Z_6$ , руб	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб
Руководитель	36800	1,3	47840	2392	29	69368
Бакалавриат	12900	1,3	16770	810	84	68040

#### 4.3.4.4. Дополнительная заработная плата

Размер дополнительной заработной платы рассчитывается, исходя из среднего значения в 12; от основной заработной платы. Тогда, суммарные выплаты руководителю и магистранту отражены в таблице 4.17.

Таблица 4.17 – Заработная плата исполнителей проекта

Заработная плата	Руководитель	Бакалавриат
Основная зарплата, руб.	69368	68040
Дополнительная зарплата, руб.	8324	8165
Зарплата исполнителя, руб.	77692	76205
Итого по статье, руб.	153897	

#### 4.3.4.5. Отчисления на социальные нужды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Размер отчислений рассчитывается по формуле 4.10

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (4.10)$$

В 2017 году размер тарифов страховых взносов равен:

В ПФР = 22%; В ФСС = 2,9%;

В ФФОМС = 5,1%.

Подобные процентные ставки используются потому, что исполнение проекта осуществляется без заключения договора подряда, таким образом сниженная ставка для ТПУ не может использоваться.

Дополнительно следует учесть взносы на страхование от несчастных случаев, которое для учреждений высшего образования составляет 0,2%

Тогда, общая сумма отчислений во внебюджетные фонды равна  $C_{\text{внеб}} = 0,302 \times 153897 = 46477$  руб.

#### 4.3.4.6 Накладные расходы

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (4.11)$$

В связи со спецификой разрабатываемой тематики, коэффициент накладных расходов можно принять равным 0,2.

Тогда  $C_{\text{накл}} = 0,2 \times 153897 = 30779$  руб.

На основании вышеописанных расчетов по отдельным статьям, плановая себестоимость проекта представлена в таблице 4.18

Таблица 4.18 – Группировка затрат по статьям

Наименование статей затрат	Сумма, руб
Материалы	683
Оборудование	34160
Оплата труда работников, непосредственно занятых созданием НИР	153897
Страховые взносы	46477
Накладные расходы	46169
Итого себестоимость ВКР	281386

### 4.3.5 Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности (табл. 4.19)

Таблица 4.19 – Матрица ответственности

Этапы проекта	Руководитель	Бакалавриат
Подготовительный этап	О	И
Основной этап	О	И
Заключительный этап	У С О	И

Степень участия в проекте характеризуется следующим образом:

*Ответственный (О)*– лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход.

*Исполнитель (И)* – лицо, выполняющее работы в рамках этапа проекта.

*Утверждающее лицо (У)* – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение).

*Согласующее лицо (С)* – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

### 4.3.6 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в

проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информацию по данному разделу сведена в таблицу 4.20.

#### **4.4 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования**

##### **4.4.1 Оценка социальной эффективности исследования**

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты.

В таблице 4.21 приводится оценка социальной эффективности программы *barrier* для построения модели тепломассопереноса верхового лесного пожара с противопожарными разрывами и заслонами.

Таблица 4.20 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятн. наступл.	Уровень риска	Влияние риска	Способы смягчения	Условия наступления
1	Некорректное восприятие интерфейса на английском языке	Затруднения при использовании	1	2	низкий	Изучение английского языка	Отсутствие знаний языка
2	Ошибочные входные данные	Неверные результаты	2	5	средний	Контроль за входящими данными	Ошибка оператора
3	Неверная обработка численных результатов	Ошибка в интерпретации	3	4	средний	Логический анализ полученных данных	Ошибка оператора
4	Отсутствие программы для визуализации	Невозможность визуализации и Затруднения в интерпретации	3	5	высокий	Покупка лицензии	Истечение срока действия или Отсутствие лицензии
5	Ошибка в коде программы	Неверные результаты	3	5	высокий	Тестовые проверки программы на известных решениях задач	Ошибка оператора

Таблица 4.21 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Дорогостоящий эксперимент по моделированию лесных пожаров.	Низкая стоимость ПО barrier по сравнению с затратами на эксперимент.
Невозможность проведения эксперимента в силу большого риска и невозможности получения модели на практике, особенно актуально для верховых лесных пожаров.	Получение модели по средствам компьютера без риска и опасности для здоровья людей и окружающей среды.
Большие затраты времени на постановку эксперимента. Сложная, а порой и невозможная постановка эксперимента.	Существенная экономия времени, наглядность и визуализация результатов моделирования.

