



УТВЕРЖДАЮ:

Врио директора, д.ф.-м.н.

Е.В. Ерманюк

29.12.2025 г.

ПЕРЕЧЕНЬ
типовых работ, оказываемых услуг ЦКП «Механика материалов и гидродинамика»

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

1. Механические испытания материалов

- 1.1. Определение деформационных и прочностных характеристик материалов при растяжении, сжатии, сдвиге в диапазоне температур от -80°C до $+200^{\circ}\text{C}$;
- 1.2. Определение деформационных и прочностных характеристик материалов при растяжении в диапазоне температур от -80°C до $+1000^{\circ}\text{C}$;
- 1.3. Определение деформационных и прочностных характеристик материалов в тестах на кручение, кручение со сжатием и растяжением при нормальных условиях;
- 1.4. Разработка методик и проведение прочностных испытаний для нестандартных образцов, включая образцы с неоднородным и многоосным напряжённо-деформированным состоянием;
- 1.5. Механические испытания с произвольными ступенчатыми и малоцикловыми схемами одноосного нагружения;
- 1.6. Механические испытания с произвольными ступенчатыми и малоцикловыми схемами двухосного нагружения: кручение совместно с продольным нагружением;
- 1.7. Измерение динамической прочности материалов при испытании на одноосное сжатие при скорости деформации до $1 \cdot 10^4 \text{ сек}^{-1}$ на разрезном стержне Гопкинсона (метод Кольского);
- 1.8. Исследования высокотемпературного деформирования и ползучести жаропрочных сплавов при высоких температурах (до 1000°C), в том числе, получение диаграмм упругопластического (вязкоупругопластического) деформирования материалов и определение характеристик ползучести;
- 1.9. Лабораторное моделирование деформирования и разрушения материалов, в том числе анизотропных металлических сплавов и композитов, в условиях ползучести и неравномерного распределения напряжений;
- 1.10. Исследование влияния эксплуатационно-технологических факторов на изменение характеристик материала, в том числе, характеристик малоцикловой и многоцикловой усталости;
- 1.11. Исследование прочности пористых материалов, в том числе биоматериалов, с учетом заполнения их жидкостями и влияния сложного неоднородного напряженного состояния;
- 1.12. Определение характеристик трещиностойкости, включая определение вязкости разрушения;
- 1.13. Определение ударной вязкости при испытаниях на ударный изгиб по Шарпи;
- 1.14. Испытания стойкости материалов и покрытий в условиях абразивного, эрозионного, гидроабразивного износа;
- 1.15. Измерение твердости и микротвердости материалов и покрытий;
- 1.16. Испытания адгезии покрытий;
- 1.17. Коррозионные испытания материалов и покрытий в условиях соляного тумана;
- 1.18. Исследование локализованных необратимых деформаций по тепловыделению;

1.19. Построение полей деформаций поверхности методом корреляции изображений;

2. Экспериментальное исследование деформационных характеристик материалов биологического происхождения

2.1. Исследование прочностных характеристик биоматериалов;

2.2. Исследование вязкоупругих свойств биоматериалов в физиологическом диапазоне амплитуд G' и частот G'' деформаций в диапазоне скоростей сдвига от 0,1% до 20% и в диапазоне частот деформаций от 0,1 до 100 Hz;

3. Изготовление материалов и покрытий

3.1. Изготовление опытных образцов полимерных композитов и метаматериалов;

3.2. Нанесение покрытий детонационным напылением;

3.3. Изготовление деталей и материалов, в том числе, слоистых композитов сваркой взрывом;

3.4. Упрочнение поверхности металлов взрывом, в том числе, опытных образцов технологического, горно-обогатительного и другого оборудования;

3.5. Изготовление нестандартных деталей путем штамповки на бесшаботном гидropневматическом молоте с энергией удара 5 тонн*м, в том числе, серийным выпуском (до 5000 штук за серию);

3.6. Изготовление объемных образцов из порошковых материалов методом электроискрового спекания;

3.7. Ударно-волновое компактирование порошковых материалов во взрывной камере ВК-20 с максимальным количеством взрывчатого вещества в процессе нагружения материалов до 3 кг в тротиловом эквиваленте;

