

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
Сибирского отделения Российской академии наук

Утверждено

Программа развития
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института
гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской
академии наук
на 2019-2023 годы

Новосибирск

2019

**ПРОГРАММА РАЗВИТИЯ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
ИНСТИТУТА ГИДРОДИНАМИКИ ИМ. М.А. ЛАВРЕНТЬЕВА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
на 2019-2023 гг.**

РАЗДЕЛ 1. ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ

1	Информация о научной организации	
1.1.	Полное наименование	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук
1.2.	Сокращенное наименование	ИГиЛ СО РАН
1.3.	Фактический (почтовый) адрес	630090, Россия, Новосибирская область, г. Новосибирск, проспект академика Лаврентьева, дом 15.
2.	Существующие научно-организационные особенности организации	
2.1.	Профиль организации	Генерация знаний
2.2.	Категория организации	1
2.3.	Основные научные направления деятельности	<ul style="list-style-type: none"> 1. математические проблемы механики сплошных сред (МПМСС); 2. физика и механика высокоэнергетических процессов (ФМВП); 3. механика жидкостей и газов (МЖГ); 4. механика деформируемого твердого тела (МДТТ) 5. научно-исследовательские и опытно конструкторские разработки (НИОКР) конструкторско-технологического филиала (КТФ)

РАЗДЕЛ 2. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРОГРАММЫ РАЗВИТИЯ

2.1. Цель Программы развития

Целью программы развития ИГиЛ СО РАН является повышение интенсивности научных исследований на основе 1) развития наиболее перспективных тем и создания трех новых лабораторий, 2) обновления научного оборудования института на 50%, 3) развития института наставничества, укрепления и омоложения кадрового состава (с доведением доли молодых исследователей в возрасте до 39 лет до 40% к 2024 году), 4) привлечения внебюджетного финансирования от научных фондов, предприятий реального сектора экономики. Целевыми показателями являются: 1) получение новых фундаментальных и прикладных результатов, 2) увеличение публикационной активности сотрудников Института на 7% в год (показатели 2020-2021 гг.) , 3) сохранение лидирующей позиции Института в референтной группе «Гидро- и аэродинамика, микромеханика», 4) привлечение дополнительного финансирования на уровне 30% от общего финансирования, в том числе финансирования от реального сектора экономики в объеме 60% процентов от привлеченного финансирования.

2.2. Задачи Программы развития

1) Формирование и реализация научно-исследовательской программы, нацеленной на опережающее развитие наиболее востребованных тематик фундаментальных и прикладных исследований (в том числе – в интересах государственных корпораций и ведомств), соответствующих приоритетным направлениям научно-технологического развития Российской Федерации: а) переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, новым материалам и способам конструирования, б) повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, в) переход к персонализированной медицине и высокотехнологичному здравоохранению, д) противодействие техногенным угрозам, е) занятие и удержание лидерских позиций в создании международных транспортно-логистических систем, освоении и использовании космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики.

2) Развитие интеллектуальных ресурсов Института и омоложение кадрового состава, в частности, доведение доли молодых исследователей в возрасте до 39 лет до 40%, интенсификация работы аспирантуры и докторантуры, разработка и совершенствование новых программ обучения на базовых кафедрах НГУ и НГТУ по наиболее востребованным направлениям.

3) Организация эффективной работы трех новых лабораторий

- цифровых и интеллектуальных систем добычи углеводородов – математическое моделирование, в том числе с применением методов искусственного интеллекта для описания физико-механических процессов добычи нефти и газа;
- моделирования гетерофазных материалов – математическое и физическое моделирование, технологии создания функциональных композиционных материалов, структурированных на макро-, мезо- и наноуровнях;

- механики неупорядоченных сред – экспериментальные исследования течения жидкостей со сложной реологией, пен, суспензий, разрушения материалов с внутренней структурой, статистический анализ и построение моделей.

4) Обновление научного оборудования Института на 50% за счет средств федеральной субсидии и привлеченного внебюджетного финансирования, развитие и модернизация вычислительных мощностей.

5) Участие ИГиЛ СО РАН в работе на установках коллективного пользования класса «мега-сайенс», в частности, создание станции «Быстропротекающие процессы» 1-й очереди источника синхротронного излучения нового поколения СКИФ.

6) Активное участие ИГиЛ СО РАН в создании и работе Математического центра НГУ с целью развития методов математического моделирования, искусственного интеллекта и обработки данных в решаемых задачах, привлечения ведущих зарубежных ученых к чтению лекций и интенсивных курсов, организации российских и международных конференций, школ для молодых ученых.

7) Участие ИГиЛ СО РАН в формировании тематики и дальнейшем развитии НОЦ в рамках президентской программы.

8) Развитие связей ИГиЛ СО РАН с организациями-партнерами с целью интенсификации взаимодействия с реальным сектором экономики, в частности, сотрудничество с государственными корпорациями (Газпром, Росатом, ОДК, Ростех и т.д.).

9) Создание условий для роста публикаций сотрудников Института в высокорейтинговых, в том числе иностранных, журналах.

10) Совершенствование деятельности редакционных коллегий, издаваемых ИГиЛ СО РАН научных журналов ПМТФ и ФГВ с целью повышения привлекательности журналов для авторов и улучшения показателей журналов в международных базах данных.

11) Повышение эффективности планово-финансовой и закупочной деятельности ИГиЛ СО РАН путем внедрения электронных систем планирования и учета, а также электронного документооборота.

Сформулированные задачи Программы развития нацелены на обеспечение вклада ИГиЛ СО РАН в реализацию Указа Президента Российской Федерации «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» от 07 мая 2018 г. №204, и Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642.

РАЗДЕЛ 3. НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ПРОГРАММА

3.1. Ключевые слова: математическое моделирование, реология жидкостей, механика гетерогенных сред, гидроразрыв пласта, геофизическая гидродинамика, гемодинамика, биомеханика, детонационные течения, энергетические материалы, детонация, синхротронное излучение, скоростной удар, ударные волны, детонация газов и газо-взвесей, непрерывная спиновая детонация, детонационные двигатели, инициирование горения и детонации, гашение пламен и детонационных волн, композитные материалы, формообразование, надежность конструкций, аддитивные технологии, функциональные покрытия, электроискровое спекание, порошковые материалы, нанопорошок

3.2. Аннотация научно-исследовательской программы

Научно-исследовательская программа ИГиЛ СО РАН нацелена на опережающий рост наиболее перспективных новых научных направлений путем создания молодежных коллективов, привлечения внебюджетного финансирования, активного сотрудничества с НГУ и НГТУ, участия в крупных коллаборациях, работающих на установках класса «мега-сайенс», развития международного сотрудничества. Научно-исследовательская программа включает в себя четыре крупных блока, относящихся к следующим областям: 1) механика жидкостей и газов (МЖГ), 2) механика деформируемого твердого тела (МДТТ) и материаловедение, 3) физика и механика высокоэнергетических процессов (ФМВП), 4) научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки (НИОКР) Конструкторско-технологического филиала (КТФ ИГиЛ СО РАН). Деятельность в области математических проблем механики сплошных сред (МПС) входит в качестве фундаментальной составной части во все четыре блока программы.

В области **Механики жидкостей и газов (МЖГ)** ключевыми направлениями являются: создание **Лаборатории цифровых и интеллектуальных систем добычи углеводородов**, развитие исследований в области геофизической и технической гидродинамики (в том числе – гидродинамики вращающихся жидкостей и конвективных течений), а также в области гидродинамики и гидроупругого поведения кровеносных систем. В рамках программы обновления научного оборудования по направлению **МЖГ** предполагается: приобретение оборудования для исследования реологии жидкостей и свойств проппантов последнего поколения, позволяющих изучать используемые в нефтяной индустрии материалы в близких к пластовым условиям; создание новых экспериментальных стендов для изучения течения неньютоновских гелей с примесью твердых частиц (проппанта), моделирования гидроразрыва пласта; сооружение высокоточной вращающейся платформы для экспериментальных исследований динамики вращающихся и стратифицированных жидкостей, а также конвективных течений; создание экспериментальных стендов для моделирования гидроупругого поведения различных участков кровеносных систем, оснащение планируемых к постройке стендов современными измерительными комплексами. На стыке исследований в области **МЖГ** и **МДТТ** работает **Лаборатория механики неупорядоченных сред** (с привлечением финансирования реализуемого в ИГиЛ СО РАН мега-гранта).