## **5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **5.1 Введение**

Данная научно-исследовательская работа напрямую связана с математическим моделированием физико-химических процессов, а именно – взаимодействия фронта верхового степного пожара с степным массивом. Результатом работы является создание программы для расчетов параметров пожара при различных параметрах степного массива.

Создание подобных моделей в перспективе направлено на повышение защиты степей от пожара, а также для повышения уровня пожарной безопасности объектов, находящихся в непосредственной близости от границы степного массива. Соответственно, потребителями данного продукта являются структуры МЧС и организации степной охраны.

### **5.2 Анализ вредных факторов**

Вначале, необходимо определить, какие опасные и вредные факторы присущи данному типу работ и какие именно операции или процессы их вызывают. Идентификация потенциальных опасных и вредных производственных факторов проводится с использованием «Классификации вредных и опасных производственных факторов по ГОСТ 12.0.003–2015 [1]. Для математического моделирования основным видом работ является работа за компьютером, поэтому определять ОВПФ будем только для данного вида работ. Перечень ОВПФ действующих на человека при проведении испытаний, приведен в таблице 5.1

Таблица 5.1 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по математическому моделированию.

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа за ПЭВМ	Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды		СанПиН 2.2.4.548-96 [2]
	Чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания		СанПиН 2.2.4.1294-03 [3]; ГН 2.2.5.1313-03 [4]
	Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума		СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [5]
		Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	ГОСТ 12.1.038-82 [6]
	Повышенный уровень электромагнитных		ГОСТ 12.1.006–84 [7] СанПиН 2.2.4.1191-

	излучений		03. [8]
	Повышенная напряженность электрического поля		
	Повышенная напряженность магнитного поля		

Рассмотрим подробнее каждый из опасных и вредных производственных факторов, уделяя особое внимание следующим пунктам:

- Источник возникновения
- Физико-химическая природа
- Допустимые нормы воздействия
- Предлагаемые средства защиты.

### **5.2.1 Загрязнение воздушной среды**

Наличие в воздухе рабочей зоны вредных веществ и недостаток аэроионов обуславливается как факторами, возникающими в процессе работы за компьютером и оргтехникой, так и факторами, не относящимися непосредственно к данной производственной деятельности.

В процессе работы основной причиной недостатка аэроионов является компьютер – генерируемое электростатическое поле демонизирует воздух. Естественным решением является либо установка ионизаторов, либо проветривание.

Вредные вещества, а также пыль появляются ввиду многих причин – нагрева пластиковых элементов компьютера, работы оргтехники. Либо же имеет место несоблюдение норм при строительстве и отделке помещений.

Нормативы содержания веществ содержатся в ГН 2.2.5.1313-03 . Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны [4], допустимое содержание ионов в воздухе – СанПиН

2.2.4.1294-03 «Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений» [3].

### **5.2.2. Состояние воздушной среды**

К параметрам микроклимата относятся температура, влажность и скорость движения воздуха.

Нельзя выделить конкретный источник формирования опасности, связанной с неблагоприятными параметрами микроклимата. Это могут быть отсутствие кондиционирования воздуха, нагретые поверхности, нахождение большого числа людей на относительно небольшом пространстве.

Оптимальные параметры микроклимата – параметры, при воздействии которых организм пребывает в состоянии комфорта и не использует механизмы терморегуляции. Допустимые параметры – параметры, при систематическом воздействии которых у человека возникают быстро проходящие изменения в организме, не выходящие за пределы возможностей организма и не приводящие к серьезным нарушениям. Нахождение в оптимальных (допустимых) условиях увеличивает производительность труда, уменьшает риск заболеваемости и снижает утомляемость. Нахождение в неблагоприятных условиях приводит к таким заболеваниям, как различные формы простуды, радикулит, бронхит (в том числе, хронический) и иным, снижает работоспособность, ухудшает самочувствие.