4. Исследование микроструктуры материалов и покрытий

4.1. Исследование микроструктуры материалов и покрытий методами оптической и электронной микроскопии;

4.2. Рентгеноструктурный анализ порошковых материалов с использованием дифрактометра D8 Advance;

4.3. Малоракурсная томография;

4.4. Скоростная рентгенография;

5. Компьютерное моделирование материалов и конструкций

5.1. Создание отчуждаемых комплексов программ прочностного анализа, включая программы для анализа технологических процессов, аварийных сценариев и эксплуатационных нагрузок, а также программы прочностного анализа биомеханических приложений;

5.2. Создание высокоточных моделей деформирования конструкционных и биологических материалов с последующим внедрением моделей в конечно-элементные комплексы (Ansys, MSC. Marc, а также исследовательские комплексы);

5.3. Создание нелокальных моделей для сквозного моделирования процессов накопления повреждений, образования трещин и разрушения конструкций, включая сценарии хрупкого и вязкого разрушения;

5.4. Разработка экспериментальной кампании для надёжной калибровки и валидации высокоточных моделей деформирования материалов;

5.5. Автоматизация процесса создания, калибровки и валидации универсальных моделей композиционных материалов;

5.6. Многомасштабное моделирование монолитных и композиционных материалов, включая методику МКЭ;

5.7. Создание цифровых двойников композиционных материалов на основе явного моделирования механического поведения представительных объёмных элементов. Виртуальные испытания цифровых двойников;

5.8. Создание нелинейных микроструктурно обоснованных моделей композиционных материалов с последующим внедрением в комплексы метода конечных элементов (Ansys, MSC. Marc, а также исследовательские комплексы);

5.9. Рациональный анализ рисков и послеоперационных осложнений на основе точных моделей деформирования биологических тканей;

5.10. Конечно-элементный анализ деформирования машиностроительных и промышленных конструкций сложной формы при произвольных сценариях нагружения;

ГИДРОДИНАМИКА И МЕХАНИКА НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

6. Исследование характеристик полей гидродинамических потоков

6.1. Высокоскоростная видеосъемка гидродинамических потоков, до 20 000 кадров в секунду при полном разрешении видеокамеры;

6.2. Измерение полей скорости методом PIV;

6.3. Измерение полей возмущений плотности синтетическим шлирен-методом;

6.4. Измерение полей концентрации пассивных примесей флуоресцентным методом;

7. Приготовление технологических жидкостей, гелей, суспензий по заданным рецептурам при нормальных условиях

7.1. Приготовление гелей, в том числе, жидкостей гидроразрывом пласта (ГРП) на основе гуара, полиакриламида и других гелеобразователей, при необходимости, с добавлением сшивателей, брейкеров и иных добавок по заданной рецептуре;

7.2. Приготовление суспензий, в том числе, из жидкостей ГРП и пропанта в требуемых концентрациях;

7.3. Приготовление растворов поверхностно-активных веществ (ПАВ);

7.4. Приготовление эмульсий, в том числе, водонефтяных;

7.5. Приготовление составов глушения скважин;

7.6. Приготовление моделей пластовой воды, буровых растворов;

7.7. Фильтрация растворов от механических примесей;

8. Испытания базовых физико-химических свойств технологических жидкостей, гелей, суспензий

8.1. Визуальная оценка растворимости ПАВ в технологических жидкостях;

8.2. Исследование процессов термической деструкции технологических жидкостей, полимерных растворов с помощью термостатирования и последующей оценки наличия и динамики выпадения осадка и массовой доли сухого осадка, расслоения, измерения плотности, водородного показателя pH, мутности и пр.;

8.3. Оценка растворимости полимеров, в том числе, ПАВ: скорость и качество растворения полимера в матричном растворе, оценка совместимости с растворителями и другими компонентами раствора;

8.4. Исследование долгосрочной стабильности полимеров, в том числе, ПАВ, в различных температурных режимах;

8.5. Исследование фильтруемости растворов полимеров, в том числе, ПАВ, в различных температурных режимах;

8.6. Определение содержания хлорорганических соединений в растворе;

8.7. Определение степени гидролиза исследуемого раствора;

8.8. Определение содержания сульфополимеров в растворе;

8.9. Исследование процессов расслоения эмульсий;

