



**ВАЖНЕЙШИЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
ОТДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИКИ, МАШИНОСТРОЕНИЯ,
МЕХАНИКИ И ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
за 2020 – 2021 гг.**

**И.о. академика-секретаря
академик И.А. Каляев**



КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПРИРОДНОГО И ПОПУТНЫХ НЕФТЯНЫХ ГАЗОВ В СИНТЕТИЧЕСКУЮ НЕФТЬ

Разработаны основы комплексной технологии переработки природного и попутных нефтяных газов (ПНГ) в синтетическую нефть (т.н. БТК – смесь бензола, толуола, ксилола).

Технология предназначена для рентабельной утилизации ПНГ при минимальных выбросах диоксида углерода и позволяет получать жидкие продукты, способные образовывать с сырой нефтью устойчивые смеси. Конечным продуктом технологии является экологически чистый энергоноситель водород. Технология может быть использована для утилизации ПНГ непосредственно на скважинах, на газодобывающих морских платформах, для монетизации малых и низконапорных газовых месторождений, Возможно доставлять производимый продукт как трубопроводным, так и наливным транспортом. Технология отработана на укрупненных лабораторных установках и готова к этапу опытно-промышленных испытаний.



Лабораторная установка

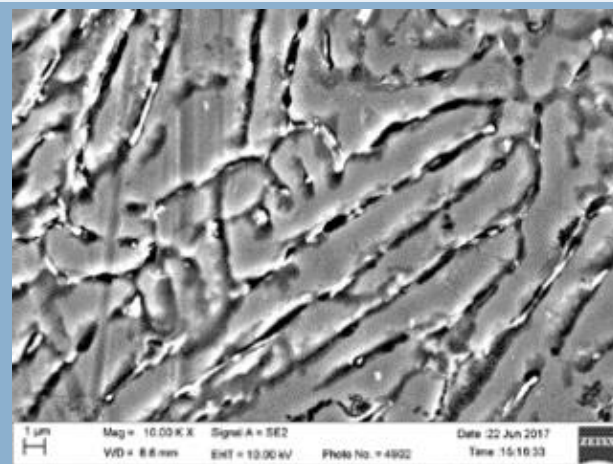
Объединённый институт высоких температур РАН

Лищинер И.И., Малова О.В. Тарасов А.Л. Катализ в химической и нефтехимической промышленности. 2018, т.18, №5, с.45-52.

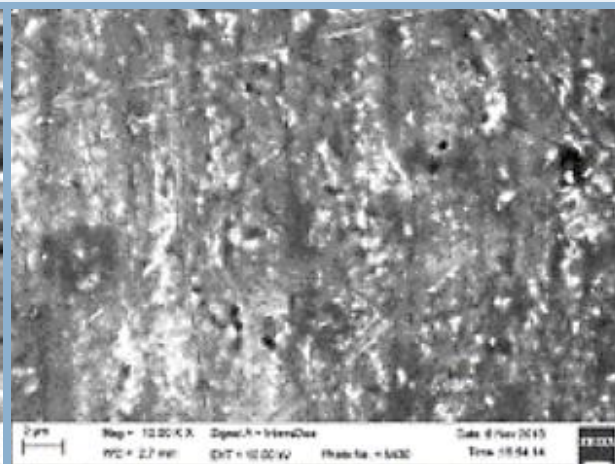
Малова О.В., Лищинер И.И. Тарасов А.Л. Патент № 2544017 РФ, Приоритет от 28.01.2014, выдан 10.03.2015.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАЗЕРНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПЕРСПЕКТИВНОГО ВЫСОКОПРОЧНОГО СПЛАВА В-1461

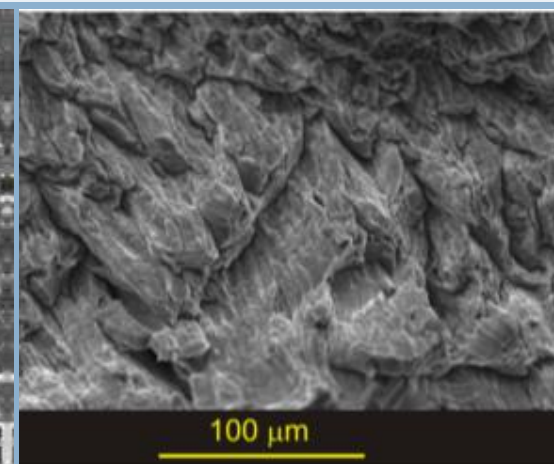
Исследованы лазерные сварные соединения перспективного высокопрочного сплава В-1461 системы Al-Cu-Li (Cu-3%, Li-2%), которые в исходном виде имеют максимальную прочность около 0,6 от исходного сплава. Низкая прочность соединения вызвана тем, что при кристаллизации шва образуется большое количество выделений, формирующих сильно анизотропную ячеистую структуру, где легирующие элементы сосредоточены в границах ячеек, а твердый раствор в ячейках обеднен (рис. 1, а).



а) структура шва без термообработки



б) структура шва после закалки и искусственного старения



в) область расслоения после малоциклового нагружения

Установлен оптимальный режим искусственного старения, при котором происходит выделение из пересыщенного твердого раствора равномерно распределенных мелких медесодержащих упрочняющих фаз (рис. 1, б). В итоге получено сварное соединение, прочность которого достигает 0.96 от исходного сплава при высокой пластичности. При повышенных и пониженных температурах уменьшается число циклов до разрушения из-за образования расслоений (рис. 1, в), тогда как при обычной температуре расслоения не наблюдаются, а число циклов совпадает при аналогичных условиях с числом циклов до разрушения для исходного сплава.