Параметры состояния воздуха нормируются СанПиН 2.2.4.548 – 96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [2]. При нормировании параметров микроклимата учитывается тяжесть работ, период года и характеристику помещения по тепловому излучению. Для работы за компьютером (легкая степень работ 1а) и в теплый период года параметры указаны в таблице 5.2

*Таблица 5.2 – Допустимые параметры микроклимата на рабочих местах  
производственных помещений*

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура поверхности, С <sup>0</sup>	Температура воздуха, С <sup>0</sup>	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/сек
Холодный	1а	19-26	20-25	15-75	

В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата на организм человека в случаях возможного выхода фактических параметров за границы допустимых, необходимо применять меры защиты – системы местного кондиционирования воздуха, обогреватели, использование СИЗ - спецодежды, спец обуви, головных уборов, средств защиты рук, а также введение регламента работы. В производственных помещениях, где невозможно приведение фактических параметров к допустимым, рабочие места следует рассматривать как вредные.

### **5.2.3. Психофизиологические факторы**

Шум – это звук, оцениваемый негативно и наносящий вред здоровью.

Для шума нет нижней границы благоприятного значения. Даже небольшой уровень шума рассеивает внимание, вызывает утомление и головную боль. Высокие уровни шума могут привести к частичной потере или ослаблению слуха, или полной глухоте. Источником шумового загрязнения при работе за компьютером могут служить неисправные системы охлаждения компьютера или воздуха, а также различные механизмы и устройства, находящиеся в соседних помещениях.

Различные виды шумов нормируются разными величинами. Для постоянного шума нормируются уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц, для прерывистого и импульсного, а также для непостоянного шума – эквивалентные уровни звукового давления для тех же октавных полос. Нормативными документами являются ГОСТ 12.1.003-83(1999) «ССБТ Шум. Общие требования безопасности», СНиП П-12-77. «Защита от шума» и СН 2.2.4/2.1.8.562-96. «Шум на рабочих местах [5], в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки». Допустимый уровень шума для работающих в конструкторских бюро и лабораториях, согласно этим документам, приведен в таблице 5.3.

*Таблица 5.3 – Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука (ГОСТ 12.1.003–83 с изм. 1999 г.)*

Рабочее место	Уровень звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими значениями, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Конструкторские бюро, лаборатории	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

При возникновении недопустимого уровня шума необходимо выполнить меры либо по ограничению распространения шума, либо по ограничению воздействия его на людей.

К первой группе мероприятий относятся различные короба, щиты, кожухи, установленные на оборудовании, изменение технологии или конструкции. Также необходимо своевременно проверять и смазывать механизмы. Ко второй группе относятся, в первую очередь, коллективные средства защиты – устройство звукоизоляции, защита расстоянием, архитектурно-планировочные изменения. Если иными средствами уменьшить воздействие шума не удастся, необходимо использовать индивидуальные средства защиты – наушники, беруши, шлемы.

#### **5.2.4. Освещение**

При работе за компьютером именно глаза получают наибольшую нагрузку. Это связано с тем, что воздействие оказывает не только естественное и искусственное освещение, но и сам монитор. Неудовлетворительное освещение влияет не только на скорость работы, оно вызывает общее утомление организма, может привести к травматизму, а в перспективе – к нарушению или полной потере зрения.

Нормирование параметров освещенности в данном случае необходимо осуществлять при помощи двух документов - СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03.

«Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий» [9], который определяет наименьшую освещенность рабочих поверхностей в зависимости от вида производимой деятельности и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03

«Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [12], который нормирует параметры при работе за компьютером.

Допустимые параметры приведены в таблицах 5.4 и 5.5

Таблица 5.4 – Допустимые визуальные параметры устройств отображения информации

Параметры	Допустимые значения
Яркость белого поля	Не менее 35 кд/м <sup>2</sup>
Неравномерность яркости рабочего поля	Не более ±20%
Контрастность (для монохромного режима)	Не менее 3:1
Временная нестабильность изображения (непреднамеренное изменение во времени яркости изображения на экране дисплея)	Не должна фиксироваться

Таблица 5.5 – Нормируемые параметры естественного и искусственного освещения

Помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности (Г – горизонтальная, В – вертикальная) и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение		
		КЕО $e_n$ , %		КЕО $e_n$ , %		Освещенность, лк		
		при верхнем или комбинированном	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном	при боковом освещении	при комбинированном освещении		общем при
				всего	от общего			
Помещения для работы с дисплеями и видеотерминалами, залы ЭВМ	Г-0,8	3,5	1,2	2,1	0,7	500	300	400
	Экран монитора : В-1,2	-	-	-	-	-	-	200

В СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации

работы» указаны следующие требования к параметрам освещения:

– Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 – 500 лк

– Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк

– Яркость светящихся поверхностей (окна, светильники и др.), находящихся в поле зрения, должна быть не более 200 кд/м<sup>2</sup>.