8.10. Измерение времени приготовления исследуемых составов: времени гелеобразования, сшивки, структурообразования растворов полимеров;

8.11. Оценка закупорки состава на щелевых дисках;

9. Базовые исследования реологических свойств технологических, биологических и пищевых жидкостей, гелей, суспензий и пен, а также вязкоупругих материалов биологического происхождения

9.1. Ротационные тесты в диапазоне температур от $T_{min} = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $T_{max} = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ при атмосферном давлении и от $T_{min} = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $T_{max} = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ в ячейке высокого давления (до 400 бар) обеспечивают:

9.1.1. Получение зависимости напряжения сдвига $\tau(\dot{\gamma})$, вязкости $\eta(\dot{\gamma})$ и первой разности нормальных напряжений $N_1(\dot{\gamma})$ от скорости сдвига:

– в диапазоне скоростей сдвига от $\dot{\gamma}_{min} = 0,001\text{ c}^{-1}$ до $\dot{\gamma}_{max} = 2000\text{ c}^{-1}$ при атмосферном давлении,

– в диапазоне скоростей сдвига от $\dot{\gamma}_{min} = 0,01\text{ c}^{-1}$ до $\dot{\gamma}_{max} = 1500\text{ c}^{-1}$ в ячейке высокого давления (до 400 бар);

9.1.2. Измерение предела текучести (критического напряжения сдвига, начального касательного напряжения) и получение зависимости напряжения сдвига от скорости сдвига $\tau(\dot{\gamma})$ в режиме контролируемого напряжения сдвига τ :

- в диапазоне напряжений $\tau_{min} = 10^{-4}$ Па до $\tau_{max} = 3500$ Па при атмосферном давлении,
- в диапазоне напряжений от $\tau_{min} \approx 3$ Па до $\tau_{max} \approx 3500$ Па в ячейке высокого давления (до 400 бар);

9.1.3. Измерение тиксотропности при помощи трехинтервального ротационного теста в режиме контролируемой скорости сдвига $\dot{\gamma}$. Тесты проводятся:

- в диапазоне скоростей сдвига от $\dot{\gamma}_{min} = 0,001 \text{ с}^{-1}$ до $\dot{\gamma}_{max} = 2000 \text{ с}^{-1}$ при атмосферном давлении,
- в диапазоне скоростей сдвига от $\dot{\gamma}_{min} = 0,01 \text{ с}^{-1}$ до $\dot{\gamma}_{max} = 1500 \text{ с}^{-1}$ в ячейке высокого давления (до 400 бар);

9.2. **Динамический механический анализ (ДМА). Осцилляционные тесты** в диапазоне температур от $T_{min} = -30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ до $T_{max} = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ в интервале частот от $f_{min} = 0,001 \text{ Гц}$ до $f_{max} = 100 \text{ Гц}$ и в интервале амплитуд от $\gamma_{min} = 0,01 \%$ до $\gamma_{max} = 1500 \%$ проводятся при атмосферном давлении и включают:

9.2.1. Амплитудные тесты. Определение наличия и границы диапазона линейной вязкоупругой деформации (LVE-диапазон) при помощи осцилляционного амплитудного теста (амплитудная развертка): измерение зависимостей модуля упругости G' (накопления), модуля вязкостных потерь G'' и коэффициента механических потерь δ от амплитуды деформации γ_A при фиксированной частоте колебаний f ;

9.2.2. Частотные тесты. Определение диапазона частот, в которых преобладают упругие свойства, при помощи осцилляционного частотного теста (частотная развертка): измерение зависимостей модуля упругости G' (накопления), модуля вязкостных потерь G'' и коэффициента механических потерь δ от частоты колебаний f при фиксированной амплитуде деформации γ_A ;

9.3. Определение спектра времен релаксации $H(\lambda)$ (напряжений сдвига τ) при помощи релаксационного теста: измерение зависимости модуля релаксации $G(t)$ от времени нагружения при фиксированной амплитуде деформации γ_A ;

9.4. Определение средней молекулярной массы полимера методом капиллярной вискозиметрии при помощи измерения характеристической вязкости;