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН

Malikov A.G., Orishich A.M., Karpov E.V., Vitoshkin I.E. Materials Physics and Mechanics. 2020. V. 43. № 1. pp. 1-10.

Malikov A.G., Karpov E.V., Orishich A.M. Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures. 2020. V. 43. № 6. pp. 1250-1261.

Karpov E. V., Malikov A. G., Orishich A. M., and Annin B. D. Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 2020. V. 61, No. 1, pp. 78-86.



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ЭФФЕКТА ЦЕНТРОБЕЖНОГО СКОЛЬЖЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ РАЗДЕЛА ДВУХ НЕСМЕШИВАЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ С БЛИЗКИМИ ПЛОТНОСТЯМИ

Экспериментально обнаружен эффект центробежного скольжения на поверхности раздела двух несмешивающихся жидкостей с близкими плотностями, в результате которого при усилении крутки потока распад вихря происходит в верхней и нижней жидкости почти одновременно. Сходящееся спиральное течение в верхней жидкости над границей раздела формирует расходящееся спиральное движение более плотной жидкости под границей раздела. Эффект центробежного скольжения до сих пор не получил теоретического объяснения. Прямое численное моделирование такого течения дает радикальное различие с экспериментом в сценарии формирования структуры течения на начальной стадии. Наблюдаемая множественность ячеек и их расположение улучшает перемешивание, что интенсифицирует биологические (рост, деление и питание клеток, микроорганизмов, водорослей) и химические процессы в вихревых реакторах.

Институт теплофизики имени С. С. Кутателадзе СО РАН

Naumov I.V., Sharifullin B.R., Kravtsova A.Yu., Shten V.N. Exp. Thermal and Fluid Science. 2020. V. 116. p. 110116

Naumov V., Sharifullin B.R., Shtern V.N. Physics of Fluids. 2020. V. 32 (1). p. 014101

Naumov V., Sharifullin B.R., Tsoy M.A., Shtern V.N. Phys. Fluids. 2020. V. 32. p. 061706

Cairion L., Naumov I.V., Sharifullin B.R., Herrada M.A., Shtern V.N. Phys. Fluids. 2020. V. 32. p. 104107



Новый эффект центробежного скольжения на поверхности раздела двух жидкостей, приводящий к существенной интенсификации массообменных процессов в химических и биореакторах

По заказу биотехнологической компании изготовлен опытный образец высокоэффективного газовихревого реактора для выращивания биологических культур



РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ БЕЗОПАСНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ С ТРИЗ, ОСНОВАННЫХ НА ГЕОМЕХАНИЧЕСКОМ ПОДХОДЕ

На основе комплексных фундаментальных исследований геомеханических и фильтрационных процессов, происходящих в трещиновато-пористых углеводородосодержащих пластах и вмещающих породах разработаны научные основы новых эффективных низкозатратных и экологически чистых технологий повышения продуктивности нефтегазовых скважин и увеличения нефтеотдачи пластов с трудноизвлекаемыми запасами: для низкопроницаемых коллекторов, глубоко залегающих, сланцевых и арктических месторождений. Эти технологии, опирающиеся на геомеханический подход, не имеют аналогов в мире.

Проведённая в 2020-2021 гг. в ИПМех РАН глубокая модернизация испытательной системы трехосного независимого нагружения позволяет определять оптимальные величины давления в скважине и конструкции забоя, обеспечивающие повышение производительности скважин и уменьшение рисков потери устойчивости стволов скважин при нефте- и газодобыче.



Модернизированная ИСТНН позволяет прикладывать усилие до 1000 кН. Благодаря новой конструкции нагружающего узла в виде толстостенной кубической камеры, на которой смонтированы гидроцилиндры, машина обладает значительно большей жесткостью. Это обеспечивает возможность с большой точностью моделировать на образцах породы реальные напряженно-деформированные состояния в пластах на глубинах до 10 км, в том числе, для прочных пород, каковые часто слагают низкопроницаемые продуктивные пласты.

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН

Karev V.I., Kovalenko Yu.F., Sidorin Yu. Physical Modeling of Deformation, Fracture, and Filtration Processes in Low Permeability Reservoirs of Achimov Deposits // Processes in GeoMedia—Volume IV, Springer Geology, 2021. P. 107-117.



РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ТРЕНИЕМ И СНИЖЕНИЯ КОНТАКТНО-УСТАЛОСТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ КАЧЕНИЯ С ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЕМ

Одной из причин разрушения элементов трибосопряжений в условиях трения скольжения/качения является накопление контактно-усталостных повреждений в их поверхностных слоях.

В лаборатории трибологии ИПМех РАН разработаны расчетные модели и проведён анализ распределения контактных и внутренних напряжений в условиях скольжения и качения упругих и вязкоупругих тел при наличии промежуточного вязкоупругого слоя. Установлено, что при качении наличие промежуточного слоя приводит к уменьшению скорости накопления контактно-усталостных повреждений в подповерхностных слоях контактирующих тел и увеличению количества циклов до первого акта разрушения.

Полученные результаты позволяют количественно оценивать эффективность применения конкретных смазочных материалов при заданных условиях эксплуатации в различных узлах трения (подшипники качения, система «колесо-рельс» и т.д.).

