

Федеральный  
исследовательский центр  
информационных  
и вычислительных  
технологий

Кафедра математического  
моделирования НГУ

Кафедра вычислительных  
технологий НГТУ

## ОБЪЕДИНЕННЫЙ СЕМИНАР

### ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (Численные методы механики сплошной среды)

*Основан в 1964 году академиком Н. Н. Яненко*

*Руководители: академик Ю. И. Шокин, д-р физ.-мат. наук профессор В. М. Ковеня*

## Аннотации докладов за 2020 г.

### Классификация симметричных высокоточных 2- и 3-слойных схем на расширенных шаблонах для уравнения Шрёдингера (и уравнения теплопроводности)

В. И. ПААСОНЕН

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, Новосибирск (18.02.2020)*

Рассматриваются двух- и трехслойные схемы для уравнения Шрёдингера (и уравнения теплопроводности), аппроксимирующие по основной переменной с максимально возможным порядком на симметричных многоточечных шаблонах произвольных габаритов. Для этих схем исследовано выполнение необходимого критерия Неймана, и на этой основе проведена классификация схем на вырожденные, абсолютно неустойчивые, условно устойчивые с указанием порогов устойчивости и абсолютно устойчивые.

Изучено изменение свойств схем в зависимости от порядка аппроксимации однородного уравнения по эволюционной переменной. Исследованы некоторые однопараметрические семейства схем (на два порядка ниже максимально возможного на данном шаблоне) с точки зрения установления для них условий устойчивости и диссипативности.

### Моделирование взаимодействия последовательности фемтосекундных лазерных импульсов с наклонным фронтом с прозрачными материалами

В. П. ЖУКОВ, Н. Б. БУЛГАКОВА, S. AKTURK

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, Новосибирск (03.03.2020)*

Представлены результаты моделирования взаимодействия фемтосекундного лазерного импульса с наклонным фронтом с прозрачными материалами. Актуальность темы

обусловлена широким использованием этого взаимодействия при обработке материалов и в медицине, а также тем, что большинство технологий и экспериментов имеют дело с импульсами с наклонным фронтом и многоимпульсным режимом. Показано, что наблюдаемая в экспериментах несимметричная запись (зависимость результатов воздействия последовательности импульсов на движущуюся мишень от направления этого движения) может быть объяснена наличием наклона фронта. Обсуждается роль различных физических эффектов, имеющих значение в многоимпульсном режиме.

### **Влияние области взаимодействий пар частиц на результаты статистического моделирования течений разреженных газов**

А. И. ХИСАМУТДИНОВ

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,  
Новосибирск (10.03.2020)*

В докладе рассматриваются задачи уравнения Больцмана и численные методы статистического моделирования, связанные с течениями разреженных газов. На примере задачи “О продольном обтекании пластины” сравниваются результаты вычислений стационарных распределений посредством трех известных методов, в двух из которых используется модель парных взаимодействий “соударения в ячейках”, а в третьем — сечения взаимодействий пар зависят от разностей координат их частиц. Выясняется, что вид области взаимодействий пар существенно влияет на результаты вычислений.

### **О монотонности и точности разностных схем сквозного счета**

В. В. ОСТАПЕНКО

*Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск  
(17.03.2020)*

Предложен метод построения комбинированных разностных схем сквозного счета, которые с повышенной точностью локализуют фронты ударных волн и одновременно сохраняют повышенный порядок сходимости во всех областях гладкости рассчитываемых обобщенных решений. Рассмотрена конкретная комбинированная схема, в которой в качестве базисной используется немонотонная компактная схема третьего порядка слабой аппроксимации, а в качестве внутренней — монотонная схема Кабаре второго порядка точности на гладких решениях. Приведены тестовые расчеты, демонстрирующие преимущества новой схемы.

### **Схемы повышенной точности и адаптивные сетки для расчета пограничных и внутренних слоев различных типов**

В. Д. ЛИСЕЙКИН, В. И. ПААСОНЕН

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, Новосибирск  
(24.03.2020)*

Решается ОДУ второго порядка с малым параметром, моделирующее реальные задачи с пограничными и внутренними слоями различных типов (экспоненциальными, степенными двух видов, логарифмическими и смешанными). Используется способ явного задания координатного преобразования, генерирующего адаптивную сетку, в за-

висимости от типа и расположения слоя на основе базового преобразования, склеенного с заданной степенью гладкости из локального преобразования в слое и полиномиальной функции вне слоя. Построенное координатное преобразование является обобщением на случай схем любого порядка точности преобразования, ранее созданного специально для простой схемы с ориентированной против потока разностью, для которой с использованием свойства диагонального преобладания ранее была также доказана равномерная по малому параметру сходимость.