9.5. Исследование динамики изменения средней молекулярной массы растворов полимеров под действием деструкторов и других реагентов, в зависимости от их концентраций и РТ-условий путем измерения нулевой сдвиговой вязкости;

10. Специализированные исследования реологических свойств технологических, биологических и пищевых жидкостей, гелей, суспензий и пен, а также вязкоупругих материалов биологического происхождения

10.1. Измерение степени гидратации, термостабильности и термодеструкции в течение заданного промежутка времени при помощи ротационного теста в режиме контролируемой скорости сдвига $\dot{\gamma}$;

10.2. Исследование структурной стабильности растворов полимеров путем измерения вязкости при малых скоростях сдвига ($\dot{\gamma}_{min} = 0,001 \text{ с}^{-1}$) в различных РТ-условиях;

10.3. Измерение механической стабильности при интенсивных сдвиговых нагрузках при помощи ротационных, в том числе, в ячейке высокого давления, и осцилляционных тестов;

10.4. Исследование зависимости вязкости раствора от степени его минерализации;

10.5. Исследование зависимости вязкости раствора от концентрации (геля, полимера, эмульсии);

10.6. Исследование химической деструкции полимерных растворов при различных температурах – исследование возможности разрушения структуры сшитого состава деструктором;

10.7. Исследование контактных взаимодействий с помощью теста на липкость (адгезию) с максимальным усилием отрыва одной из поверхностей до 40 Н в диапазоне температур $T_{min} = -30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ до $T_{max} = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

10.8. Исследование вязкоупругих свойств жидкостей ГРП после прокачки через пропантную пачку;

10.9. Определение времени потери текучести в нестационарных реологических системах:

- при полимеризации водно-эмульсионных эпоксидных систем, красок,
- при полимеризации материалов в химических реакторах;
- при механическом загрязнении и температурной деградации машинных масел,
- при гидратации строительных смесей в растворах,
- при деградации хладагента в охлаждающих системах,
- при замерзании теплоносителя;
- при изменении свойств биологических материалов;

11. Исследования реологических свойств технологических, биологических и пищевых жидкостей, гелей, суспензий и пен, а также вязкоупругих материалов биологического происхождения по ГОСТ, ISO и отраслевым стандартам

11.1. Исследование термостабильности на основе стандартных реологических тестов по ISO 13503-1:2011 «Нефтяная и газовая промышленность – растворы для заканчивания и материалы – Часть 1: Измерение вязких свойств растворов для заканчивания» (пп. 7.2., 7.3);

11.2. Определение кажущейся вязкости по Брукфильду в соответствии с ГОСТ 25271-93 (ISO 2555-89) «Пластмассы. Смолы жидкие, эмульсии или дисперсии. Определение кажущейся вязкости по Брукфильду».

11.3. Контроль качества жидкостей гидроразрыва пласта на основе высоковязких органических и синтетических гелеобразователей в соответствии с отраслевыми стандартами;

12. Испытания базовых свойств расклинивающих материалов гидроразрыва пласта (пропантов), в том числе, по ГОСТ Р 51761, ГОСТ Р 54571, ISO 13503-2

12.1. Определение гранулометрического состава;

12.2. Измерение насыпной плотности;

12.3. Измерение кажущейся плотности;

12.4. Измерение абсолютной плотности;

12.5. Определение мутности;

12.6. Измерение сферичности и округлости;

12.7. Испытание сопротивления раздавливанию;

12.8. Измерение потерь при прокаливании;

13. Исследования проводимости пачки расклинивающих материалов гидроразрыва пласта (пропантов), в том числе, по ISO 13503-5

13.1. Испытания долговременной проводимости пропанта;

13.2. Испытания долговременной проводимости пропанта при циклических нагрузках;

13.3. Испытания остаточной проводимости пропанта с жидкостью ГРП;

13.4. Испытания долговременной проводимости пропанта при фильтрации неньютоновских жидкостей;

13.5. Определение соотношения предельного давления к расходу жидкости с учетом размера пропантной пачки путем исследования процессов выноса пропанта при различных РТ-условиях и параметрах системы пропант-флюид – фазовый состав, вязкостные свойства флюида, скорость потока в призабойной зоне;

13.6. Определение критического градиента фильтрации в пропантной пачке для разрушенной и недоразрушенной жидкости ГРП с воспроизведением условий призабойной, центральной и концевой пропантной пачки;