В области **Механики деформируемого твердого тела (МДТТ) и материаловедения** ключевыми направлениями являются: создание **Лаборатории моделирования гетерофазных материалов**; разработка технологий создания и исследование свойств новых материалов и функциональных покрытий, обладающих заданными свойствами твердости, жаростойкости, долговременной прочности; развитие математических моделей, вычислительных алгоритмов и экспериментальных методов для анализа деформирования и разрушения конструкционных и функциональных материалов с учетом накопленной поврежденности, ползучести, вязкости и анизотропии; исследование оптимальных режимов технологических операций в режимах пластичности и ползучести; анализ напряжений на разных структурных уровнях; решение задач создания новых материалов и функциональных покрытий, обладающих необходимыми свойствами твердости, жаростойкости, долговременной прочности. Развитие таких технологий, как детонационное напыление порошковых покрытий; синтез углеродных частиц при взрыве горючих газов и конденсированных взрывчатых веществ; искровое

плазменное спекание (SPS) порошковых материалов; обработка металлов высокоэнергетическим воздействием, в том числе сварка и упрочнение взрывом, магнитоимпульсная сварка, точная штамповка деталей из металла; создание сверхвысокомолекулярных полимеров.

В области **Физики и механики высокоэнергетических процессов (ФМВП)** ключевыми направлениями являются исследования 1) детонации взрывчатых веществ и воздействия взрыва на материалы, 2) детонационных режимов сжигания горючих газов для задач энергетики и взрывобезопасности. Приоритетное направление проекта – создание экспериментальной станции 1-й очереди установки класса мега-сайенс СКИФ «Сибирский кольцевой источник фотонов» по исследованию быстропротекающих процессов с помощью синхротронного излучения. Проект направлен на развитие физики и механики детонации высокоэнергетических материалов и скоростного воздействия на инертные материалы; решение прикладных задач повышения безопасности, боеспособности и стабильности применяемых взрывчатых материалов; разработки технологий сжигания топливовоздушных смесей в режиме непрерывной детонации в проточных камерах сгорания; решение фундаментальных и прикладных задач взрывобезопасности на шахтах, АЭС, газопроводах и хранилищах, в бытовых и промышленных условиях.

С области **научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок (НИОКР) КТФ ИГиЛ СО РАН** приоритетными направлениями являются: 1) разработка оборудования для утилизации отработанных тепловыделяющих сборок АЭС, 2) совершенствование технологии высокоточной штамповки, 3) проектирование взрывных камер различного назначения.

3.3. Цель и задачи научно-исследовательской программы

БЛОК МЖГ. Описание физико-механических свойств горных пород при технологических воздействиях, связанных с добычей углеводородов, является сложной сопряженной задачей, включающей течения неньютоновских жидкостей в областях со сложной геометрией, фильтрацию жидкости с учетом пороупругих эффектов и химических превращений, разрушение материалов и многие другие вопросы. Решению этих задач посвящено большое количество исследований. Тем не менее, постоянное совершенствование технологий нефтедобычи требует совершенствования аппарата математического моделирования, а он, в свою очередь, не может обойтись без решения фундаментальных проблем описания нелинейных процессов, решения обратных задач, создания экспериментальных установок и проведения лабораторных исследований. Целью работы на ближайшие 5 лет является развитие имеющихся наработок и формирование в ИГиЛ СО РАН передовой лаборатории в областях численного и экспериментального моделирования процессов, связанных с технологией гидроразрыва пласта (ГРП) и других методов увеличения нефтеотдачи.

Работа подразумевает решение следующих связанных задач:

1. Развитие методов математического моделирования процессов разрушения термо-поро-упругих сред с химическими превращениями. Основной целью здесь является создание иерархии математических моделей ГРП с различной степенью подробности и с соответствующими требованиями к вычислительным ресурсам. Предмет фундаментальных исследований

состоит в нелинейности и существенной связанности процессов, а также в необходимости обеспечивать вычислительную эффективность и стабильность, требуемые для использования моделей в технологических программных комплексах.

2. Разработка математических моделей, описывающие нестационарные течения неньютоновских жидкостей и суспензий в каналах сложного строения. Прикладной аспект задачи связан с более точным описанием транспорта неньютоновских жидкостей в скважине, трубопроводах, трещинах и проч., совершенствованием методик бурения и добычи нефти в сложных условиях, решения обратных задач определения физико-механических параметров трещин и пласта путем интерпретации нестационарных и волновых явлений. Фундаментальная сложность состоит в создании и валидации вычислительно эффективных (как правило, одномерных) моделей, описывающих наблюдаемые трехмерные нестационарные процессы.
3. Создание и эксплуатация экспериментальных установок, моделирующих в лабораторных условиях отдельные аспекты технологий нефтедобычи: создание трещин гидроразрыва в неоднородной пороупругой среде, течения неньютоновских жидкостей, суспензий и пен в щелях и каналах, эволюцию фронтов вытеснения и другие.
4. Создание и аккредитация лаборатории по анализу реологии жидкостей гидроразрыва и проппантов. Необходимость в такой лаборатории продиктована следующими тремя аспектами: потребность в адекватной и полной информации о реологии и свойствах применяемых на практике жидкостях гидроразрыва и проппантах для использования в математических моделях; формирование запроса для производителей на свойства «умных» материалов: жидкостей и проппантов с определенной реологией и свойствами, позволяющими достичь нужных параметров трещины ГРП за счет правильной комбинации свойств жидкостей и режимов их закачки; проведение заказных исследований используемых компаниями жидкостей и проппантов, разработка методик определения реологии таких жидкостей, взаимодействие с R&D-центрами производителей этих компонент.

Целью научно-исследовательской программы в области **геофизической гидродинамики** является выполнение теоретических, лабораторных и натурных исследований актуальных задач океанологии и лимнологии на базе внутрироссийской и международной кооперации. Для дальнейшего развития данной тематики в ИГиЛ СО РАН предполагается сооружение вращающейся платформы средней несущей способности (порядка 1 тонны) при частоте вращения до 20-30 оборотов в минуту, которая позволит проводить экспериментальные исследования динамики вращающейся и стратифицированной жидкости, а также конвективных течений на современном уровне. Данная работа заложит базу для более крупной платформы, запланированной в проекте Академгородок 2.0. Одновременно с задачей сооружения платформы будет решаться задача частичной унификации используемого аппаратного и программного обеспечения с научными организациями – партнерами, что позволит быстро и эффективно наладить международное и внутрироссийское сотрудничество. Среди актуальных задач можно отметить также необходимость распространения кооперации на недавно вошедшие в российское научное сообщество организации, в частности ФГБУН МГИ РАН (г. Севастополь). Основу тематики будущих исследований составит теоретическое и экспериментальное изучение вихревых и волновых явлений, перемешивания, турбулентности (в т.ч. волновой) и конвекции в стратифицированной и вращающейся жидкости.

В области исследований **гемодинамики** будут развиты численные методы расчета течений в различных участках кровеносной системы, в том числе с учетом эффектов гидроупругости. В этой связи большой интерес представляет развитие экспериментальной базы как для исследования реологии крови, других биологических жидкостей и эмболизантов, так и для исследования упругих и прочностных свойств биологических тканей, создания моделей участков кровеносной системы.

БЛОК МДТТ и материаловедения. Целью данного раздела научно-исследовательской программы является создание технологий получения новых композиционных материалов и функциональных покрытий, в том числе с использованием высокоэнергетических процессов. Будут развиваться теоретические, компьютерные и экспериментальные исследования квазистатических и динамических процессов деформирования и разрушения твердых тел с различными уравнениями состояния, близких к предельным (текучесть, пластичность, ползучесть и пр.); оптимизироваться процессы формообразования деталей при медленном деформировании и влиянии температуры; совершенствоваться работа оборудования детонационного напыления; реализовываться новое технологическое направление - суспензионное детонационное напыление; исследоваться и разрабатываться комбинированные виды соединений с использованием технологии SPS, детонационного напыления и современных композиционных порошковых материалов с наполнителями в виде углеродных частиц и нанотрубок; разрабатываться технологии создания новых функциональных материалов с заданными свойствами. В числе приоритетов опережающего развития по данному направлению – организация **Лаборатории моделирования гетерофазных материалов**. Для развития направления МДТТ и материаловедения необходимо приобретение современных тепловизионных камер, установок для испытаний на усталость и ползучесть, стендов абразивных и эрозионных испытаний, доукомплектация испытательных машин оборудованием для проведения испытаний при высоких температурах, электронного микроскопа и т.д.

БЛОК ФМВП. Целью программы исследований в рамках данного блока является развитие механики детонации взрывчатых веществ и воздействия взрыва на материалы, а также изучение детонационных режимов сжигания горючих газов для задач энергетики и взрывобезопасности. Проект нацелен на исследование физических и механических аспектов течений, возникающих при детонации конденсированных взрывчатых веществ и при интенсивных ударных волнах в инертных материалах. Предполагается согласованное развитие современных экспериментальных методик исследования динамических процессов и построение расчетных моделей, количественно описывающих рассматриваемые явления. Получаемые фундаментальные результаты являются основой для создания технологий практического применения взрывных и ударно-волновых процессов.