На таком образом построенных адаптивных сетках используются схемы различных порядков точности от первого до четвертого, проводится сравнение качества расчетов по ним. Особое внимание уделено весьма популярной схеме Булеева, выгодно отличающейся от других схем порядка выше первого ее подобием противопотоковой схеме в смысле выполнения для нее свойства диагонального преобладания. Для нее в частном случае, когда вязкость мала только лишь в слое, доказана равномерная сходимость со вторым порядком. Если же вязкость мала также и вне погранслоя, установлено, что она обеспечивает лишь первый порядок точности, как и противопотоковая схема, что подтверждается анализом погрешности схемы и расчетами.

Исследуется вопрос о том, каким переменным, исходным физическим или новым, порожденным координатным преобразованием, следует отдать предпочтение при счете. Установлено, что для схем, не имеющих диагонального преобладания, следует предпочесть новые переменные, а для схем с диагональным преобладанием расчеты в разных системах координат равноценны.

## **Численное моделирование размыва связного грунта (по материалам кандидатской диссертации)**

А. И. ЗИМИН

*Кемеровский государственный университет, Кемерово*

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, Новосибирск*

*(13.10.2020)*

Работа посвящена построению модели двух- и трехкомпонентной вязкой несжимаемой жидкости для задач размыва и переноса связного грунта под действием внутреннего течения и поверхностных волн. Подобные задачи могут возникать при необходимости контроля за устойчивостью нефте- или газодобывающих платформ гравитационного типа, расположенных на прибрежном шельфе. Такие платформы держатся на дне благодаря огромной массе основания. В случае, когда дно является связным грунтом (глина, ил и т. п.), инженерные методы не всегда могут обеспечить получение корректной картины размыва, а проведение лабораторных экспериментов зачастую технически не представляется возможным. Модель описывается нестационарной системой уравнений Навье — Стокса (с учетом переменных вязкости и плотности), уравнениями конвективной диффузии и уравнениями для определения вязкости и плотности, зависящими от концентрации компонентов. В модели учитываются эффекты намкания и диффузии грунта в воде. Представлены результаты двух- и трехмерных расчетов задач размыва связного грунта (размыв грунта вблизи препятствия, Hole Erosion Test), распространения поверхностных волн (обрушение столба жидкости, распространение одиночной волны в гидроволновом лотке) и взаимодействия волн и донного грунта (движение подводного оползня, размыв грунта под действием поверхностных волн).

## **Разработка методик снижения катастрофического потенциала тропических циклонов путем внешнего воздействия с применением разумных энергетических затрат**

С. П. БАУТИН

*Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург  
(20.10.2020)*

Для России приход тропических циклонов на ее территорию, большая часть из них — на Приморский край, Курильские острова и Камчатку, сопровождается значительным ущербом для населения, производственной и социальной инфраструктуры, а также для других объектов, повреждение которых может привести к серьезным катастрофическим последствиям уже техногенного характера.

Предлагается на государственном уровне реализовать закрытый научный проект “Разработка методик снижения катастрофического потенциала тропических циклонов путем внешнего воздействия с применением разумных энергетических затрат”. Цель проекта: предложить способы уничтожения тропических циклонов с применением разумных энергетических вложений.

Проект основывается на результатах, полученных научной школой С. П. Баутина по математическому аналитическому и численному, а также и экспериментальному моделированию трехмерных нестационарных течений в восходящих закрученных потоках. В природе эти потоки встречаются в виде торнадо и тропических циклонов. С использованием этих результатов необходимо проведение массовых трехмерных нестационарных расчетов решений полной системы уравнений Навье — Стокса с учетом действия сил тяжести и Кориолиса.

Результаты расчетов должны моделировать два типа течений: 1) движение воздуха непосредственно в тропическом циклоне; 2) движение воздуха, возникающее в исходном течении после внешнего воздействия на тропический циклон. В том числе как при разных способах внешних воздействий с использованием разных энергетических размеров этих воздействий, так и при воздействии на разные места тропического циклона.

