

**ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ**  
**Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН**  
**за 2023 год для практического применения**

**1. Разработан гидродинамический волновой активатор ферментативного гидролиза целлюлозы.**

Авторы: академик РАН Ганиев Ривнер Фазылович, (499) 135-55-93, [rganiev@nwmtc.ac.ru](mailto:rganiev@nwmtc.ac.ru); Курменев Денис Валерьевич, (499) 135-40-34, [kurmenyov\\_dv@mail.ru](mailto:kurmenyov_dv@mail.ru); д.т.н. Гришняев Игорь Николаевич, (499) 135-61-43, [iisi@inbox.ru](mailto:iisi@inbox.ru); к.т.н. Ганиев Станислав Ривнерович, (499) 135-61-15, [bonovox2000@mail.ru](mailto:bonovox2000@mail.ru); Крюков Алексей Игоревич, (499) 135-40-34, [lle@bk.ru](mailto:lle@bk.ru)

Разработан и успешно реализован пилотный промышленный волновой аппарат активации ферментативного гидролиза целлюлозы (рис.1). Обработка суспензии частиц целлюлозы в растворе ферментов осуществляется циклически в проточном режиме. Волновой механохимический эффект заключается в повышении скоростей диффузии ферментов, их сорбции и десорбции на компонентах субстрата и эффективном отводе продуктов и полупродуктов реакции расщепления целлюлоз (удаления гелеобразного олигосахаридного слоя с реагирующих лигноцеллюлозных частиц) за счет организации нестационарных, высокотурбулентных режимов течения суспензии в волновых полях. Это приводит к увеличению как скорости накопления редуцирующих веществ (РВ) в гидролизатах, так и степени конверсии лигноцеллюлозного сырья (рис.2).



Рис.1. Общий вид волнового аппарата

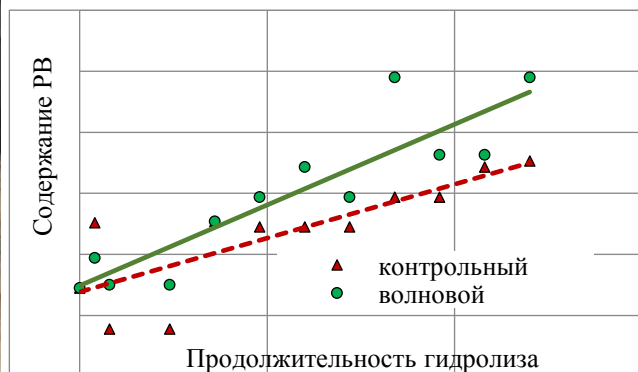


Рис. 2. Результаты промышленных испытаний

Опубликование:

Ganiev, R.F. Glazunov, V.A. Preface: 33rd International Conference of Young Scientists and Students Topical Problems of Mechanical Engineering 2021 (ToPME 2021)/2023, 2697, 010001

Ганиев О.Р., Гришняев И.Н., Ганиев С.Р., Курменев Д.В. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЛИГНИНОЦЕЛЛЮЛОЗНОГО СЫРЬЯ ПРИ ПАРОВОМ ВЗРЫВЕ/Проблемы машиностроения и надежности машин. 2023. № 5. С. 16-24. Принята к печати: 20.06.2023/ <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54348433>

Ганиев О.Р., Гришняев И.Н., Ганиев С.Р., Курменев Д.В. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЛИГНИНОЦЕЛЛЮЛОЗНОГО СЫРЬЯ ПРИ ПАРОВОМ ВЗРЫВЕ/Проблемы машиностроения и надежности машин. 2023. № 5. С. 16-24. Принята к печати: 20.06.2023/<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54348433>

Артамонов В.Ю., Крюков А.И., Султанова И.И. Разработка волновой технологии интенсификации приготовления буровых суспензий на углеводородной основе/СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ Международной конференции «МАШИНЫ, ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ», посвященной 85-летию ИМАШ РАН. Навстречу 300-летию Российской академии наук. МОСКВА. 23 ноября 2023 года. Стр. 21.

## 2. Установлена возможность применения волновых технологий для интенсификации поточного процесса смешения жидких и сыпучих сред.

Авторы: к.т.н. Панин Сергей Сергеевич, (499) 135-35-13, [paninss@nwmtec.ac.ru](mailto:paninss@nwmtec.ac.ru); к.т.н. Брызгалов Евгений Альфредович, (499) 135-35-13, [briz911@yandex.ru](mailto:briz911@yandex.ru); Довбненко Максим Станиславович, (499) 135-35-13, [Dovbnenko\\_ms@mail.ru](mailto:Dovbnenko_ms@mail.ru)

Разработан и изготовлен автоматизированный проточный стенд с системами управляемого точного дозирования порошкообразных и жидких добавок в поток. Стенд имеет гибкую модульную конструкцию, он оснащён двумя типами волновых перемешивающих устройств различного принципа действия. Стенд предназначен для исследования процессов интенсификации смешения и активации жидких и сыпучих сред в поточном режиме на волновых принципах.

Особенностями данного стенда являются:

1. Позволяет организовать автоматическое высокоточное дозирование в зависимости от расхода жидкости;
2. На стенде реализованы различные системы дозирования (сухое и жидкое дозирование);
3. Реализует различные типы волнового воздействия на обрабатываемую среду;
4. Возможна организация работы, как в режиме рециркуляции, так и за один проход;
5. Для автоматизации работы разработана система управления с собственным программным обеспечением;
6. Возможна работа на различных температурах обрабатываемой жидкости за счёт системы термостабилизации (от -30 до +90°C)

Общий вид стенда представлен на рисунке 1.