В проекте предполагается развитие ряда направлений: 1) исследование детонационных характеристик эмульсионного взрывчатого вещества на основе аммиачной селитры и разработка технологий его применения для обработки материалов, 2) разработка экспериментальных методик исследования динамических процессов для получения новых экспериментальных данных, 3) диагностика структуры детонационного фронта методами электропроводности, электромагнитным методом измерения массовой скорости, VISAR, 4) пирометрические измерения температуры в ударных волнах, 5) развитие рентгенографических и дифракционных методов с

использованием синхротронного излучения, 6) разработка многоуровневых (от молекулярной динамики до сплошной среды) моделей поведения вещества при динамическом воздействии, развитие молекулярно-динамических и статистических моделей уравнений состояния инертных конденсированных сред и плотных реагирующих газов, 7) определение реологических свойств металлов при скоростном деформировании в условиях формирования кумулятивной струи, а также определение критерия устойчивости кумулятивного течения, 8) разработка и создание приборов и методик для импульсной рентгеновской регистрации быстропротекающих, в том числе – взрывных, процессов.

Целью проекта в области изучения задач непрерывной спиновой детонации является: всестороннее экспериментальное исследование свойств течения в кольцевых камерах сгорания; определение структуры и области существования вращающихся режимов для широкого класса топливно-воздушных смесей, в том числе керосин – воздух, которые могут найти практическое применение в детонационных двигателях различного назначения; построение численных моделей газодинамики течения проектируемых детонационных двигателей.

Целями в области задач взрывобезопасности являются: выявление основных механизмов, ответственных за распространение волн горения и детонации в газовых и гетерогенных средах; анализ и экспериментальная проверка известных и перспективных способов борьбы с аварийным развитием взрывов, моделирующих чрезвычайные ситуации на шахтах, АЭС, газопроводах и хранилищах, в бытовых и промышленных условиях; разработка программы, моделирующие динамику развития аварийных взрывов.

В рамках проекта планируется восполнить дефицит крупномасштабных установок для исследования непрерывной спиновой детонации в кольцевых камерах и аварийных взрывов газа в каналах. Многомерное численное моделирование процесса детонации позволит снизить стоимость дорогостоящих крупномасштабных экспериментов путем оценочного прогноза, и задания оптимальной конфигурации экспериментальных установок и режимов работы, а также снижения общего числа произведенных подрывов/выстрелов. Для достижения заявленной цели необходимо дооборудование и развитие экспериментальных стендов по исследованию непрерывной спиновой детонации и комплекса детонационных труб для исследования масштабных эффектов, моделирующих взрыв в аварийных условиях. Для визуализации изучаемых процессов необходимо приобретение видеокамеры с частотой съемки до 1 млн. кадров в секунду.

БЛОК НИОКР КТФ ИГиЛ СО РАН. КТФ ИГиЛ СО РАН на протяжении многих лет сотрудничает с предприятиями ГК «Росатом». К перспективным направлениям развития относятся работы по модернизации оборудования по переработке ОТВС на площадке производственного объединения «Маяк» г. Озерск и ФГУП «ГХК» г. Железногорск. Существующие технологические процессы переработки на площадке ФГУП «ГХК» в настоящий момент позволяют перерабатывать только бесчехловые сборки. Будет проработан вопрос создания технологии переработки чехловыхборок. Будут выполнены НИОКТР по отработке режимов высокоточной штамповки в целях дальнейшего совершенствования этой технологии. В КТФ ИГиЛ СО РАН получит дальнейшее развитие направление проектирования и изготовления взрывных камер. В частности, прорабатывается проект создания взрывной камеры для станции 1-й очереди «Быстропротекающие процессы» синхротронного комплекса класса «мега-сайнс» СКИФ.

Перечисленные в программе цели и задачи соответствуют:

1) приоритетам научно-технологического развития Российской Федерации, определенным Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 года № 642: переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, новым материалам и способам конструирования; повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья; переход к персонализированной медицине и высокотехнологичному здравоохранению; противодействие техногенным угрозам; занятие и удержание лидерских позиций в создании международных транспортно-логистических систем, освоении и использовании космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики.

2) приоритетным направлениям развития науки, технологии и техники Российской Федерации: безопасность и противодействие терроризму; индустрия наносистем; рациональное природопользование; транспортные и космические системы; энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика.

3) технологическим платформам: новые полимерные композиционные материалы и технологии; твердые полезные ископаемые; добыча и использование углеводородов; освоение океана

4) критическим технологиям Российской Федерации: базовые и критические военные и промышленные технологии для создания перспективных видов вооружения, военной и специальной техники; технологии диагностики наноматериалов и наноустройств; технологии получения и обработки конструкционных наноматериалов; технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом; технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения; технологии поиска, разведки, разработки месторождений полезных ископаемых и их добычи; технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера; технологии создания ракетно-космической и транспортной техники нового поколения

3.4. Уровень научных исследований по теме научно-исследовательской программы в мире и Российской Федерации

БЛОК МЖГ. Исследования в области математического и экспериментального моделирования процессов нефтедобычи ведутся многими коллективами в университетах и научных институтах, а также нефтедобывающих и сервисных компаниях во всем мире. Бурное развитие технологий наклонно-направленного бурения и гидроразрыва пласта в начале 2000х годов в США предопределили «сланцевую революцию» на рынке добычи углеводородов. В настоящее время, эти технологии широко применяются по всему миру и являются основой методов увеличения нефтеотдачи. Тем не менее, научных задел, созданный в основном североамериканскими исследователями в конце 90х и начале 2000х годов, подходит к своему исчерпанию: широкое вовлечение в разработку различных типов нетрадиционных источников углеводородов требует существенного расширения возможностей адаптации применяемых технологий под конкретные пластовые условия. Данный технологический скачок должен быть основан, в том числе на развитии аппарата математического и лабораторного моделирования соответствующих технологических процессов.

Коллектив ИГиЛ СО РАН обладает существенным опытом теоретических и прикладных исследований в области моделирования процессов гидроразрыва пласта, околоскважинной гидродинамики, нелинейных течений в протяженных каналах, механике разрушения. При поддержке индустриального партнера – компании «Газпром нефть» – в Институте созданы две достаточно крупные экспериментальные установки: по моделированию переноса суспензии в щели и бриджинга проппанта, а также по моделированию одиночной плоской трещины гидроразрыва в пороупругом материале. Коллектив Института сотрудничает с ведущими учеными в этих областях из Канады, Швейцарии, Германии, Франции и других стран, сотрудники принимают участие в основных международных конференциях по этой тематике и публикуются в ведущих международных журналах, что дает уверенность в передовом уровне существующих исследований. В России исследования в области математического моделирования задач гидроразрыва пласта сосредоточены в МФТИ, Сколтехе, СПбПУ, научных организациях Уфы, Казани, Новосибирска. Кроме того, моделированием ГРП занимается отраслевой институт РН-УфаНИПИнефть. Со всеми этими коллективами Институт поддерживает тесные связи и координирует работу.

Геофизическая гидродинамика (в том числе гидродинамика взрывных вулканических извержений, вращающихся и стратифицированных жидкостей и конвективных течений) является активно развивающейся областью науки. По большинству тем в этой области количество публикуемых статей за период после 2000 года возросло приблизительно на порядок в сравнении с аналогичным периодом до 2000 года. Этот рост объясняется как развитием вычислительной техники, так и широким распространением цифровых методов полевых измерений в эксперименте, развитием новых методов анализа больших объемов данных. Получение новых данных позволило пересмотреть целый ряд классических моделей, например, модели замыкания меридиональной циркуляции вод в Мировом океане. Исследования в данной области хорошо развиты в США, ЕС, Великобритании, Канаде, Австралии, Китае, Японии, Южной Корее. Данное направление традиционно сильно представлено в ИГиЛ СО РАН. В последние годы резко возросла эффективность внутрироссийской кооперации благодаря сотрудничеству с ИО РАН, ТОИ ДВО РАН, ЛИИ СО РАН, участием сотрудников ИГиЛ СО РАН в экспедиционной деятельности. Усилилось также международное сотрудничество, в особенности с научными организациями Франции, расположенными в городах Гренобль, Лион, Марсель, Шамбери и других. Уровень развития данного направления исследований в ИГиЛ СО РАН соответствует мировому, что подтверждается большим количеством публикаций в ведущих международных и российских журналах.