14. Исследования песконесущей способности жидкостей гидроразрыва пласта (ГРП) в ячейках типа «Хеле-Шоу»

14.1. Исследования динамического оседания пропанта в физической модели трещины ГРП в различных РТ-условиях с видеофиксацией и описанием наблюдаемой структуры течения;

14.2. Анализ видео и оценка динамической песконесущей способности Жидкости ГРП. Обработка экспериментальных данных. Определение скоростей переноса и оседания частиц методами PIV и PTV (если имеет место), анализ динамики накопления осадка пропанта и динамики средней концентрации частиц.

14.3. Исследования статического оседания пропанта в физической модели трещины ГРП в различных РТ-условиях с видеофиксацией и описанием характера оседания пропанта:

- в стандартной ячейке,
- в термостатированной ячейке,
- в условиях рентгеновской съемки:
 - в стандартной ячейке,

- в термостатированной ячейке;

14.4. Анализ видео и оценка песконесущей способности жидкости ГРП. Определение скоростей отдельных частиц, групп частиц и построение зависимости скорости оседания от их средней концентрации:

- для стандартной или термостатированной ячейки,
- для рентгеновской съёмки;

14.5. Проведение НИР по подбору оптимальных характеристик жидкости на основе математического моделирования скорости оседания частицы (группы частиц) в зависимости от свойств пропанта и вязкоупругих свойств жидкости:

- выбор реологической модели,
- подбор параметров модели по результатам исследования реологических свойств,
- выбор модели для расчета несущей способности,
- расчет несущей способности,
- сравнение расчетной и экспериментально установленной несущей способности;

14.6. Математическое моделирование технологического процесса ГРП с использованием предиктивной аналитики (искусственный интеллект и машинное обучение);

14.7. Выбор/разработка методов повышения эффективности ГРП;

15. Исследования фильтрационно-емкостных свойств пористых сред

15.1. Исследование образования и деструкции фильтрационной корки на поверхности керна при фильтрации жидкости ГРП с брейкером при помощи LPLT-теста;

15.2. Исследование образования и деструкции фильтрационной корки на поверхности керна при фильтрации жидкости ГРП с брейкером при помощи НРНТ-теста;

15.3. Определение эффективной проницаемости керна до прокачки и после деструкции жидкости ГРП;

16. Подбор рецептур технологических жидкостей. Определение критической концентрации используемых реагентов для обеспечения целевых эффектов в технологических процессах, в том числе:

- Определение эффективных концентраций гелеобразователя, сшивателя, брейкера в системах ЖГРП,
- Определение критической концентрации солей (KCl/NaCl) для коагуляции латекса,
- Определение оптимального соотношения компонентов и времени стабильности составов водно-эмульсионных эпоксидных систем, красок;
- Определение предельной концентрации водонасыщения блокирующего состава в системах глушения скважин;

ФИЗИКА И МЕХАНИКА ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

17. Исследование энергетических материалов и поведения конструкционных материалов в условиях ударного нагружения

17.1. Измерение параметров детонации конденсированных взрывчатых материалов: скорость, давление, температура, уравнение состояния продуктов взрыва. Построение моделей детонационного течения для расчетных пакетов (ANSYS):

- измерение скорости детонации взрывчатых материалов при помощи контактных датчиков до 3-х килограмм тротилового эквивалента;
- измерение детонационного давления взрывчатых материалов при помощи метода манганиновых датчиков;
- измерение температуры ударно-сжатых материалов при помощи пирометрической методики;
- подбор констант уравнения состояния JWL продуктов взрыва;

17.2. Рентгенография быстропротекающих процессов;

17.3. Определение ударных адиабат и откольной прочности конструкционных материалов;

17.4. Определение метательной способности взрывчатых материалов с помощью методов T20 и M40;

17.5. Определение бризантности взрывчатых материалов при помощи пробы Гесса;

18. Конструирование и изготовление нестандартного научного и технологического оборудования

18.1. Конструирование и изготовление оборудования для переработки отходов ядерного топлива;

18.2. Конструирование и изготовление оборудования для исследования взрывных процессов и промышленной обработки металла взрывом;