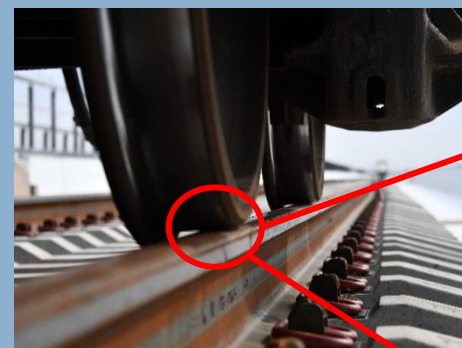
Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН

Goryacheva I.G., Miftakhova A.R. Wear. 2019. Vol. 430..

Meshcheryakova A.R., Goryacheva I.G. Physical Mesomechanics. 2021. Vol. 24..

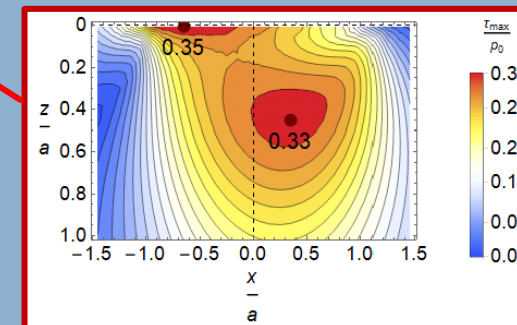
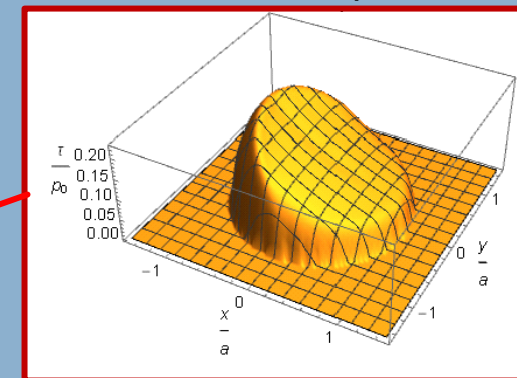
Stepanov F.I.; Torskaya E.V. Materials 2021, 14.

Контакт колеса и рельса



Подшипник качения

Распределение контактных касательных напряжений



Изолинии максимальных касательных напряжений в сечении полупространства $y = 0$



РАЗРАБОТКА РОБОТА ДЛЯ ПОЛОСТНЫХ ХИРУРГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ И ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ВИДЕОКОНТРОЛЯ

Разработана конструкция нового робота для проведения полостных хирургических операций и для управления системой видеоконтроля. Изготовлен прототип данного робота. Работа проводилась совместно с больницей имени Боткина. Разработанное устройство примерно в 10 раз меньше по габаритам и весу, чем известный хирургический робот da Vinci при сохранении тех же показателей по точности, быстродействию и грузоподъемности. Этого удалось добиться за счет применения разработанных в ИМАШ РАН методик структурного синтеза механизмов параллельной структуры, имеющих несколько кинематических цепей и воспринимающих нагрузку подобно пространственным фермам.

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН

1. Валиев Е.И., Ганиев Р.Ф., Глазунов, Скворцов С.А., Чернецов Р.А. Разработка и исследование механизмов с постоянной точкой ввода инструмента в рабочую область, предназначенных для хирургических операций и исследования свойств плазмы. // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2020. № 6. С. 3-15.

2. Патент на полезную модель № 202578. Механический манипулятор рабочего органа с четырьмя степенями свободы // Глазунов В.А., Скворцов С.А., Чернецов Р.А., Гаврилина Л.В., Гебель Е.С., Пащенко В.Н. Заявка 2020229897 от 16 июня 2020 г., опубл. 25.02.2021. Бюл. № 6.