БЛОК МДТТ и материаловедения. Разработкой технологий создания новых, в том числе композиционных, материалов и функциональных покрытий с заданными свойствами занимаются как ведущие (транснациональные) корпорации, так и фундаментально-научные школы, базирующиеся в индустриально развитых государствах (США, Япония, Германия, Китай). Данное направление является активно развивающейся отраслью как прикладной, так и фундаментальной науки, в связи с запросами промышленности (оборонная, транспортная, добывающая и другие). ИГиЛ СО РАН имеет большой опыт такой работы, реализованный во многих практических технологиях (детонационное напыление порошковых покрытий, искровое плазменное спекание (SPS) порошковых материалов и др.), а также в области моделирования (численного и экспериментального) поведения материалов с

различными уравнениями состояния. Мировой уровень научных исследований подтверждается совместными с иностранными коллегами публикациями сотрудников ИГиЛ СО РАН в журналах первого квартиля, индексируемых в базах Web of Science и Scopus, а также проведением регулярных совместных международных научных семинаров.

БЛОК ФМВП. Мировой опыт использования ВВ в добывающей промышленности свидетельствует о замене ВВ, использующих тротил, на эмульсионные взрывчатые вещества (ЭмВВ) на основе аммиачной селитры. Глубокое понимание химических и физических аспектов взрыва позволяет из безопасных по отдельности компонент создать эффективное взрывчатое вещество непосредственно рядом с потребителем, и в комплексе решить ряд актуальных технологических и экологических проблем, а также проблему несанкционированного использования взрывчатого вещества. Способность ЭмВВ стабильно детонировать в зарядах малого калибра при небольшой начальной плотности позволяет создавать технологии мягкого воздействия и обработки материалов. Научные исследования в мире ведутся в области повышения стабильности детонационных характеристик эмульсионных составов и расширения технологий применения этого взрывчатого материала.

Реализованные впервые в мире в ИГиЛ СО РАН методики дифракции и рентгенографирования синхротронным излучением позволяют восстанавливать пространственное распределение газодинамических параметров детонационных и ударно-волновых течений и получать информацию о поведении вещества на уровне 1—100 нм. Результаты исследований находят применение в российских ядерных центрах (г. Саров, г. Снежинск). Разрабатываемые методики позволяют получать уникальную информацию о поведении вещества в экстремальных условиях. Потенциальные возможности методики очень высоки. В аналогичном направлении активно развиваются исследования в Аргонской национальной лаборатории (США) на современном источнике синхротронного излучения APS.

В настоящее время к проблеме детонационного сжигания топлив проявляется повышенный интерес специалистов в различных организациях США, Китая, Франции, Японии, России и др. стран. Это связано с известными термодинамическими выгодами детонационного процесса (минимум прироста энтропии) и возможностью интенсифицировать и стабилизировать горение, снизить теплонапряженность и уменьшить габариты КС реактивных двигателей. Отметим, что наряду с концепцией пульсирующих детонационных двигателей (PDE) рассматривается и концепция непрерывных детонационных двигателей (RDE). ИГиЛ СО РАН является мировым лидером в создании научных основ непрерывной спиновой детонации. Сотрудниками института опубликованы ключевые монографии и обзоры, выполнены многочисленные работы по договорам с российскими (напр., НПО «Энергомаш») и зарубежными (напр., Европейское космическое агентство) партнерами.

БЛОК НИОКР КТФИГиЛ СО РАН. В настоящее время только отдельные страны с развитой атомной энергетикой обладают промышленными технологиями переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). Например, в США производят захоронение ОЯТ с возможной переработкой в будущем. В Великобритании и Франции существуют мощности по переработке отработавшего ядерного топлива: во Франции 2 завода мощностью по 800 т/год, в Великобритании 1 завод на 1500 т/год. В России на заводе РТ-1 (ФГУП «ПО «Маяк») переработка облученных ОТВС диаметром до 176 мм (от реакторов ВВЭР-440, БН-350, БН-600) проводилась с 1977 г., в 2016

г. была запущена в эксплуатацию технологическая нитка, позволяющая перерабатывать ОТВС реакторов ВВЭР-1000 с поперечным размером до 240мм. Оборудование для измельчения таких изделий спроектировано и изготовлено в КТФ ИГиЛ СО РАН. Фактически, оно позволяет перерабатывать ОТВС любой конструкции, в том числе ОТВС зарубежного дизайна.

Научный задел, создаваемый в КТФ ИГиЛ СО РАН в области механики динамического измельчения ОТВС, позволяет создавать уникальное оборудование, способствующее сохранению мировых лидерских позиций Российского атомного комплекса и обеспечивающее дальнейшее продвижение в направлении создания замкнутого ядерного цикла.

Взрывные камеры (ВК), создаваемые КТФ ИГиЛ СО РАН, имеют ряд особенностей, выгодно отличающих их от оборудования других, в том числе зарубежных, разработчиков. В области проектирования и изготовления ВК, являющихся многократными локализаторами взрыва, КТФ является одним из мировых лидеров. ВК, спроектированные и изготовленные в КТФ, обладают высокими показателями надежности и ресурсом работы, используются для обеспечения лабораторных исследований в области физики взрыва и создания новых материалов, реализации промышленных технологий с использованием ВВ, а также для целей утилизации взрывчатых веществ.

В области технологии высокоточной штамповки с применением бесшаботных молотов собственной разработки КТФ ИГиЛ СО РАН имеет большой задел, позволяющий совершенствовать технологии высокоточной объемной штамповки и расширять номенклатуру продукции для реального сектора экономики.

В области создания новых материалов в КТФ ИГиЛ СО РАН показана перспективность метода циклического ударного прессования в изготовлении объемного материала из порошков СВМПЭ. В области получения слоистых композитов создан задел, позволяющий отыскать способы снижения уровня деформаций в зоне соединения металлов при сварке взрывом и, тем самым, избежать трещинообразования в изделиях. Развиваются подходы к созданию композитов методом сварки взрывом с использованием специально разработанных в ИГиЛ СО РАН для этой цели эмульсионных ВВ.

3.5. Основные ожидаемые результаты по итогам реализации научно-исследовательской программы и возможность их практического использования (публикации, патенты, новые технологии)

БЛОК МЖГ. Предлагаемая программа исследований направлена на получение нового научного знания, востребованного в нефтедобывающей промышленности. Фундаментальная наука обогатится новыми моделями нелинейных процессов в механике гетерогенных сред, описании процессов разрушения, моделями волновых течений неньютоновских жидкостей в каналах сложной формы. Предлагаемые модели будут валидироваться на лабораторных и полевых экспериментах. Прикладной аспект будет обеспечен согласованием планов работ с индустриальными партнерами из нефтегазового сектора. Важным элементом, позволяющим замкнуть круг «научные исследования – приложения в технологических процессах – привлечение внебюджетных средств», является приобретение оборудования для исследования реологических свойств сложных технологических жидкостей и механических свойств пропантов.

В области геофизической гидродинамики основными ожидаемым результатом является разработка новых математических, физических и лабораторных моделей, позволяющих уточнить существующие представления о балансе энергии и импульса в океане и атмосфере, особенностях развития турбулентности и перемешивания, нелинейных волновых и вихревых процессов во вращающейся и стратифицированной жидкости, в том числе при наличии конвективных течений и ледового покрова. Все эти проблемы далеки от окончательного разрешения.

БЛОК МДТТ и материаловедения. В области фундаментальных исследований будут развиты новые теоретические модели, вычислительные алгоритмы и экспериментальные методы анализа поведения конструкций, изготовленных из материалов со сложными уравнениями состояния в близких к предельным режимам. Новое оборудование позволит валидировать построенные модели для более точного описания поведения реальных тел. Развитые методики численного моделирования позволят создавать цифровые модели композиционных материалов и технологических процессов.

В области прикладных исследований будут усовершенствованы следующие технологии: деформирование оребренных и толстых плит из металлов при повышенных температурах; получение методом искрового плазменного спекания новых тугоплавких, композиционных и наноструктурированных материалов и аморфных сплавов, и изделий из них; нанесение защитных и функциональных покрытий с улучшенными характеристиками для применения в аэрокосмической, приборостроительной и других отраслях промышленности, а также создано оборудование для магнитно-импульсной сварки для авиационной промышленности.

Блок ФМФП. При реализации программы научных исследований будут развиты уникальные методики скоростных рентгенографических и дифракционных методов исследования быстропротекающих процессов с использованием синхротронного излучения, позволяющие непосредственно во взрывном эксперименте определять механические параметры газодинамического течения и фазовый состав конденсированной фазы.