– Яркость бликов на экране ПЭВМ не должна превышать 40 кд/м<sup>2</sup> и яркость потолка не должна превышать 200 кд/м<sup>2</sup>.

– В качестве источников света при искусственном освещении следует применять преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ и компактные люминесцентные лампы (КЛЛ).

– Коэффициент пульсации не должен превышать 5%.

При недостаточном освещении необходимо использовать более сильные лампы, увеличить количество источников света. При повышенной яркости необходимо снижать её, либо работать в спектральных очках.

### **5.2.5. Психофизиологические факторы**

Работа за компьютером связана с длительными статическими нагрузками на позвоночник и динамическими нагрузками на кисти рук и пальцы. Не эргономичное положение тела приводит не только к хроническим проблемам со здоровьем, но и снижает производительность труда, ухудшает восприятие информации, внимание, увеличивает утомляемость. Длительное умственное перенапряжение, связанное с работой по математическому моделированию, ведет к психосоматическим проблемам – головной боли, утомляемости, нервозности.

Для снижения отрицательного воздействия на организм этих вредных факторов, необходимо выполнять некоторые мероприятия. Важно обеспечивать эргономичное место работы – иметь стулья со спинкой и подлокотниками и регулируемой высотой, иметь достаточно просторный стол для удобного размещения монитора, клавиатуры и документов.

Для снижения умственного напряжения необходимо устраивать перерывы в работе (также это важно для сохранения зрения), использовать возможности цветового оформления (например, окраска стен в неяркий синий цвет). Будет нелишним выдача работникам памятки с различными упражнениями для снижения напряжения спины, ног, шеи, глаз.

### 5.3. Анализ опасных факторов

#### 5.3.1 Электропоражение

Источниками опасностей в данном случае являются токоведущие части электрооборудования – компьютера и периферийных устройств. Анализ опасных факторов – опасные уровни статического напряжения и опасность замыкания цепи на человека будет приведен в следующем разделе.

Повышенный уровень электромагнитных излучений, высокая напряженность электрического и магнитного полей относятся к вредным факторам. Эти воздействия нормируются следующим образом:

Таблица 5.6 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

Для обеспечения защиты сотрудника от электромагнитных излучений необходимо организовать правильное размещение и порядок работы за

компьютером. Мониторы следует размещать так, чтобы сзади и сбоку в непосредственной близости не находились люди. Если планируется не использовать компьютер некоторое время, то его лучше отключить. Также во время перерывов работники не должны находиться возле компьютеров.

Опасность поражения электричеством является главной опасностью при работе за компьютером. Существует не только вероятность поражения самого человека, возможно возникновение пожара вследствие замыкания электрической цепи, возможна порча ценного оборудования. Поэтому электробезопасности уделяется большое внимание.

Оценка и анализ электробезопасности в лаборатории осуществляется при помощи «Правил устройства электроустановок» [13].

Вначале необходимо определить класс помещения по электробезопасности. Поскольку в аудитории нет агрессивных веществ, токопроводящей пыли и полов, и повышенной влажности (свыше 75%), высокой температуры (свыше 35°C) и нет возможности одновременного прикосновения к имеющим связь с землей металлоконструкциям и металлическим частям электрооборудования, то помещение можно отнести к помещениям без повышенной опасности. [13]

Воздействие электромагнитных полей на человека проявляется в виде возникновения болезней в наиболее ослабленных системах организма – нервной, иммунной, эндокринной. Увеличивается утомляемость, нервозность, возбуждение ЦНС.