Итогом проекта должны быть конкретные рекомендации по способам воздействия на тропический циклон, местам воздействия и размерам энергетического вложения, приводящие к прекращению разрушительного действия тропического циклона.

## **Математическое моделирование ламинарно-турбулентного перехода в магнитогидродинамических течениях (по материалам докторской диссертации)**

А. В. ПРОСКУРИН

*Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, Барнаул  
(27.10.2020)*

Работа посвящена моделированию ламинарно-турбулентного перехода в магнитогидродинамических течениях. Рост интереса к таким исследованиям обусловлен долгосрочными перспективами использования жидких металлов в энергетике — в системах охлаждения ядерных и термоядерных реакторов. Были разработаны модификации численных методов и компьютерные программы, с помощью которых исследовалась устойчивость магнитогидродинамических течений в плоском канале и трубе кольцевого сече-

ния в рамках линейной модели. Изучены возможности использования метода функций В. Л. Рвачева для моделирования магнитогидродинамических течений и их устойчивости. Разработана модификация существующего спектрально-элементного программного комплекса, предназначенная для моделирования ламинарно-турбулентного перехода магнитогидродинамических течений. Корректность работы программы доказана сравнением с известными результатами для некоторых течений. Обнаружено возникновение противотечений в изогнутом канале при наличии магнитного поля. Показано, что такой режим течения является устойчивым по отношению к линейным и нелинейным возмущениям.

## **Расчетно-экспериментальные методы и технологии обеспечения прочности и живучести техники Крайнего Севера и Арктики**

В. В. Москвичев, Н. А. Чернякова, А. П. Черняев

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, Новосибирск (03.11.2020)*

Перспективные планы развития и реализации крупных инвестиционных проектов в регионах Сибири и Арктики должны быть увязаны с решением комплекса научно-исследовательских, опытно-конструкторских и производственных задач в области создания и организации массового производства техники северного исполнения. Данная постановка является основополагающей для развития базовых отраслей промышленности, создания объектов технологического (нефтегазовый комплекс, энергетика, транспорт, технологические машины) и инфраструктурного (системы жизнеобеспечения, строительный комплекс) назначения.

Актуальность проекта определяется реализацией обозначенной проблемы и необходимостью перехода на новые принципы создания техники северного исполнения на всех этапах жизненного цикла с учетом низкотемпературных условий эксплуатации, технологической и эксплуатационной дефектности, обеспечивающих повышенный уровень конструкционной прочности, хладостойкости, живучести и надежности за счет: 1) развития расчетно-экспериментальных методов механики деформирования; 2) внедрения инновационных производственных технологий (нанопорошковые, сварочные, контроля технического состояния); 3) проведения массовых испытаний конструкционных материалов и натурных стендовых испытаний новых образцов техники; 4) формирования актуализированной нормативно-технической базы расчетов и испытаний на прочность.

## **Цифровые двойники — интеграция методов и технологий математического моделирования, сбора и анализа данных для решения задач поддержки принятия решений**

А. В. Юрченко

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, Новосибирск (10.11.2020)*

Понятие “цифровой двойник” до сих пор не стало устоявшимся термином, однако широко используется для обозначения различных концепций и программных систем, в первую очередь — в промышленности и при проектировании технических систем. Потенциал этого понятия намного шире и, с одной стороны, его нужно обозначить, с другой — закрепить терминологически.

Рассматривается понятие “цифровой двойник” как программная система, сопряженная с аппаратными и иными средствами наблюдения, позволяющая анализировать текущее состояние объекта, строить прогнозы и сценарии его дальнейшего существования в рамках совместного жизненного цикла объекта и его цифрового двойника, осуществлять поддержку принятия решений.

Цифровой двойник становится неотъемлемой частью решения задач проектирования различных технических систем, в том числе зданий и сооружений. Построение BIM (Building Information Model) — необходимое условие реализации любого крупного строительного объекта. При этом, когда речь идет о комплексе класса мегасайнс, в жизненный цикл объекта включаются процессы, моделирование которых под силу только ученым. Так, создание цифрового двойника “ЦКП “СКИФ” требует интеграции усилий специалистов в области моделирования ускорительной техники и оптических структур, разработчиков строительного проекта, системных аналитиков для описания и организации бизнес-процессов.