В рамках сотрудничества с Российскими ядерными центрами будут получены количественные характеристики уравнений состояния продуктов детонации и поведения инертных материалов в условиях ударно-волнового нагружения инертных материалов, а также экспериментальные данные для построения моделей детонационной чувствительности зарядов взрывчатых веществ, основанных на детальной структуре материала. С использованием разработанных методик будут проведены экспериментальные исследования предоставляемых партнерами взрывчатых и инертных материалов и элементов конструкций, на основании чего будут сформулированы выводы и рекомендации по безопасности, боеспособности и стабильности характеристик исследованных образцов.

Будет продолжено развитие моделей, определяющих детонационные характеристики эмульсионных взрывчатых веществ на основе аммиачной селитры с целью разработки рекомендаций по повышению стабильности детонационных характеристик эмульсионных ВВ, применяемых в промышленности.

Институт примет активное участие в создании Центра ударных испытаний, предусмотренного в рамках проекта Академгородок 2.0. Будут развиты методы рентгеновской импульсной регистрации крэш-тестов, жесткой посадки, катапультирования и т.д. Получат

дальнейшее развитие работы в области рельсовых ускорителей и высокоскоростного удара, магнитной кумуляции, управления кумулятивными течениями.

С целью развития инновационной технологии эффективного детонационного сжигания смесей в камерах сгорания ВРД и ГТУ будут определены области реализации непрерывной спиновой детонации (по диаметрам и длине КС, расходам смесей, коэффициенту избытка горючего) и тяговые характеристики процесса для ряда топливовоздушных смесей, в том числе керосин-воздух.

Создание и приобретение оборудования в рамках Целевой субсидии позволит коллективу ИГиЛ СО РАН перейти на качественно новый уровень исследований и возможностей по всем научным блокам Программы развития, что обеспечит устойчивое финансирование, даст конкурентное преимущество по сравнению с аналогичными коллективами в других организациях, а также откроет широкие новые перспективы для фундаментальных исследований и прикладных проектов. Результатом реализации научно-исследовательской программы станет публикация статей высокого научного уровня в высокорейтинговых журналах в рамках широкой внутрисерийской и международной кооперации.

БЛОК НИОКР КТФ ИГиЛ СО РАН.

Выполняемая в КТФ ИГиЛ СО РАН программа непосредственно связана с созданием новых технологий и оборудования для промышленности, в первую очередь Российской, привлечения внебюджетного финансирования. Результаты исследований публикуются в ведущих Российских и зарубежных журналах, новые технические решения защищаются патентами. Итоги реализации программы будут заключаться как в новых научных данных и теоретических моделях поведения материалов при импульсном высокоэнергетическом воздействии, так и в практических приложениях, таких как совершенствование оборудования для измельчения ОТВС получение слоистых композитов сваркой взрывом и создание новых металлополимерных и других композитов на основе СВМПЭ. КТФ планирует проведение шеф-монтажных работ по установке и наладке произведенного агрегата резки ОТВС в опытно-демонстрационном центре ФГУП «ГХК» (г Железногорск). Планируется также работа по модернизации оборудования по переработке ОТВС на площадке производственного объединения «Маяк» г. Озерск. Будет спроектирована и изготовлена исследовательская взрывная камера для лаборатории «Быстропротекающие процессы» комплекса «СКИФ», а также планируются работы по проектировке и изготовлению взрывной камеры, рассчитанной на локализацию взрыва 7 кг ВВ, в которых будут применены последние результаты исследований, направленные на увеличение ресурса работы взрывных камер.

3.6. Потребители (заказчики) результатов исследований научно-исследовательской программы (обязательно при наличии проектов, включающих проведение поисковых и прикладных научных исследований)

БЛОК МЖГ. Предлагаемая программа исследований направлена на решение актуальных задач развития технологий нефтедобычи. Предполагается, что одним из результатов работы будет разработка программных модулей для коммерческого симулятора гидроразрыва пласта, развиваемого в настоящее время консорциумом «Кибер ГРП» (участники: МФТИ, ИГиЛ СО РАН, Сколтех и

СПбПУ). Результаты экспериментальных исследований послужат для валидации численных моделей, что также даст вклад в совершенствование соответствующих технологических программных продуктов, применяемых в ПАО «Газпромнефть» и других нефтедобывающих компаниях. Разработка методик определения реологических параметров сложных жидкостей необходима как для производителей этих жидкостей, так и для их правильного практического применения. Таким образом, результаты работы, помимо своего значения для фундаментальных исследований, будут существенно востребованы в приложениях и позволят закрыть ряд актуальных задач методов увеличения нефтеотдачи.

В области геофизической гидродинамики результаты теоретических и экспериментальных исследований в первую очередь используются для интерпретации данных натурных наблюдений. Потребителями результатов исследований являются Институты, специализирующиеся в области океанологии и лимнологии: ИО РАН, ТОИ ДВО РАН, ЛИН СО РАН, ФГБУН МГИ и т.д. В перспективе возможно привлечение специалистов ИГиЛ СО РАН к задачам интерпретации данных экологического мониторинга, сотрудничеству с МЧС в области исследования катастрофических природных явлений гидродинамической природы, а также к сотрудничеству с МО РФ в области исследования гидрофизических полей и гидродинамических следов различных объектов.

БЛОК МДТТ и материаловедения: Результаты исследований и разработанные пакеты программ могут быть использованы при моделировании технологических процессов формообразования изделий из металлических сплавов и полимеров, включая композитные материалы, имеющие широкое распространение в индустрии. Результаты исследований могут использоваться для анализа практических приложений в таких организациях, как АО «ИСС» им. М.Ф. Решетнёва, СибНИА им. С.А. Чаплыгина, ЦАГИ, ВИАМ, ОАК, АО «Авиадвигатель» и на других предприятиях, результаты теоретических исследований - в институтах механического профиля Российской академии наук (ИПМех им. Ишлинского, Институт механики сплошных сред УрО РАН, ИТПМ СО РАН и др).

Основными, как потенциальными, так и уже имеющимися, потребителями результатов исследований и образцов новых материалов, покрытий и изделий являются: аэрокосмическая отрасль (детонационные покрытия на деталях газотурбинных двигателей), нефтегазовая индустрия (детонационные покрытия на деталях телеметрической аппаратуры для инновационных методов бурения), госкорпорация «Росатом» (твердосплавные покрытия на некоторых деталях агрегатов для измельчения тепловыделяющих сборок при утилизации ядерного топлива), а также многие другие организации, связанные с созданием новой техники.

БЛОК ФМВП. Работы в области механики детонации взрывчатых веществ и ее воздействие взрыва на материалы ведутся в интересах следующих организаций-партнеров: РФЯЦ-ВНИИТФ (г. Снежинск), РФЯЦ-ВНИИЭФ (г. Саров); Государственный научно-исследовательский институт машиностроения" им. В.В. Бахирева (АО "ГосНИИмаш", КОРПОРАЦИЯ "ТАКТИЧЕСКОЕ РАКЕТНОЕ ВООРУЖЕНИЕ"), Федеральный научно-производственный центр "Алтай" (г. Бийск); Уральский завод химического машиностроения (г. Екатеринбург).

Результаты исследований в области изучения детонационных режимов сжигания горючих газов для задач энергетики и взрывобезопасности представляют интерес в целом ряде отраслей и ведомств, среди которых: 1) **авиация, ракетостроение,**

энергетика - АО «НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко» (г. Химки), **аэрокосмическая отрасль** (Роскосмос, АО «НПО Энергомаш им. В.П. Глушко», АО НИИМаш (г. Нижняя Салда), ОДК, ЦИАМ им. П.И.Баранова, ПАО «ОДК-Сатурн», г. Рыбинск, энергетика (РАО "ЕЭС России"), 2) **горнодобывающая промышленность** - Сибирская угольно-энергетическая компания (АО СУЭК), «Горно-металлургическая компания «Норильский никель», 3) **научно-исследовательские институты** - Институт теоретической и прикладной механики (г. Новосибирск); Институт проблем химико-энергетических технологий (г. Бийск); Институт проблем химической физики, Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения (г. Черноголовка); Объединенный институт высоких температур (г. Москва); 4) **ВУЗы** - Новосибирский государственный университет, Новосибирский государственный технический университет; 5) **Российские ядерные центры** - РФЯЦ-ВНИИТФ (г. Снежинск), РФЯЦ-ВНИИЭФ (г. Саров); 6) **организации специального назначения:** АО «НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко» (г. Химки), Государственный научно-исследовательский институт машиностроения" им. В.В. Бахирева (АО "ГосНИИмаш", КОРПОРАЦИЯ "ТАКТИЧЕСКОЕ РАКЕТНОЕ ВООРУЖЕНИЕ"), Федеральный научно-производственный центр "Алтай" (г. Бийск); 7) **добывающая промышленность** - Сибирская угольно-энергетическая компания (АО СУЭК), «Горно-металлургическая компания «Норильский никель»; 8) **прочие предприятия** - Уральский завод химического машиностроения (г. Екатеринбург).