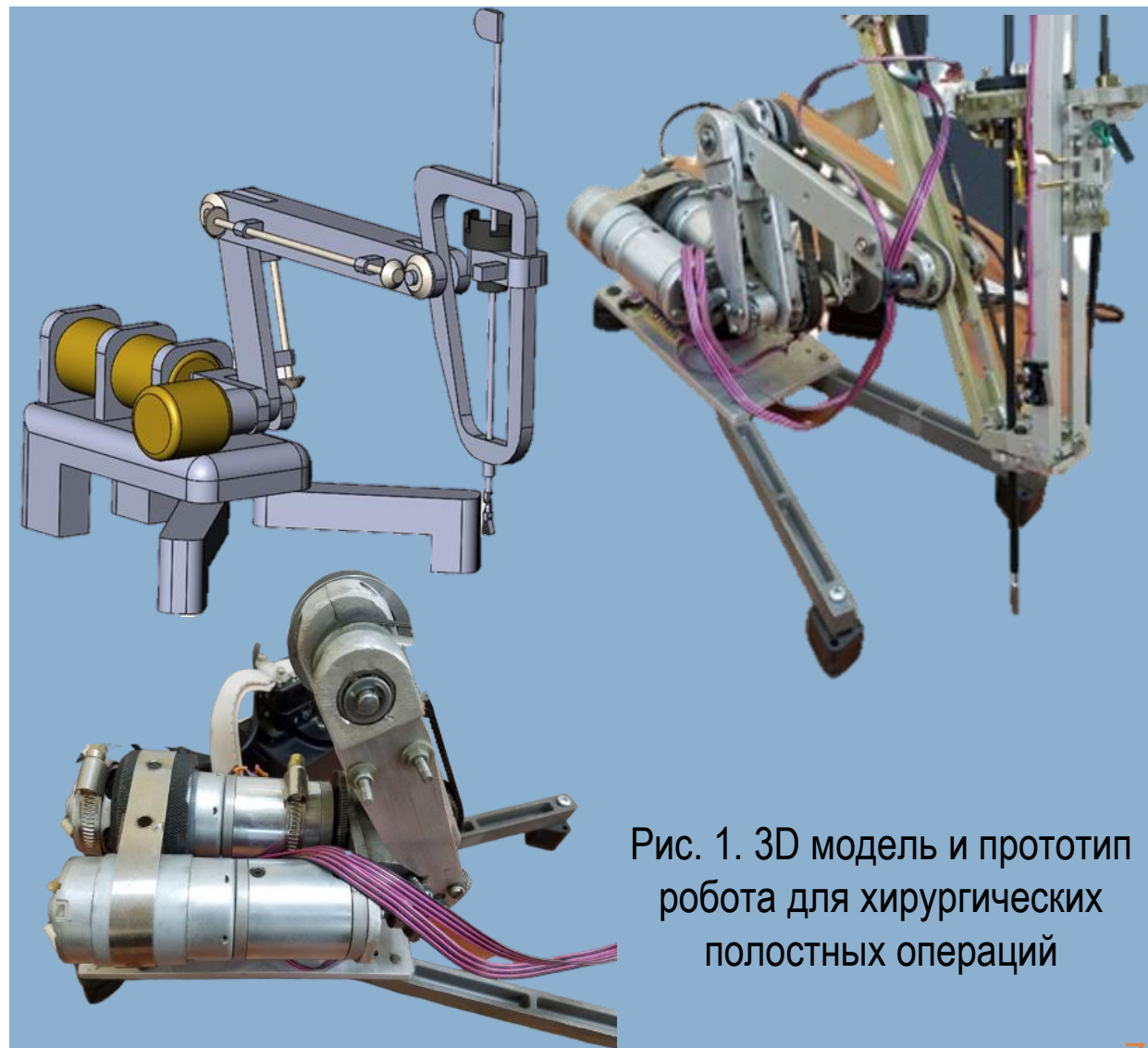


Рис. 1. 3D модель и прототип робота для хирургических полостных операций



РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЖИДКИХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

На основе созданных академиком Р.Ф. Ганиевым теории нелинейной волновой механики и волновых технологий разработаны качественно новые экономически высокоэффективные процессы синтеза смазочных материалов с использованием резонансных эффектов, обеспечивающих измельчение добавляемых компонентов до наноразмеров и создание устойчивых дисперсий твердых наночастиц в простейших спиртах, способных обеспечить смазку механизмов в условиях арктической зимы, в том числе в качестве моторных масел.

Полученные наноразмерные частицы алюмосиликатов (рис. 1) равномерно распределяются по объему смазки и резко увеличивают срок службы смазываемых поверхностей (до 2-4 раз) их расположение в зазоре поверхностей трения показано на рис. 2.

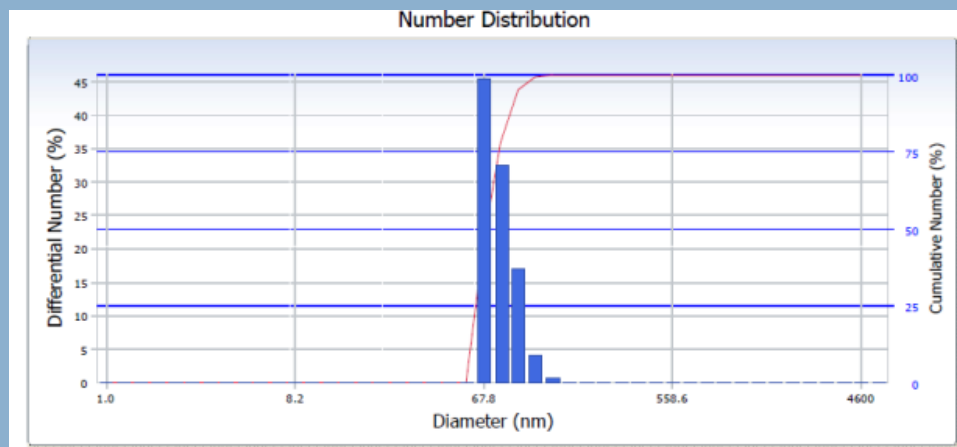


Рис. 1. Диаграмма распределения размеров наночастиц алюмосиликатов после волновой обработки

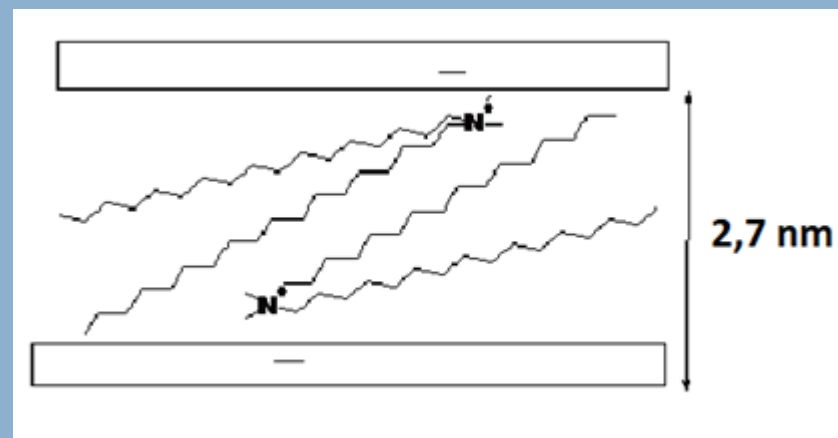


Рис. 2. Схема расположения наночастиц алюмосиликатов в зазоре поверхности трения

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН

1. Pokidko B.V., Alisin V.V., Roshchin M.N., Simakov A. Yu. Increasing the service life of lubricants for the lubrication of agricultural machinery and road machinery. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 839 (2021) 052064.