Согласно ПУЭ и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [13], при работе с компьютерами для обеспечения электробезопасности следует соблюдать правила:

– Электрооборудование, имеющее контакты для подключения заземления, должно быть заземлено, а помещения, где размещаются рабочие места с ПЭВМ (компьютерами), должны быть оборудованы защитным заземлением (занулением) в соответствии с техническими

требованиями по эксплуатации оборудования;

–Все крышки и защитные панели должны находиться на своих местах (при отсутствии крышки или защитной панели эксплуатация электрооборудования не допускается);

–При работе с электрооборудованием не допускать попадания влаги на поверхность электрооборудования, а также запрещается работать на электрооборудовании влажными руками;

–Вентиляционные отверстия электрооборудования не должны быть перекрыты находящимися вплотную стенами, мебелью, посторонними предметами;

–Выдергивание штепсельной вилки электроприбора необходимо осуществлять за корпус штепсельной вилки, при необходимости придерживая другой рукой корпус штепсельной розетки;

–Подключение и отключение разъемов компьютеров и оргтехники должно производиться при отключенном питании (за исключением подключения и отключения USB-устройств);

–Удаление пыли с электрооборудования должно производиться в отключенном от электрической цепи состоянии;

–Перед использованием электроприборов необходимо проверить надёжность крепления электророзетки, свериться с номиналом используемого напряжения;

–В помещениях, в которых используется напряжение двух и более номиналов, на всех штепсельных розетках должны быть надписи с указанием номинального напряжения;

–Корпуса штепсельных розеток и выключателей не должны содержать трещин, оплавлений и других дефектов, способных снизить защитные свойства или нарушить надёжность контакта;

–Недопустимо использовать штепсельные разъёмы в случае существенного нагревания штепсельной розетки или вилки

электроприбора при эксплуатации;

–Кабели (шнуры) электропитания не должны содержать повреждений изоляции, сильных изгибов и скручиваний;

Персонал, работа которого связана с возможностью поражения электрическим током, должен пройти обучение с присвоением I группы по электробезопасности.

#### **5.4. Экологическая безопасность**

Работы за ПЭВМ, к которым относится математическое моделирование, напрямую не влияют на окружающую среду. Однако отслужившая электроника, лампы, батареи при неправильной утилизации являются опасными и требуют особого подхода.

##### **5.4.1. Утилизация электроники.**

Утилизация электроники контролируется по двум причинам. Во-первых, на обычных свалках под открытым небом составляющие компьютера разрушаются и в окружающую среду поступают такие вещества как свинец, сурьма, кадмий, мышьяк, а также соединения на основе поливинилхлорида и фенол формальдегида. А во-вторых, в состав компьютеров старых образцов входит некоторое количество драгоценных металлов (в основном, золота), перемещение и оборот которых находится под государственным контролем. Утилизация компьютеров и оргтехники производится согласно методике, утвержденной государственным комитетом РФ по телекоммуникациям [14].

Согласно этой методике, существуют 4 этапа проведения работ – информационное обеспечение, заключение договоров, разборка техники и реализация партий лома. При этом в рамках договора реализуются не только элементы, содержащие драгоценные металлы, но и ломы цветных и черных металлов и пластмасса для вторичной переработки (до 95%). Таким образом выполняется сразу две задачи – сбережение ресурсов и уменьшение количества твердых отходов.

#### **5.4.2. Утилизация люминесцентных ламп.**

Что касается люминесцентных ламп, то тут ситуация двоякая. С одной стороны, эти лампы считаются экономичными и энергосберегающими, что, несомненно, является плюсом, поскольку массовое использование энергосберегающих ламп несколько снизит потребность в электроэнергии. С другой стороны, в люминесцентных лампах используется ртуть, что переводит отработанные лампы из обычных отходов в опасные, требующие специальной утилизации. Для юридических лиц необходимо заключать контракты с компаниями, занимающимися утилизацией токсичных отходов, что несет дополнительные расходы.

Стоит упомянуть также о том, что компьютерное оборудование должно соответствовать различным стандартам безопасности для обеспечения в том числе, и защиты окружающей среды. К таким стандартам можно отнести:

FCC - сертификат, устанавливающий нормативы электромагнитных и радионаводок, создаваемых оборудованием. Компьютер относится к классу В.

MPR-II – стандарт, определяющий предельные уровни электромагнитного излучения для мониторов.

ТСО-07 – экологический стандарт, регламентирующий многие факторы – эргономику, электромагнитные излучения, акустический шум, электробезопасность, экологическую безопасность, экономию электроэнергии.