БЛОК НИОКР КТФ ИГиЛ СО РАН. Потребителями результатов исследований, как потенциальными, так и уже существующими, являются предприятия Госкорпорации «Росатом» (ФГУП «ПО «Маяк», ФГУП «ГХК», ПАО «НЗХК»), компании, занимающиеся сваркой взрывом (АО «Энергометалл», ООО «Битруб Интернешнл» и другие), а также организации оборонного комплекса, например, НИИ Стали. Разработка и производство взрывных камер осуществляется по заказам отечественных и зарубежных заказчиков, в частности в рамках проекта «СКИФ», по заказам российских научно-исследовательских институтов (ИЯФ СО РАН, ОАО «ФНПЦ «НИИ прикладной химии»), по заказу южнокорейской компании ENSOL Ltd и т.д.

РАЗДЕЛ 4. РАЗВИТИЕ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА ОРГАНИЗАЦИИ

Для подготовки квалифицированных кадров Лаборатории цифровых и интеллектуальных систем добычи углеводородов, в НГУ создан Научно-образовательный центр «Газпромнефть-НГУ». В рамках НОЦ с 2018 г сотрудниками ИГиЛ СО РАН открыта магистерская программа «Нефтяной инжиниринг и математическое моделирование». Подготовка по данной программе включает ядро курсов по математическому моделированию в механике сплошных сред, ориентированных на применение в нефтегазовых задачах, курсы по геофизике, высокоуровневому программированию, основам технологии нефтедобычи (читаются специалистами Газпромнефть НТЦ), экономике нефтегазовой отрасли. В рамках НОЦ на базе лаборатории студенты участвуют в выполнении договоров по НИОКР, проходят стажировки в научно-техническом центре Газпромнефть, слушают курсы по soft-skills, участвуют в других активностях. Данный формат сотрудничества предполагается расширить на другие крупные российские корпорации (в частности, ОДК, Росатом).

В ИГиЛ СО РАН были опробованы новые форматы взаимодействия с зарубежными партнерами в области подготовки кадров, такие как прохождение магистратуры в зарубежной организации-партнере, руководство диссертационной работой аспирантов совместно с

зарубежными учеными. Был получен положительный опыт в виде подготовки сотрудников, вернувшихся на работу в ИГиЛ СО РАН после прохождения зарубежных аспирантур и стажировок. Этот опыт предполагается тиражировать. Предполагается также создание условия для привлечения студентов, аспирантов и исследователей из зарубежных организаций-партнеров для проведения исследований в ИГиЛ СО РАН в рамках среднесрочных (несколько месяцев) визитов. Механизмы организации такой деятельности отрабатываются в настоящее время в рамках мега-гранта Стефана Сантуччи (Лаборатория механики неупорядоченных сред) и в рамках сотрудничества с НГУ по программе привлечения ведущих зарубежных ученых.

Оборудование, приобретенное в рамках программы развития Института, предполагается использовать для обучения студентов на основе проектного подхода. Это позволит улучшить качество подготовки студентов, а также даст дополнительные конкурентные преимущества по привлечению лучших студентов для дальнейшей работы.

ИГиЛ СО РАН имеет лицензию на образовательную деятельность и аккредитацию по обучению в аспирантуре по трем направлениям и семи научным специальностям. На базе ИГиЛ СО РАН действуют два диссертационных совета по следующим специальностям: 01.01.02 – Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление, 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы, 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела, 01.02.06 - Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры. Кроме того, сотрудники Института являются членами Объединенного совета по специальностям 05.23.16 – гидравлика и инженерная гидрогеология и 05.23.07 – гидротехническое строительство (технические науки).

Институт имеет 8 базовых кафедр ведущих вузов города и 4 совместных научно-исследовательских центра, где проходят практику и подготовку квалификационных работ студенты НГУ, НГТУ и других вузов. ИГиЛ СО РАН проводит ежегодные конкурсы научных проектов молодых ученых. Также регулярно проводятся молодежные научные конференции и школы.

РАЗДЕЛ 5. РАЗВИТИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОРГАНИЗАЦИИ

5.1. Краткий анализ соответствия имеющейся научно-исследовательской инфраструктуры организации научно-исследовательской программе

БЛОК МЖГ. В настоящее время в Институте гидродинамики при поддержке Мегагранта (рук. С. Сантуччи) и индустриального партнера «Газпромнефть НТЦ» близки к завершению два экспериментальных стенда: для моделирования течения геля с проппантом в трещине гидроразрыва пласта и для создания плоской трещины гидроразрыва в упругом образце с проницаемыми стенками. Данные установки позволят существенно продвинуть понимание процессов переноса плотных суспензий течениями неньютоновской жидкости, а также закономерностей развития трещин ГРП в пороупругой среде. Помимо фундаментальных исследований, эти установки будут использоваться для валидации и уточнения численных моделей трещины ГРП, создаваемых в Институте гидродинамики и организаций консорциума «Кибер ГРП». Из тех же источников в 2017 г. Институт приобрел вычислительный кластер (7 модулей по 32 ядра), позволяющий решать вычислительные задачи небольшого масштаба и отрабатывать компьютерные коды.

По тематике геофизической гидродинамики в ИГиЛ СО РАН имеется развитая научно-исследовательская инфраструктура в части программно-аппаратных комплексов для измерения полей скоростей (метод PIV), плотности (LIF), возмущения градиента плотности (синтетический шлирен-метод), гидродинамических нагрузок и т.д. Измерительные комплексы оснащены современным оборудованием для визуализации течений: видеокамерами высокого разрешения и разрядности, скоростными видеокамерами, лазерами и т.д. Дополнительные вложения в развитие инфраструктуры нужны преимущественно для сооружения новых лотков и других компонент экспериментальных установок (несущих конструкций для размещения оборудования, исполнительных механизмов), приобретения датчиков и т.п. Приоритетной является проблема сооружения современной, программно-управляемой вращающейся платформы, без которой невозможно проведение исследований динамики вращающейся и стратифицированной жидкости на мировом уровне.

БЛОК МДТТ и материаловедения. Институт имеет в распоряжении парк из 13 установок для испытаний материалов на ползучесть, часть из которых автоматизирована; имеет в распоряжении микроскопы для точного измерения размеров образцов; имеет установку ZWICK Z100 для одноосного (сжатие, растяжение, трехточечный изгиб) и сложного нагружения (сжатие и растяжение с кручением), оснащенную температурными камерами для проведения экспериментов при температурах от -80 до +1200 С и системой измерения полей деформаций. Парк установок позволяет получать экспериментальные данные для различных уравнений состояния материалов в широком диапазоне температур.

Институт разработал и создал два стенда с установками для исследования процессов детонации и выполнения детонационного напыления покрытий. Для исследования процессов детонации имеется 2-х канальный осциллограф Tektronix TDS 10028 и 4-х канальный осциллограф Tektronix TDS 2004B. Для исследования свойств получаемых покрытий имеется: микроскоп MOTIC DMV 143, инвертированный металлографический микроскоп OLYMPUS GX-51, универсальный прецизионный абразивный отрезной станок ATM Brilliant 221, гидравлический пресс для горячей запрессовки образцов ATM Opal 450, станция подготовки образцов STRUERS Tegramin-20 (предназначена для шлифовки, притирки и полировки любых материалов), твердомер Виккерса DuraScan 50, камера солевого тумана Ascott 120 is, низкотемпературная лабораторная печь SNOL 58/350, прибор АКТАКОМ АММ-2093 Hipot Tester AC/DC/IR для измерения электроизоляционных свойств и стенд собственного изготовления для сравнительных испытаний покрытий на абразивный и эрозионный износ. В целом, имеющаяся инфраструктура, соответствует современному уровню и логике развития экспериментальных методов в мире.

БЛОК ФМВП. В ИГиЛ СО РАН имеется экспериментальный стенд с набором камер сгорания (КС) различного масштаба для исследования режимов непрерывного детонационного сжигания топлив и разработки новой технологии сжигания горючих в режиме непрерывной детонации. Диаметр кольцевых детонационных КС может достигать 0.5 м, максимальный расход воздуха до 50 кг/с, объем ёмкости для сброса продуктов детонации 70 м³. Время работы экспериментальных неохлаждаемых КС до 1 с, что достаточно для обнаружения режима НСД, оценки скорости детонации, числа детонационных волн и частоты их вращения. Научное оборудование стенда: а) Высокоскоростная видеокамера Photron Fastcam SA5, работающая со скоростью до 750 тыс. кадров/с. – для оптической

регистрации детонационных процессов; б) Датчики давления типа Grafag (Швейцария); в) Низкочастотные АЦП типа E14-140; г) Компьютерная система для записи и обработки сигналов с датчиков давления. Для экспериментальных исследований НСД в ТВС пропан/водород - воздух, проводившихся в рамках гранта Сколково (2012 - 2013 г.г), была спроектирована, изготовлена и оснащена новая кольцевая детонационная КС диаметром 500 мм (ДК-500) (стоимость работ около 5 млн. руб).

