**Павлов, Андрей Алексеевич. Моделирование распространения аварийных разливов нефти по участкам водотоков малых рек : диссертация ... кандидата технических наук : 03.02.08 / Павлов Андрей Алексеевич; [Место защиты: Моск. гос. ун-т инженер. экологии].- Москва, 2012.- 161 с.: ил. РГБ ОД, 61 12-5/2338**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ФГБОУ ВПО «МАТИ - Российский государственный технологический университет имени К.Э.Циолковского»

На правах рукописи

**ПАВЛОВ АНДРЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ ПО УЧАСТКАМ ВОДОТОКОВ МАЛЫХ РЕК**

Специальность 03.02.08 - Экология (в химии и нефтехимии)

Диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор А.В. Черняев

Москва 2012

[**Введение 3**](#bookmark3)

**Глава 1. Анализ моделей для прогнозирования развития аварийных разливов нефти при их попадании в малые водотоки 8**

1. Проблема прогнозирования развития аварийных разливов нефти при

их попадании в малые водотоки 8

1. Обзор существующих систем математического моделирования распространения нефтяных загрязнений 12
2. Подходы к моделированию нефтяных разливов 15
3. Подходы к построению модели распространения и преобразования

нефтяного разлива 18

1. Методики моделирования процессов преобразования нефтяного

разлива \* ^

1. [Поверхностное растекание нефтепродуктов 19](#bookmark8)
2. [Испарение летучих фракций нефти 21](#bookmark9)
3. [Эмульгирование воды в нефтяной разлив 22](#bookmark10)
4. [Диспергирование нефти в воде 23](#bookmark11)
5. [Моделирование изменения состояния нефти 23](#bookmark12)
6. [Фильтрация в береговой грунт 24](#bookmark16)
7. Выводы. Выбор направлений исследований и разработок 25 **Глава 2. Теоретические основы построения системы математического моделирования процессов распространения и трансформации аварийных разливов нефти по акваториям малых**

**водотоков**

2.1. Моделирование распространения нефтяного разлива по руслу водотока

1. Параметризация русла водотока
2. Режимы течения жидкости в водотоках
3. Модельное представление русла водотока
4. Модельное представление растекания нефтепродуктов в стоячей воде русла водотока

26

26 26 28 30

32

34 реки

1. Растекание нефти при турбулентном режиме течения
2. Растекание нефти при ламинарном режиме течения 41
3. Построение комплексной модели распространения и трансформации

нефтяного загрязнения

1. Модельное представление процесса испарения нефтепродуктов 53
2. Модельное представление процессов эмульгирования и диспергирования
3. Модельное представление фильтрации нефтепродуктов в грунт береговой поверхности
4. Модельное представление осаждения нефтепродуктов на донную поверхность
5. Комплексная модель распространения и трансформации нефти 61
6. Выводы по второй главе

58 61 63

1. Совместное рассмотрение процессов растекания и переноса током

**Глава 3. Моделирование осаждения нефтепродуктов на береговую растительность и сопряжение моделей с географической информационной системой (ГИС) малого водотока**

1. Построение модели осаждения нефтепродуктов на береговую растительность малых водотоков
2. Математическая модель площади поверхности береговых растений 65
3. [Классификация прибрежно-водной растительности 66](#bookmark46)
4. [Математическая модель оценки объема осевшей на береговых растениях нефти 70](#bookmark47)
   1. Географическая информационная система малого речного бассейна

и особенности ее формирования 78

* + 1. Общие положения 7 8
    2. [Разработка картографической основы гис малого водотока 80](#bookmark54)
  1. [Подходы к созданию интерфейса модели русла водотока 8 5](#bookmark56)
     1. [Представление исходных данных 85](#bookmark57)
     2. [Представление результатов моделирования 90](#bookmark58)
  2. Выводы по третьей главе

**Глава 4. Построение прогнозных оценок распространения аварийного разлива по акватории малых рек при помощи разработанных моделей**

1. Методика проведения моделирования и вычислительных экспериментов
2. [Имитационное моделирование и верификация модели 98](#bookmark62)
3. Задание исходных данных с использованием Гис 101
4. Выбор исходных условий и ограничений процессов моделирования 103
5. Результаты моделирования \* ^4
6. [Отображение результатов моделирования в Гис 116](#bookmark63)
7. [Определение величины экологического ущерба 116](#bookmark64)
8. Сравнение результатов моделирования с данными о нефтяном