2. V Alisin¹, B Pokidko², M Roshchin¹ and G Simakova² Lubricants to reduce wear of wheels and rails high-speed rail transport// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 919. 022032.

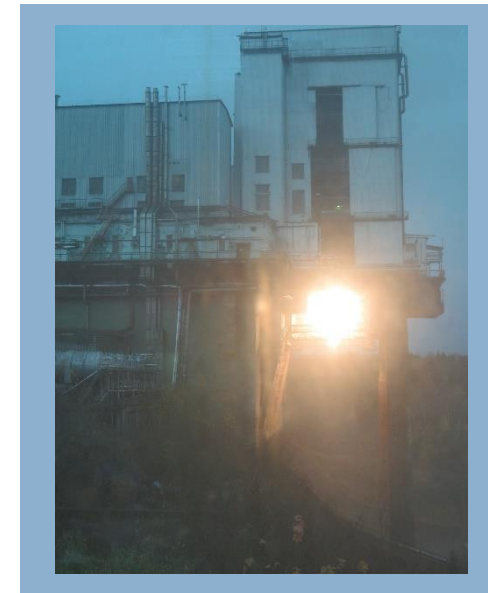


СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДОМ ТОПЛИВА РАКЕТНЫХ СРЕДСТВ ВЫВЕДЕНИЯ, РЕКОНФИГУРИРУЕМАЯ В НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЯХ

Развита детерминированная теория терминального управления внутрибаковыми процессами жидкостных ракет-носителей и разгонных блоков. Теория основывается на решении задач синтеза классов терминального управления при различном уровне текущей и априорной информации и требований к переходным процессам. Предложены алгоритмы с прогнозированием при заданной стратегии будущего управления. Для решения задачи синтеза получены дифференциальные и разностные уравнения для невязок конечных условий. При синтезе более широкого класса терминального управления используется преемственность решений. Разработанные методы позволяют синтезировать алгоритмы управления для широкого диапазона режимов функционирования объекта.

Проведены огневые испытания ступени новой ракеты-носителя «Ангара-1.2», ВКС России успешно провели пуск ракеты-носителя «Ангара-А5».

Алгоритмы систем, которые управляли внутрибаковыми процессами и обеспечивали устойчивую работу, запуск и выключение двигателя, разработаны в ИПУ РАН.





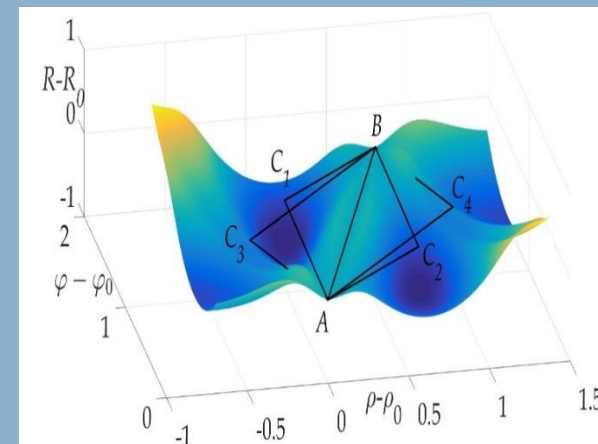
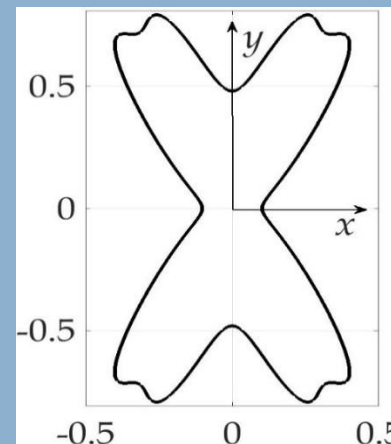
МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ В КОНФЛИКТНОЙ СРЕДЕ

Разработаны методы и алгоритмы построения оптимальной траектории движения объекта с неоднородной индикатрисой излучения при уклонении от стационарной поисковой системы, доказаны условия оптимальности траектории.

Предложены язык формального представления знаний и исчисление дедуктивно-абдуктивного вывода с доказательством свойств этих средств, основанные на необходимых и достаточных условиях формального объяснения наблюдаемого.

Доказана программность траекторного управления наблюдениями со стороны подвижного наблюдателя в непрерывном времени в LQG задаче стохастического управления по неполным данным.

Предложен метод оценки вероятности выживания цели в задаче «атакующие – цель – защитники» при известных динамических возможностях атакующих и получены рекуррентные соотношения для ее вычисления при оптимальном поведении игроков.