В рамках проекта планируется восполнить дефицит крупномасштабных установок для исследования аварийных взрывов. Необходимо дооборудование и развитие экспериментальных стендов по исследованию непрерывной спиновой детонации и комплекса детонационных труб для исследования масштабных эффектов моделирующих взрыв в аварийных условиях.

БЛОК НИОКР КТФ ИГиЛ СО РАН. Для улучшения структуры и повышения механических свойств инструментальных сталей для изготовления ножевых вставок агрегатов резки ОТВС используется т.н. термоциклическая обработка (ТЦО), что коренным образом улучшает качество изделий и придают им требуемые свойства. Использование существующего оборудования в настоящий момент не обеспечивает в полной мере цели существенного повышения ресурса рабочих органов оборудования для механического измельчения ОТВС. Необходимым современным научным оборудованием является современный спектрометр с цифровой обработкой спектра, позволяющий быстро и точно проводить анализ химического состава сталей и сплавов.

Экспериментальные исследования износа ножевых вставок проводятся на установке трения, спроектированной в начале 2000-х годов в КТФ ИГиЛ СО РАН. Требуется обновление аппаратного управления режимом работы установки и комплекса сбора данных.

В области точной объемной штамповки для обеспечения высоких служебных характеристик ответственных изделий необходимо выполнять деформирование в узком интервале температур в строго определенном диапазоне. Требуется контрольное оборудование, позволяющее определять неоднородное температурное поле заготовки непосредственно перед процессом штамповки. Для измерения геометрии полученных методом высокоточной штамповки изделий, необходимо приобретение 3D сканеров. Проводимые КТФ ИГиЛ исследования по циклическому ударному прессованию объемных металлополимерных материалов на основе порошка СВМПЭ и СВМПЭ с нанодобавками в настоящий момент в основном осуществляются на опытной гидропневматической установке, спроектированной и изготовленной в КТФ ИГиЛ более 20-ти лет назад. Необходимо провести модернизацию установки, оснастив ее современным гидравлическим оборудованием с переменным расходом жидкости и тензометрической станцией, позволяющей регистрировать в процессе формирования композита величину нагрузок.

5.2. Основные направления и механизмы развития научно-исследовательской инфраструктуры организации (включая центры коллективного пользования и уникальные научные установки)

БЛОК МЖГ. В современных технологиях нефтедобычи, таких как бурение, внутрискважинное заводнение, гидроразрыв пласта, используются жидкости со сложной неньютоновской реологией. Свойства этих жидкостей существенно зависят от времени, температуры, режимов течения. Возможности современной химической индустрии позволяют создавать такие технологические жидкости с требуемыми свойствами. Применение таких жидкостей и формирование запроса на их свойства определяется помимо прочего и уровнем математического и экспериментального моделирования, позволяющего создать «умные» технологи их

использования. Таким образом, изучение реологии сложных жидкостей представляет актуальную фундаментальную и технологическую задачу. В рамках программы развития инфраструктуры лаборатории предполагается приобретение современного реологического оборудования, а также установок для исследования механических свойств пропантов. Оценочные общие затраты на такой комплекс оборудования составляют 50 млн. руб. Часть этой суммы (около 15 млн. руб.) будет вложено Институтом из внутренних средств. Помимо описанной выше фундаментальной и прикладной важности, предполагается в ближайшие 2 года получить государственную аккредитацию методик этой лаборатории и задействовать оборудование для выполнения заказов от производителей и потребителей этих компонент. Кроме того, предполагается дальнейшее развитие экспериментального оборудования по моделированию течений неньютоновских жидкостей, пен, гелей с целью создания и уточнения математических моделей и развития технологий.

В области геофизической гидродинамики в силу традиционности данной тематики для Института и высокого стартового уровня в области экспериментальных исследований имеющиеся программно-аппаратные измерительные комплексы соответствуют мировому уровню. Для полноценного исследования задач динамики вращающейся жидкости необходимо сооружение вращающейся платформы средней несущей способности (порядка 1 тонны) при частоте вращения до 20-30 оборотов в минуту. Средства на осуществление закупки платформы предполагается выделить из федеральной субсидии на обновление научного оборудования Института. Существующие зарубежные аналоги имеют стоимость порядка 10 миллионов рублей. В силу специфики задачи ключевыми требованиями являются: высокая стабильность вращения, отсутствие вибраций, возможность автоматического выхода на режим по программно-заданному сценарию. Будет проработан вопрос о возможном привлечении отечественного производителя.

БЛОК МДТТ и материаловедения. В данной области исследований развитие инфраструктуры будет проходить по нескольким направлениям. Запланировано приобретение тепловизионной камеры для проведения научных исследований по экспериментальному определению закономерностей неупругого деформирования монолитных и композитных материалов. Так, подробное знание поля температуры с высоким пространственным и временным разрешением позволит более точно установить размер и форму зоны активных пластических деформаций в окрестности вершины трещины, размер зоны предразрушения, скорость роста трещины, наличие локальных диссипативных процессов в окрестности концентраторов напряжений, уровень критических нагрузок, приводящих к появлению необратимых деформаций. Полученные данные позволят на современном уровне строить новые модели механических процессов, а также получать экспериментальные данные в объеме, необходимом для идентификации и валидации новых и перспективных математических моделей. Требуемым для проведения исследований характеристикам соответствует камера Infratec ImageIR 8320 (с InSb детектором на 2-5,7 мкм 640x512 пикселей, скорость съемки 125 Гц в режиме «полный кадр»).

Для более глубокого изучения процессов разгона и нагрева частиц при детонационном напылении необходимо дополнительное оборудование - высокоскоростная камера для видеосъемки быстротекающих процессов типа MotionXtra HG-100K или аналог. Для проведения трибологических испытаний материалов и покрытий в соответствии с существующими стандартами необходимо заменить стенд собственного изготовления на сертифицированное оборудование: трибометр типа TR-20LE или аналог, стенд для абразивных испытаний типа Falex dry sand/rubber wheel apparatus 010-501-001 или аналог и стенд для эрозионных испытаний типа TR-471 или

аналог. Для проведения высокотемпературной термообработки получаемых образцов необходимо приобрести печь муфельную типа SNOL 7,2/1300 или аналог. Кроме того, получаемый от компрессорной станции сжатый воздух имеет высокую влажность, что уже не удовлетворяет условиям работы имеющегося оборудования для напыления, подготовки и исследования образцов. Поэтому необходимо приобрести компрессор, оснащенный осушителем сжатого воздуха и ресивером типа INVERSYS 18 Plus или аналог.

Для исследования влияния температурно-скоростных режимов деформирования, а также альфированного и окисленного слоев на прочностные свойства материалов при циклическом нагружении нужна специальная испытательная машина. Например, универсальная испытательная система Instron 8801 для усталостных испытаний и определения трещиностойкости материалов.

Гидравлическая система нагружения системы Instron 8801 позволит проводить исследования при статических и циклических режимах нагружения в области многоциклового усталости. Специальные захваты, датчик раскрытия трещины и программное обеспечение позволяют проводить испытание на трещиностойкость с выращиванием трещины при циклическом нагружении до определенной длины, автоматически определяемой по величине податливости образца.

БЛОК МФВП. Для дальнейшего развития исследований и разработки новой технологии сжигания горючего в режиме непрерывной детонации необходим новый универсальный испытательный стенд для длительных (десятки секунд) испытаний детонационных КС различного назначения, оборудованный магистралью сжатого воздуха, компрессором на 150 атм, трубопроводами, высокорасходными и низкорасходными быстродействующими пилотными клапанами, пультом управления. Для оснащения стенда требуется следующее оборудование: высокочастотные датчики давления типа ХТЕН -10L – 190 (M) series; высокочастотные АЦП типа Е 20-10, USB-1402; цифровой осциллограф Rigol DS2302A; компьютер ТехноСити Плюс (45004) AMD A10 7700K/ 8Gb 1866/ 1000/ AMD R7/ Multi – для обработки больших массивов данных; в/ч кабели для передачи сигналов; образцовые манометры -1.0 ÷ 250 атм.