Однако технические системы — это не самый распространенный класс объектов, для которых цифровые двойники представляют интерес. Особую важность начинают приобретать цифровые двойники социально-природно-технических систем различного уровня. Например, экосистемы горнопромышленного комплекса или бассейнов рек с высокой экологической нагрузкой, транспортной системы города или региона, территории/региона в целом, включая его социально-экономическую составляющую. Цифровые двойники таких объектов являются инструментом для ситуационного и сценарного анализа, поиска оптимальных управленческих решений в нормальных и аномальных условиях, как, например, в условиях быстрого распространения опасной инфекции, такой как COVID-19.

Таким образом, “цифровой двойник” — это активно развивающееся понятие, не имеющее до сих пор однозначной общепринятой интерпретации. Создание цифрового двойника требует интегрирования технологий и методов компьютерного моделирования, анализа и усвоения данных, экспертных информационных систем и систем мониторинга. Классы объектов, для которых можно строить цифровой двойник, выходят далеко за пределы технических систем, и для его создания необходимо объединение усилий специалистов из разных областей, интегрирующим инструментом при этом становится системный анализ и его методологическая база.

## **Численное моделирование распространения рассола, сбрасываемого в прибрежную зону Средиземного моря с израильских опреснительных установок**

М. Сладкевич, А. Левина

*Coastal and Marine Engineering Research Institute, Technion, Израиль*

(24.11.2020)

Работа посвящена численному моделированию распространения рассола, сбрасываемого в прибрежную зону Средиземного моря с израильских опреснительных установок. Острый дефицит пресной воды в Израиле привел к необходимости интенсивного развития системы опреснительных станций морской воды. С начала 21 в. началось их строительство и, к 2019 г. было построено пять опреснительных станций, вырабатывающих примерно 600 миллионов кубических метров пресной воды в год. В настоящее время на стадии разработки находятся еще две станции.

Для опреснения используется технология обратного осмоса, т. е. процесс, в котором морская вода продавливается через полупроницаемую мембрану в обратном для осмоса направлении. При этом мембрана пропускает воду, но не пропускает растворенные в морской воде соли. Образующийся рассол, соленость которого превышает соленость морской воды примерно в два раза, а избыточная температура может составить несколько градусов, сбрасывается в море. “Пятно” с повышенной соленостью и температурой распространяется в прибрежной зоне под воздействием как гравитационных сил, так и ветра и волн.

Задача математического моделирования заключалась в определении повышения солености в различных районах рассматриваемой области, в особенности у водозабора опреснительной станции и на границах природоохраняемых зон. Моделирование проводилось на этапе проектирования опреснительных станций с использованием трехмерной модели CAMERISD.

В настоящее время министерством охраны окружающей среды проводится постоянный мониторинг, результаты которого разумно согласуются с прогнозами моделирования.

## **Объектно-ориентированный подход в численном моделировании процессов нефтewытеснения**

З. У. УЗАКОВ

*Каршинский филиал Ташкентского университета информационных технологий  
им. Мухаммада аль-Хоразмий, Карши, Республика Узбекистан (01.12.2020)*

Работа посвящена реализации объектно-ориентированной технологии разработки программного обеспечения применительно к задаче моделирования на компьютере одномерного процесса нефтewытеснения в рамках математической модели двухфазной фильтрации Лиса — Рапопорта. Построены и использованы компьютерные аналоги таких объектов реального мира, как нагнетательная скважина, эксплуатационная скважина, нефтеносная среда между скважинами. Приведены результаты вычислительных экспериментов по моделированию на компьютере одномерного процесса нефтewытеснения с использованием разработанного на основе объектно-ориентированной технологии программного обеспечения.

*Место и время проведения заседаний:* по вторникам, в 16.00, дистанционно или в конференц-зале Федерального исследовательского центра информационных и вычислительных технологий

*Адрес:* просп. акад. Лаврентьева, 6, Новосибирск, 630090

*Секретарь семинара:* канд. физ.-мат. наук Олег Игоревич Гусев

*e-mail:* gusev\_oleg\_igor@mail.ru

*Интерактивная заявка доклада:*

<http://www.ict.nsc.ru/ru/education/seminar/seminar-page-ict>