Индикатриса излучения, оптимальные траектории и поверхность уровня функционала



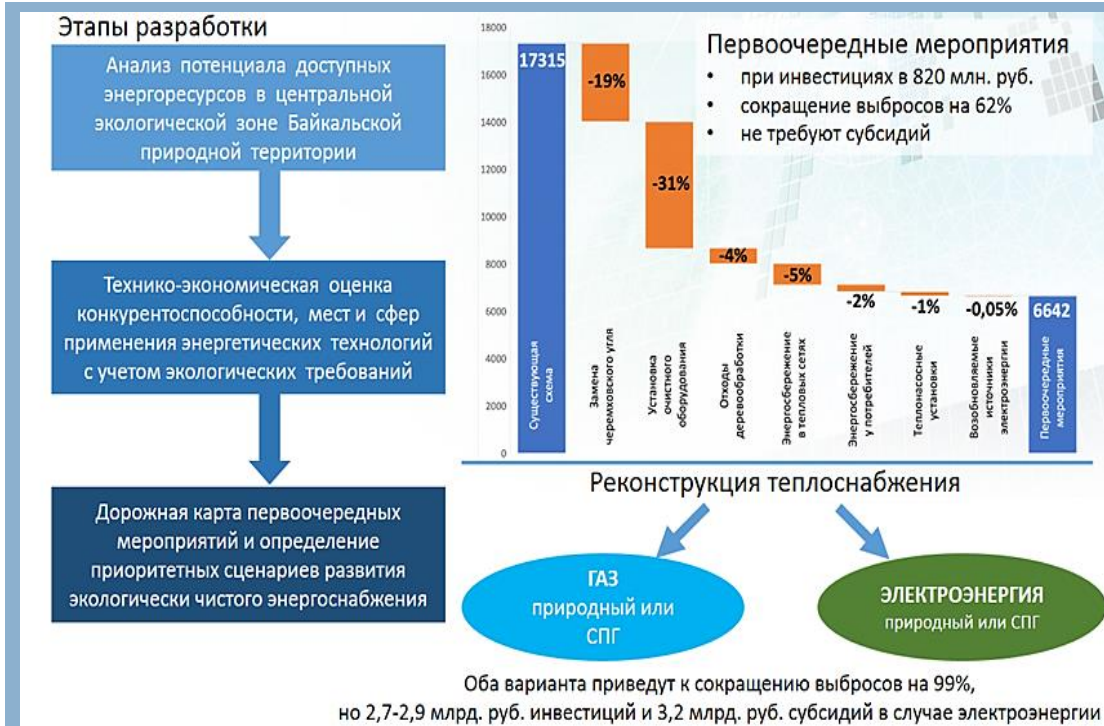


ПРОГРАММА ЭФФЕКТИВНОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Впервые разработана программа эффективного и экологически чистого развития энергоснабжения центральной экологической зоны оз. Байкал, выполненная с использованием методологии системного моделирования топливно-энергетического комплекса и специальных программно-вычислительных средств для оценки эффективности конкретных технологических решений на основе возобновляемых источников энергии. Предложены технические решения по встраиванию в существующие системы энергоснабжения и показано участие разных типов возобновляемых источников энергии в покрытии графиков электрической или тепловой нагрузки потребителей применительно к условиям центральной экологической зоны оз. Байкал. Определены оптимальные экономические показатели сооружения возобновляемых источников энергии, реализации природоохранных и энергосберегающих мероприятий с учетом территориальных, ресурсных и инфраструктурных ограничений. В качестве критерия для обоснования программных мероприятий выбран минимум стоимости сокращения выбросов загрязняющих веществ.

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН

Стенников В.А., Санеев Б.Г., Иванова И.Ю.



Основные этапы разработки программы, экологическая оценка эффектов от первоочередных мероприятий и базовые сценарии теплоснабжения центральной экологической зоны оз. Байкал



ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД АСИМПТОТИЧЕСКОГО УСРЕДНЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ТЕРМОУПРУГОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРУКТУРНО-ГРАДИЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Разработан параметрический метод асимптотического усреднения уравнений термоупругости для оценки термомеханических характеристик структурно-градиентных материалов (рис. 1) с переменными характеристиками, зависящими от координат. Разработаны аналитико-численные методы моделирования поведения таких материалов на основе представлений типа Папковича-Нейбера через вспомогательные потенциалы, удовлетворяющие уравнениям Лапласа и Пуассона. На основе этих представлений исследована обобщенная задача Эшелби и построены базисные потенциалы для эффективной аппроксимации решения вспомогательных задач.

Разработано обобщение классической схемы метода Треффтца на блочное разбиение исходной области, которое впервые, без привлечения условия непрерывности локальных представлений между блоками, применено для аппроксимации решения (рис. 2).

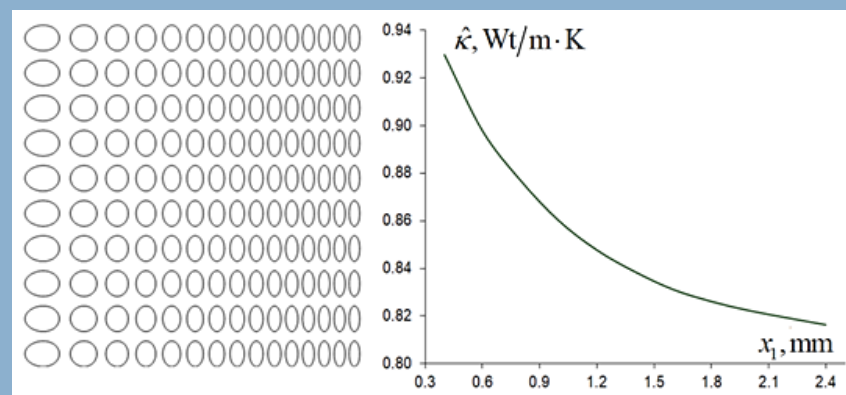


Рис. 1. Эффективный коэффициент теплопроводности структурно-градиентного материала