В рамках проекта развития инфраструктуры планируется восполнить дефицит крупномасштабных установок для исследования аварийных взрывов. Необходимо создание и оборудование экспериментальных стендов в виде комплекса детонационных труб для исследования масштабных эффектов моделирующих взрыв в аварийных условиях. Для визуализации изучаемых процессов необходимо приобретение видеокамеры с частотой съемки 1 млн. кадров в секунду при высоком пространственном разрешении.

БЛОК НИОКР КТФ ИГиЛ СО РАН. Учитывая текущее состояние приборной базы КТФ ИГиЛ СО РАН, необходимо обновление имеющегося парка научно-исследовательского оборудования и модернизация установок собственной конструкции. Для работ в области динамического измельчения ОТВС необходимо приобретение компьютера, оснащенного программным обеспечением для моделирования процессов резки ANSYS Mechanical Pro; оборудования, позволяющего проводить вакуумную циклическую термообработку перспективных сталей (печь Титан Н4); оборудования для контроля химического состава металла (спектрографа).

Для дальнейшего исследования перспективных образцов необходимо приобрести машину для испытания материалов на трение и износ (ИИ5818), функционал которой позволяет задавать программным путем режимы испытания исследуемых образцов, а также измерять критические для процесса параметры, такие как температура области контакта и коэффициент трение в паре.

Для целей более полной отработки технологии и режимов объемной высокоточной штапковки необходимо дооснастить имеющиеся стенды 1) высокоскоростной камерой, позволяющей контролировать ключевые параметры процесса (EVERCAM F 2800-64-C), 2) коротковолновой ИК-камерой для неконтактного измерения температуры заготовок (Optris PI 1M с кожухом охлаждения и дополнительными блоками Optris® Industrial Prozess Interface и Optris® PI NetBox), 3) высокоточным 3D сканером Range Vizion PRO 5M, позволяющим строить цифровую трехмерную модель заготовок и отштампованных изделий.

В области получения новых материалов необходима модернизация имеющегося стенда, в результате которой станет возможным варьировать режимы циклических ударных нагрузок и проводить комплекс измерений параметров процесса. С этой целью необходимо приобрести насос с переменной подачей рабочей жидкости HAP74M-90/32. Для работ по циклическому ударному прессованию объемных металлополимерных изделий на основе порошков СВМПЭ, необходимо оснастить гидропневматическую установку тензометрической станцией ZET 017-T8.

Развитие технологической инфраструктуры КТФ ИГиЛ СО РАН требует серьезного обновления парка крупногабаритных станков, для чего требуется привлечение денежных средств, выходящих как за рамки программы по обновлению научного оборудования, так и за рамки приемлемого для заказчиков уровня амортизационных отчислений, который может быть заложен в стоимость продукции. Необходима специальная программа по обновлению оборудования конструкторско-технологических филиалов и опытных заводов научно-исследовательских институтов, подведомственных МОН РФ.

РАЗДЕЛ 6. РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ НАУЧНОЙ КОММУНИКАЦИИ И ПОПУЛЯРИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Приоритетным направлением в данной области станет модернизация деятельности редколлегии издаваемых институтом журналов ФГВ и ПМТФ. Планируется введение и систематическое развитие новых форматов публикаций, таких как короткие сообщения, приглашенные обзоры, введение тематических рубрик (последняя проблема особенно актуальна для ПМТФ), систематическая работа по снижению среднего срока прохождения статьи от момента подачи в журнал до публикации.

Следующим приоритетным направлением является увеличение количества публикаций сотрудников института в наиболее рейтинговых журналах, входящих в первый-второй квартиль. В этой области ключевыми моментами являются: 1) наставничество, т.е. привлечение наиболее перспективных аспирантов к сотрудничеству с научными руководителями, имеющими большой опыт публикации в ведущих журналах, и 2) развитие международной кооперации.

При проведении Институтом конференций, симпозиумов и семинаров планируется расширение географии этих мероприятий, рост числа иностранных участников, а также сочетание чисто научных мероприятий с дополнительными лекциями, проводимыми в формате школ для молодых ученых.

Институт планирует активно участвовать в работе НОЦ. Это направление станет одним из основных каналов связи с наукоемким бизнесом и исследовательскими отделами крупных государственных корпораций.

РАЗДЕЛ 7. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ

Совершенствование системы управления Институтом будет осуществляться по двум ключевым направлениям: 1) улучшение стратегического планирования с целью повышение востребованности исследований и разработок, 2) улучшение внутренней системы управления с целью улучшения взаимодействия административно-хозяйственных служб.

По первому направлению ключевое значение имеет развитие стратегического партнерства с государственными корпорациями и участие Института в проектах класса «мега-сайенс». В настоящее время с точки зрения объема привлеченных средств основными партнерами Института являются такие организации как Росатом и Газпромнефть. Партнерство с этими организациями будет развиваться и далее на основе уже созданной истории успеха. В перспективе необходимо расширение партнерства с государственными корпорациями, работающими в области авиа-, судо- и двигателестроения. Перечень этих организация имеется в п. 3.6. настоящей программы.

По направлению совершенствования внутренней системы управления ИГиЛ СО РАН планируется осуществить внедрение электронных систем планирования финансовой и закупочной деятельности, и электронного документооборота. Внедрение электронной системы планирования позволит осуществить глубокую интеграцию информационных потоков, используемых различными административно-хозяйственными подразделениями, с целью исключения ошибок и авральных ситуаций. Интеграция информационных потоков позволит также внедрить прозрачную систему мотивации для сотрудников административно-хозяйственных подразделений и вспомогательных служб института. Конечной целью является минимизация загрузки научных сотрудников несвойственными им задачами финансового планирования и учета, осуществления закупок и т.п.

РАЗДЕЛ 8. СВЕДЕНИЯ О РОЛИ НАУЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ В ВЫПОЛНЕНИИ МЕРОПРИЯТИЙ И ДОСТИЖЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ И ЗНАЧЕНИЙ ЦЕЛЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТА «НАУКА» И ВХОДЯЩИХ В ЕГО СОСТАВ ФЕДЕРАЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ

Основные и дополнительные показатели, к достижению которых будет стремиться организации при выполнении Программы развития

Количество публикаций в Web of Science Core Collection, ед.			Количество публикаций в Scopus, ед.			Объем внебюджета, тыс. руб.			Количество результатов интеллектуальной деятельности, имеющих государственную регистрацию и (или) правовую охрану или находящихся в стадии оформления (в том числе заявок на патенты на изобретения), ед.[5.а]		
2017 база	2020	2021	2017 база	2020	2021	2017 база	2020	2021	2017 база	2020	2021
173	185	198	234	250	268	189 395,00	202 652,65	216 838,34	0	0	0
Дополнительные целевые показатели											
	ед	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023		
Уровень загрузки научного оборудования	%	70	70	70	70	70	70	70	70		
Доля внешних пользователей научного оборудования	%	10	10	10	15	20	30	35	40		
Процент обновления приборной базы организации за счет средств гранта в форме субсидии	%	0	0	0	10	20	30	40	50		

РАЗДЕЛ 9. ФИНАНСОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОГРАММЫ РАЗВИТИЯ

№	Показатель	Единица измерения	Отчетный период	Значение				
				2019 год	2020 год	2021 год	2022 год	2023 год
1.	Общий объем финансового обеспечения Программы развития	тыс. руб.	456900	456542	458336	476884	477546	478546
	Из них:							
1.1.	субсидии на финансовое обеспечение выполнения государственного задания из федерального бюджета	тыс. руб.	227787	226347	232248	236611	236611	236611
1.2.	субсидии на финансовое обеспечение выполнения государственного задания из бюджета Федерального фонда обязательного медицинского страхования	тыс. руб.						
1.3.	субсидии, предоставляемые в соответствии с абзацем вторым пункта 1 статьи 78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации	тыс. руб.	6338	31183	24423	24423	24423	24423
1.4.	субсидии на осуществление капитальных вложений	тыс. руб.						
1.5.	средства обязательного медицинского страхования	тыс. руб.						
1.6.	поступления от оказания услуг (выполнения работ) на платной основе и от иной приносящей доход деятельности	тыс. руб.	222775	200000	202653	216838	217500	218500
1.6.1.	В том числе, гранты	тыс.руб.	59910	68100	29400	29400	29400	29400
2	Общая балансовая стоимость приборной базы	тыс. руб.	360305,7	380805,7	401305,7	416805,7	432305,7	447805,7

3.	Полная учетная стоимость подлежащей списанию приборной базы	тыс. руб.	8687,9	5000	5000	10000	10000	10000
4.	Объем расходов на эксплуатацию обновляемого научного оборудования за счет субсидии на выполнение госзадания и частично из внебюджетных источников	тыс. руб.	450	450	880	940	980	1000

Врио директора
д.ф.-м.н.



Е.В. Ерманюк