разливе

1. [Использование моделирования при составлении пларн I^ /](#bookmark67)
2. Анализ особенностей процессов распространения и трансформации нефтяного разлива для акватории малого водотока
3. Выводы по четвертой главе **Заключение Список литературы Приложения**

Приложение 1 - справочные таблицы 145

64 64

95

97 97

129 129 131 133 145

148

Приложение 2 - листинг программы

**Введение**

**Актуальность работы.**

Начиная с 1999 г. в Российской Федерации происходит заметный ежегодный прирост добычи нефти, развитие сети магистральных трубопроводов и формирование новых экспортных направлений транспортирования. Однако, как показывает практика, полностью исключить аварии, связанные с процессом транспортировки нефтепродуктов и снизить до нуля вероятность их возникновения, невозможно. Поэтому возникает необходимость осуществления более тщательного прогнозирования последствий аварийных разливов.

Вопросам изучения и моделирования распространения нефтяных загрязнений в гидросфере посвящены ряд работ отечественных и зарубежных авторов: Р.Н. Бахтизина [4], С.М. Вайнштока [60], И.А. Мерициди [25], В.Д. Рябова [55], В.М. Журбаса [15], Дж. Фей [78], П. Блоккер [70], X. Шен [96], П. Яппа [105] и др., а также ряд нормативно- методических документов. Однако не существует метода, позволяющего с требуемой точностью осуществлять прогнозирования распространения аварийного разлива нефтепродуктов в условиях малых водотоков.

Необходимость решения современных задач по обеспечению техногенной и экологической безопасности, в частности при попадании нефтяных загрязнений в малый водоток, требует построения специальных математических моделей, описывающих всю совокупность происходящих процессов, и их реализацию с помощью разработки комплексной модели.

Применение системы моделирования поведения нефтяного пятна позволит повысить эффективность планирования и оперативного управления мероприятиями по локализации и ликвидации аварийных разливов.

**Цель работы.** Целью диссертационной работы является создание

комплексной модели распространения и трансформации нефтяных

загрязнений при их попадании в русла малых водотоков для повышения

3

точности систем прогнозирования.

Для достижения данной цели были поставлены и решены следующие задачи:

* исследована адекватность существующих математических моделей процессов распространения аварийных разливов нефти применительно к руслам малых водотоков для систем прогнозирования последствий таких разливов;
* разработан комплекс математических моделей, описывающий процессы переноса и трансформации нефтяного загрязнения при попадании нефти в русло малого водотока;
* проведена серия экспериментов для установления зависимости объема осевшей на растениях нефти от морфологии растений;
* разработана географическая информационная система малого водотока;
* проведено численное моделирование, отработка и практическая реализация результатов исследований.

**Основные научные результаты,** выносимые на защиту:

* комплексная модель распространения и трансформации нефтяного загрязнения при попадании нефти в русло малого водотока;
* статистическая модель зависимости объема осаждающейся на береговых растениях нефти от толщины слоя нефтяного разлива, площади поверхности прибрежной растительности, условного типа растений и площади пятна контакта нефтяного загрязнения с береговой поверхностью;
* принципы интеграции географической информационной системы (ГИС) и комплексной модели прогнозирования последствий распространения и преобразования аварийных разливов нефти, а также структурная схема такой системы;
* результаты вычислительных экспериментов, компьютерного и

имитационного моделирования распространения и трансформации нефти с

4

использованием ГИС применительно к реальным водным объектам, их сравнения с имеющимися экспериментальными данными.

**Научная новизна работы.** В работе решена важная научная и практическая задача прогнозирования распространения и трансформации нефтепродуктов при их попадании в малый водоток, а именно:

разработана комплексная математическая модель процессов распространения и трансформации нефти при ее попадании в малые водотоки, учитывающая характер прибрежной растительности, тип грунта береговой и донной поверхностей и свойства нефти;

* установлены теоретические зависимости скорости растекания нефти для гравитационно-инерционной и гравитационно-вязкой фаз по участкам водотоков малых рек от ее объема и времени с начала разлива;
* разработана статистическая модель, описывающая процессы сорбции нефти на береговую поверхность, учитывающая морфологические особенности береговой растительности и характеристики берегового грунта;
* установлено значение сорбционнрй способности основных видов береговой растительности;
* проведена серия вычислительных экспериментов, показавших что, полнота и точность прогнозируемых значений параметров, характеризующих процессы распространения и трансформации нефтяного загрязнения в условиях малого водотока выше, чем в случае ранее использовавшихся методик.