EPA Energy Star – стандарт, распространяющийся на энергопотребление и обеспечивающий снижение потребления энергии в период бездействия.

#### **5.4.3. Другие воздействия**

Стоит сказать и про некоторые другие воздействия данного вида работ на окружающую среду. Это утилизация твердых бытовых отходов и

пользование коммунально-энергетическими сетями. Физические и юридические лица обязаны платить налог на утилизацию ТБО, пользование КЭС и очистку сточных вод.

Для уменьшения воздействия на окружающую среду этими путями можно использовать рациональный порядок пользования КЭС: не оставлять открытыми краны, не использовать электроэнергию там, где это не нужно (например, оставлять освещение после ухода), применять энергосберегающие лампы.

Для облегчения утилизации ТБО необходимо сортировать отходы.

### **5.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Для лаборатории, находящейся в здании промышленного корпуса, наиболее вероятными и опасными являются следующие ЧС:

- Пожары (взрывы) в зданиях (сооружениях);
- Внезапное обрушение зданий;
- Повреждение зданий вследствие военных действий.

#### **5.5.1 Пожарная и взрывная безопасность**

Согласно ФЗ №123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [15], помещение относится к классу Ф 4.3 (здание органов управления учреждений, проектно-конструкторских организаций, информационных и редакционно-издательских организаций, научных организаций, банков, контор, офисов.

Основными причинами пожаров и взрывов являются электроустановки (ПЭВМ) – искры при замыкании электрической цепи, неисправности в розетках и проводке, накопление статического электричества на токопроводящих элементах. Также возможны и другие причины возгорания и взрывов, но они маловероятны (неосторожное обращение с огнем, курение на рабочем месте, размещение легко воспламеняемых конструкций и материалов вблизи отопительных приборов, удар молнии).

Способы устранения причин пожаров могут быть следующие:

Предупредительные (организационные):

–Правильный выбор электрооборудования и способов его монтажа, систематический ремонт и контроль неисправности;

–Изолирование отопительных приборов от сгораемых конструкций и материалов,

–Запрещение хранения, транспортирования и содержания на рабочих местах огнеопасных жидкостей и растворов

–Предупреждение появления искровых разрядов статического электричества;

–Правильная организация заземления;

–Обучение персонала правилам пожарной безопасности;

–Размещение планов эвакуации, Технические:

–Обеспечение первичными средствами пожаротушения. Согласно [16], в помещениях с возможными пожарами класса А и Е (горение твердых материалов и электроустановок) необходимо иметь 2 порошковых огнетушителя.

–Обеспечение сигнализации и оповещения. Для этого можно использовать охранно-пожарную сигнализацию, которая обеспечит своевременное обнаружение возгорания, включит оповещение и передаст сигнал на пункт управления.

### **5.5 .2 Электропоражение как источник ЧС**

Современная система электробезопасности обеспечивает защиту от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;

- при косвенном прикосновении.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном

режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям, согласно [17] п.412. служат изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: защитное заземление и защитное зануление [17] п.413.

Даже если при электропоражении работающий внешне сохранил формат нормального самочувствия, он должен быть осмотрен врачом с заключением о состоянии здоровья. Предварительно пострадавший должен быть освобожден от действия электрического тока. Если при этом отключить напряжение быстро невозможно, освобождение от электричества пострадавшего необходимо производить, изолировав себя диэлектрическими перчатками или галошами. При необходимости перерезать провода (каждый в отдельности) инструментом с изолированными ручками. Если есть необходимость (при потере сознания, остановке сердца и т.п.) оказания первой помощи, то до прибытия медработника необходимо начать делать: наружный массаж сердца, искусственное дыхание.

Для предотвращения от поражения электрическим током при прикосновении к корпусам электроустановок, находящихся под напряжением при пробое изоляции или в других случаях, необходимо рассчитать и установить защитное заземление.