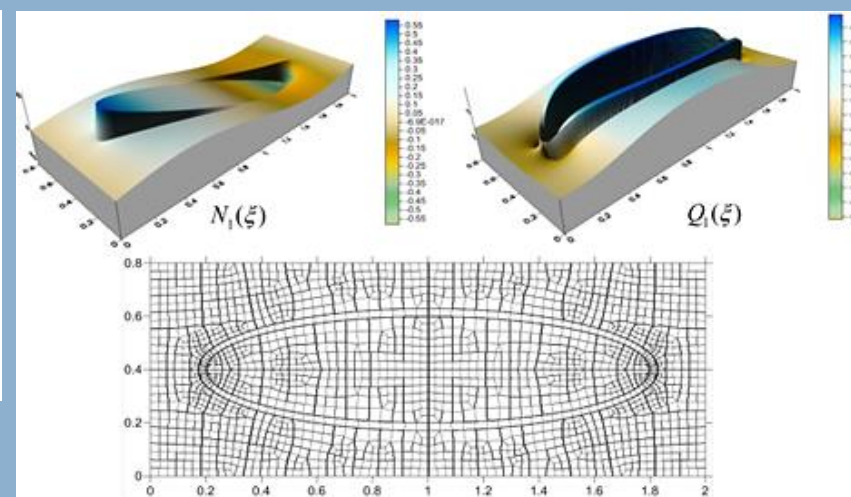
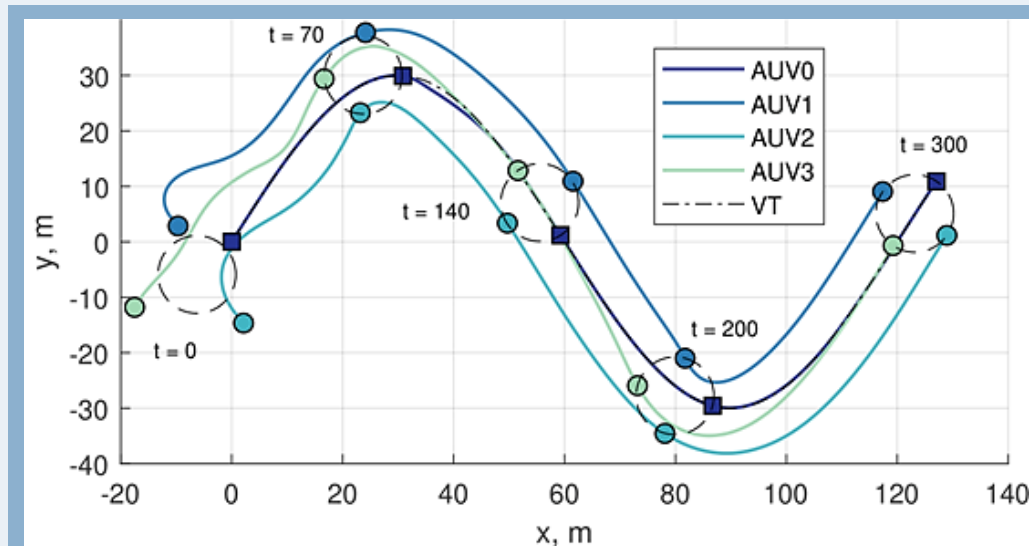


Рис. 2. Решение задачи на ячейке уравнения теплопроводности по определению эффективных коэффициентов теплопроводности обобщенным методом Треффтца



ОБЩАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМАЦИЙ ДВИЖУЩИХСЯ АГЕНТОВ С ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫМ МНОГОРЕЖИМНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Разработана общая математическая модель формаций движущихся агентов с децентрализованным многорежимным управлением. Получены основанные на вектор-функциях Ляпунова теоремы о достаточных условиях динамических свойств, характерных как для различных режимов движения группы, так и ее движения в целом. Развита вычислительная технология для анализа и синтеза нелинейных систем управления, ориентированная на исследование динамики и стабилизации движущихся формаций; выполнена ее программная реализация. Разработанные программные средства позволяют при решении задач динамики формаций в комплексе учитывать неопределенности параметров агентов, погрешности измерений, ограничения на ресурсы управления и др. факторы, присущие реальным приложениям.



Результаты моделирования для формации роботов в задаче совместного следования вдоль заданного пути

Результаты использованы для синтеза децентрализованного управления группировкой подводных роботов в задачах траекторного обследования придонной области и совместного следования вдоль заданного криволинейного пути.