**Практическая значимость.** Предложенные алгоритмы и

комплексная модель позволили повысить точность расчетных данных и

облегчить их интеграцию в системы прогнозирования аварийных разливов.

Использование разработанных математических моделей и

полученных на их основе алгоритмов, программных комплексов и

расчетных результатов позволило повысить точность систем

прогнозирования и сократить продолжительность разработки планов

5

ликвидации аварийных разливов нефти (ПЛАРН) в акваториях малых рек.

**Реализация работы.** Разработанные математические модели и полученные на их основе расчетные результаты использованы в ЗАО «НПФ "ДИЭМ"» для оценки и прогнозирования воздействия разливов нефти на водотоки. Использование полученных результатов и разработанных на их основе программ для ЭВМ позволило существенно повысить качество и оперативность оценки ущербов окружающей среде при принятии решений по компенсационным мероприятиям.

**Объект исследования.** Объектом исследования являются процессы распространения и трансформации нефти при её попадании в малые водотоки.

**Предмет исследования.** Предметом исследования являются математические модели процессов распространения и трансформации нефти при её попадании в малые водотоки для систем прогнозирования аварийных разливов и анализа их последствий.

**Методы исследования.** В процессе теоретических и экспериментальных исследований использованы: элементы теории математического моделирования, методы теоретической и прикладной гидродинамики, методы статистического анализа, теория планирования эксперимента. Для оценки достоверности разработанного комплексной математической модели проводился вычислительный эксперимент на основе данных аварийного нефтяного разлива. Полученные данные обрабатывались с использованием методов математической статистики.

**Апробация работы.** Изложенные в настоящей диссертационной

работе материалы докладывались на: XXXIV, XXXV, XXXVI, XXXVIII

Гагаринских чтениях в 2007, 2008, 2009, 2011 гг.; Всероссийской НТК

«Новые материалы и технологии НМТ-2007», Москва, 2007 г.; Седьмой

Всероссийской НТК «Управление качеством», Москва, 2008 г.; 3-ей

Всероссийской научно-технической Интернет-конференции «Экология и

безопасность», Тула, 2008 г.; 46-ой международной научной студенческой

6

конференции «Студент и научно-технический прогресс», Новосибирск, 2008 г.; научных семинарах кафедры: «Промышленная экология и безопасность производства» МАТИ.

**Публикации по теме исследования.** По результатам проведенных исследований опубликовано 15 работ, в том числе 4 работы в журналах, рекомендованных ВАК.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация изложена на 144 страницах и включает в себя оглавление, введение, 4 главы собственных исследований, заключение, список литературы из 106 наименований и 2 приложения. Работа проиллюстрирована 47 рисунками и содержит 21 таблицу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе решена актуальная задача создание комплексной модели распространения и трансформации нефтяного загрязнения по акватории водотоков малых рек. При решении этой задачи получены следующие научные и практические результаты.

Разработана комплексная математическая модель процессов распространения и трансформации нефтяных загрязнений в малых водотоках, позволяющий повысить точность прогнозирования.

Проведен анализ адекватности известных математических моделей процессов распространения и трансформации аварийных разливов нефти и внесены изменения для адаптации существующих моделей к рассмотрению процессов в руслах малых водотоков.

Разработаны математические модели переноса нефти течением малого водотока, учитывающие геометрические особенности русла и модели процессов осаждения нефти на береговую и донную поверхности.

На базе предложенных моделей разработаны методика и алгоритм расчета границ распространения аварийного разлива, объема образовавшейся водонефтяной эмульсии и мест приоритетной защиты береговой поверхности.

Предложен способ сопряжения ГИС и комплексной математической модели процессов распространения и трансформации нефтяных загрязнений малых водотоков, представленный схемой такой системы.

С применением ГИС было проведено имитационное моделирование аварийного разлива нефти, на основании исходных данных о разливе нефти на нефтепроводе Харьяга - Усинск в августе - сентябре 1994 года. В ходе сравнения результатов построения прогнозной модели и

наблюдаемых данных было установлено, что расхождение не превышает 7,3%.

7. Использование предлагаемой методики прогнозирования распространения и трансформации нефтяных загрязнений позволяет вырабатывать рекомендации по защите уязвимых мест береговой поверхности, оптимизировать использование сил и средств при подготовке к ликвидации аварийных разливов нефти по малому водотоку, а также проводить оценку величины экологического ущерба от загрязнения нефтью и нефтепродуктами акватории и береговой поверхности.