### Список используемой литературы.

- 1.ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
- 2.СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы»
- 3.СанПиН 2.2.4.1294-03 «Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений».
- 4.Гигиенические нормативы ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
- 5.Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96 "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки"
- 6.ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов
- 7.ГОСТ 12.1.006-84 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля
- 8.Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.4.1191-03 "Электромагнитные поля в производственных условиях".
- 9.СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий»
- 10.ГОСТ 12.2.033-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования»
- 11.Р 2.2.2006-05 Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда
- 12.СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»
- 13.ПУЭ «Правила устройства электроустановок. Издание 7»
- 44.Методика проведения работ по комплексной утилизации вторичных драгоценных металлов из отработанных средств вычислительной техники / Государственный Комитет РФ по телекоммуникациям / 1999 г.
- 15.Федеральный закон №123 от 4 июля 2008 г. «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»
- 16.Постановление Правительства РФ от 25 апреля 2012 г. №390 «Правила противопожарного режима в Российской Федерации»

17. ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Защита от поражения электрическим током».

## **Заключение**

В данной работе была разработана математическая модель возникновения и распространения степного пожара. На основании этой модели была создана компьютерная программа, при помощи которой проведено моделирование процессов распространения степных пожаров. Результатом расчетов стали распределения полей температур, концентраций кислорода и продуктов пиролиза.

Получены распределения полей температуры и концентраций компонентов газовой и конденсированной фазы в различные моменты времени. Для численного решения поставленной задачи использован метод контрольного объема.

Исследовано влияние влагосодержания и запаса растительных горючих материалов и скорости ветра на скорость распространения степных пожаров.

## Литература

1. Бурасов Д.М., Гришин А.М. Математическое моделирование низовых лесных и степных пожаров. Кемерово: Практика, 2006. 133 с.
2. 刘引鸽, 缪启龙, 高庆九. 基于信息扩散理论的气象灾害风险评价方法 [J]. 气象科学, 2005, 25( 1 ): 84- 89.
3. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров и новые способы борьбы с ними Новосибирск Наука ,1992.408 с.
4. Morvan D. Physical modelling of fire spread in Grasslands [Text] / D. Morvan, S. Meradji, G. Accary // Fire Safety Journal. 2009. No. 44. P. 50-61.
5. 刘军, 刘敏, 智会强. FDS 火灾模拟基本理论探析与应用技巧[J]. 安全科学技术, 2006(1): 6—13.
6. Li Zaizheng. Numerical Analysis About the Shangjie Highway of Tunnel Fire Based on FDS[D]. Xi'an: Chang'an University, 2011. (in Chinese with English abstract)
7. Wang Haihui, Zhu Jiping, Jiang Wei, et al. A mathematical model for estimating surface fire behavior[J]. Fire Safety Science, 1994, 3(1): 34—41. (in Chinese with English abstract)
8. Chen Wei, Cui Haohao, Qin Long, et al. Research of fire simulation based on FDS[J]. Computer Simulation, 2011, 28(12): 227—231. (in Chinese with English abstract)
9. Bonham, C.D. and A. Lerwick. 1976. Vegetation changes induced by prairie dogs on short grass range. Journal of Range Management 29:221-225.
10. Fons, W.L. Analysis of fire spread in light forest fuels / W.L. Fons // Journal of Agric. Res. - 1946. - Vol. 72, N 3. - P. 93-121.
11. Byram, G.M. The modeling of fire whirlwinds /G.M. Byram, R.E. Martin // Forest Science. - 1970. - Vol. 16. N 4. - P. 586-398.
12. Rothermel, R.C. A mathematical model for fire spread predictions in wildland fuels / R.C. Rothermel. - USDA Forest Service Research Paper INT-115, Ogden,

1972. - 40 p. (Intermountain Forest and Range Exp. Stn.).
13. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров / А.М.Гришин. - Томск: Изд-во Томского университета, 1981. - 277 с.
14. Гостинцев Ю.А. Аэродинамика среды при больших пожарах. Линейный пожар. Черноголовка: ИХВ АН СССР, 1977. - 51 с. (Препринт)
15. Коровин Г.Н. Методика расчета некоторых параметров низовых лесных пожаров / Сборник научных трудов Л.: ЛенНИИЛХ, 1969. - В. XII. - С. 244—262.
16. Grishin A.M. Mathematical Modelling of Forest Fires // Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia, P. 285-302.
17. Гришин А. М. Общая математическая модель степных пожаров и ее приложение // Экологические системы и приборы. 2004. №12. С. 25–29.
- 18 Patankar S., Numerical heat transfer and fluid flow. - McGraw-Hill, Hemisphere Publishing Corporation, 1980, 197 p.