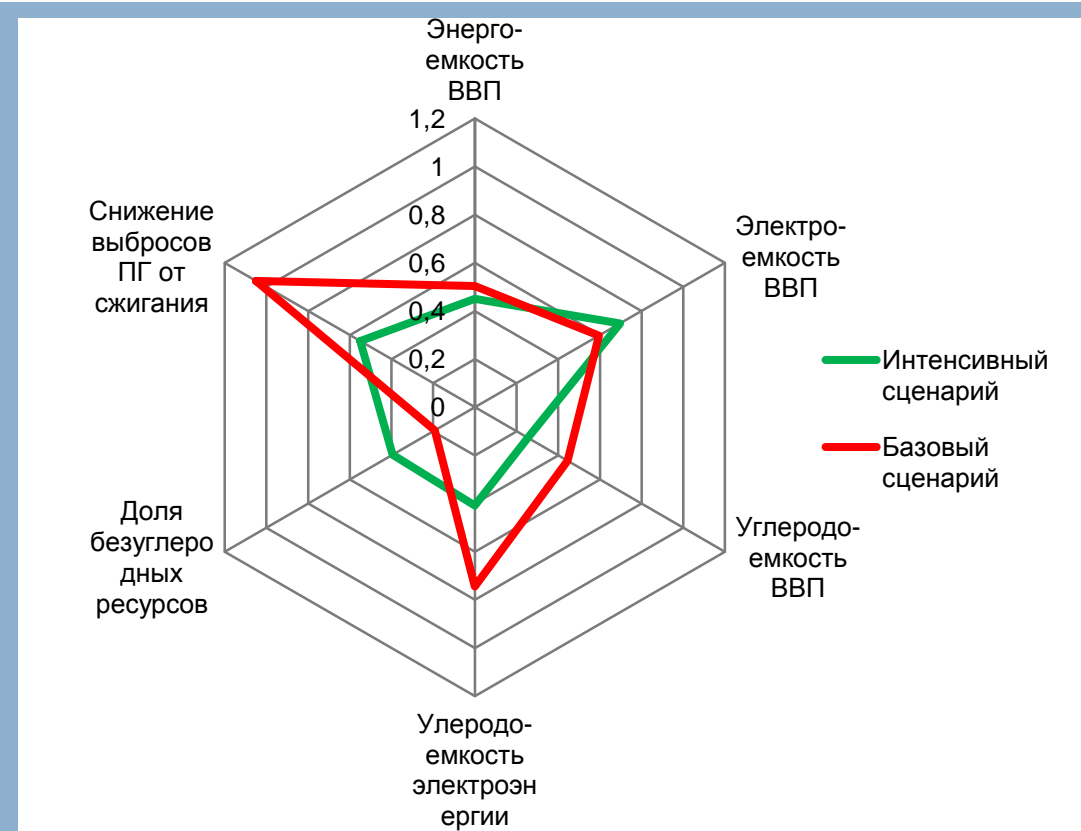
ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ И ТЕМПОВ РАЗВИТИЯ НИЗКОУГЛЕРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ

С использованием разработанного в ИНЭИ РАН модельного комплекса СКАНЕР выполнено количественное исследование технологических возможностей и наиболее эффективных способов адаптации энергетического комплекса России к стратегическим целям низкоуглеродного развития и достижения углеродной нейтральности экономики страны к 2050-60 гг. Необходимые для этого темпы повышения энергетической эффективности экономики страны и перестройки ее энергетического баланса технологий обоснованы с учетом прогнозирования:

долгосрочных тенденций на мировых энергетических рынках, обусловленных фактором декарбонизации и влияющих на динамику и структуру экспорта российских энергетических ресурсов;

долгосрочных последствий для экономики и населения страны, включая вклад в ВВП, масштабы инвестиционной нагрузки, а также уровень цен на топливо и энергию.

Обоснованы системные меры по управлению развитием энергетики России в условиях активного углеродного регулирования



Сравнительная характеристика базового сценария развития энергетики до 2050 года и сценария с интенсивным снижением эмиссии парниковых газов (значения показателей отн. 2019 года)



ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ, МИНИМИЗАЦИЯ И ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ВСЕГО СПЕКТРА ОПАСНОСТЕЙ (КРИЗИСОВ, ВЫЗОВОВ, УГРОЗ, АВАРИЙ, БЕДСТВИЙ, КАТАСТРОФ)

В 2020 году завершился второй десятилетний этап реализации научно-исследовательского, информационно-аналитического и образовательно-просветительского проекта – **Многотомное издание «Безопасность России»** (рис. 1).

По рекомендациям Совета Безопасности РФ силами в 1998-2020 гг. РАН, МЧС России и Международного гуманитарного общественного фонда «Знание» с участием около 950 ведущих специалистов страны выпущено **57 томов** общим объемом 35 000 страниц. Междисциплинарные академические исследования в сфере анализа и обеспечения комплексной безопасности и стратегических рисков направлены на решение двух проблем (рис. 2):

- прогнозирование и предупреждение (верхний сектор);
- минимизацию и ликвидацию последствий всего спектра опасностей – кризисов, вызовов, угроз, аварий, бедствий, катастроф (нижний сектор).



Рис. 1. Многотомное издание «Безопасность России»



Рис. 2. Основы фундаментальной теории катастроф и рисков

Сформированы базовые выражения для обеспечения функционирования и развития во времени τ сложной системы «человек–природа–техносфера» в условиях, когда формирующиеся риски $R(\tau)$ меньше приемлемых $[R(\tau)]$ рисков и критических $R_k(\tau)$ и необходимы затраты $Z_R(\tau)$ на снижение риска $R(\tau)$ до приемлемого

$$R(\tau) = F\{P(\tau), U(\tau)\} \leq [R(\tau)] = \frac{R_k(\tau)}{n_R}, \quad Z_R(\tau) = \frac{1}{m_z} \{R(\tau) - [R(\tau)]\},$$

где $P(\tau)$, $U(\tau)$ - вероятности возникновения опасностей и ущерба от них;

n_R - запас по рискам ($1,5 \leq n_R \leq 3$); m_z - коэфф. эффективности затрат ($2 \leq m_z \leq 5$).

Комиссия РАН по техногенной безопасности (чл.-корр. Махутов Н.А.)

Безопасность России. Научные основы техногенной безопасности ж/д транспорта. М.: МГОФ «Знание», 2020. – 720 с.



БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