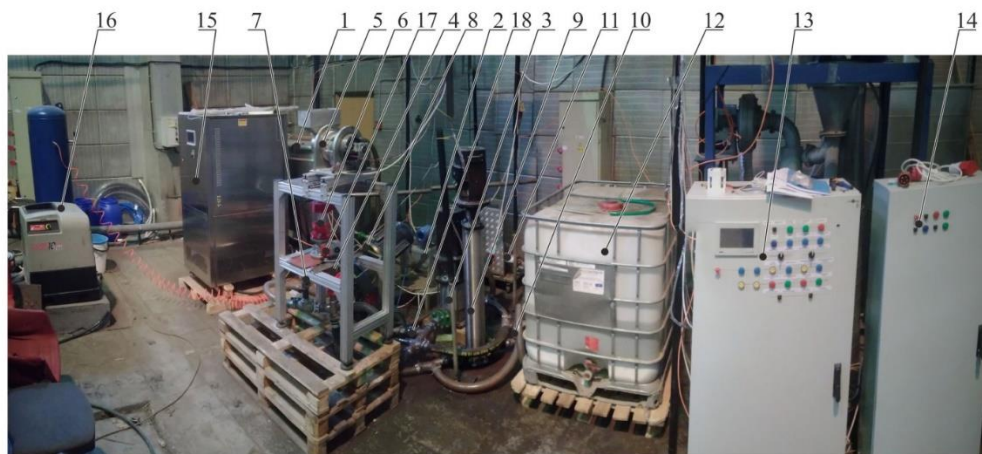


Рисунок 1: 1–приёмораздаточная ёмкость; 2–расходомер; 3–подкачивающий насос; 4–эжектор; 5–волновой дозатор порошкообразного компонента; 6–устройство первичной гидратации; 7–дозатор жидкого компонента; 8–дезинтегратор; 9–нагнетательный насос; 10–кавитационный проточный смеситель; 11–краны управления потоком с пневмоприводом; 12–приёмная ёмкость; 13–14–шкафы управления; 15–термостат; 16–компрессорная станция; 17–кран с пневматическим приводом; 18–соединительная арматура.

На стенде проведена работа по приготовлению геля на основе гуаровой камеди.

1. Показана возможность качественной гидратации гуаровой камеди за один проход (мгновенное перемешивание с водой в потоке вместо традиционного длительного перемешивания мешалками);

2. Показана возможность приготовления геля при пониженной температуре (5°C вместо рекомендуемых 20°C);
3. Показана возможность высокоточного автоматического дозирования гуаровой камеди в непрерывном режиме подачи.

Опубликование:

Панин С.С., Брызгалов Е.А., Яковенко Н.И. Исследование свойств минерального порошка, подвергнутого ступенчатой волновой обработке. СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ Международной конференции «МАШИНЫ, ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ», посвященной 85-летию ИМАШ РАН. Навстречу 300-летию Российской академии наук. МОСКВА. 23 ноября 2023 года. Стр. 53.

Панин С.С., Брызгалов Е.А., Яковенко Н.И., Довбненко М.С. Исследования волнового перемешивания компонентов стеклонеполненного композита с помощью волнового гидродинамического смесителя СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ Международной конференции «МАШИНЫ, ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ», посвященной 85-летию ИМАШ РАН. Навстречу 300-летию Российской академии наук. МОСКВА. 23 ноября 2023 года. Стр. 57

Панин С.С., Брызгалов Е.А., Яковенко Н.И., Довбненко М.С. Исследования возможности резонансного волнового воздействия на степень пропитки стекловолокна связующим на основе полиэфирных смол. СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ Международной конференции «МАШИНЫ, ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ», посвященной 85-летию ИМАШ РАН. Навстречу 300-летию Российской академии наук. МОСКВА. 23 ноября 2023 года. Стр. 56.

### **3. Экспериментально установлена возможность повышения седиментационной устойчивости дисперсной фазы наночастиц (ДНЧ) крахмала при помощи применения волновых технологий.**

Авторы: к.т.н. Ганиев С.Р., (499) 135-61-15, [bonovox2000@mail.ru](mailto:bonovox2000@mail.ru); к.т.н. Касилов В.П., (499) 135-55-01, [wkassilow@gmail.com](mailto:wkassilow@gmail.com); Кислогубова О.Н., (499) 135-34-44, [kobjakovinka@mail.ru](mailto:kobjakovinka@mail.ru); к.т.н. Бутикова О.А., (499) 135-34-44, [oskobeleva83@gmail.com](mailto:oskobeleva83@gmail.com); Кочкина Н.Е., (499) 135-34-44, [kochkinane@mail.ru](mailto:kochkinane@mail.ru)

С целью изучения возможностей применения волновых технологий для получения дисперсий наночастиц крахмала повышенной стабильности проведены сравнительные эксперименты:

- с использованием лабораторной лопастной мешалки ER 10 при скорости вращения 1000 об/мин;

- на волновом смесителе, разработанном в НЦ НВМТ РАН, с электромеханическим резонансным генератором колебаний (рис.1).

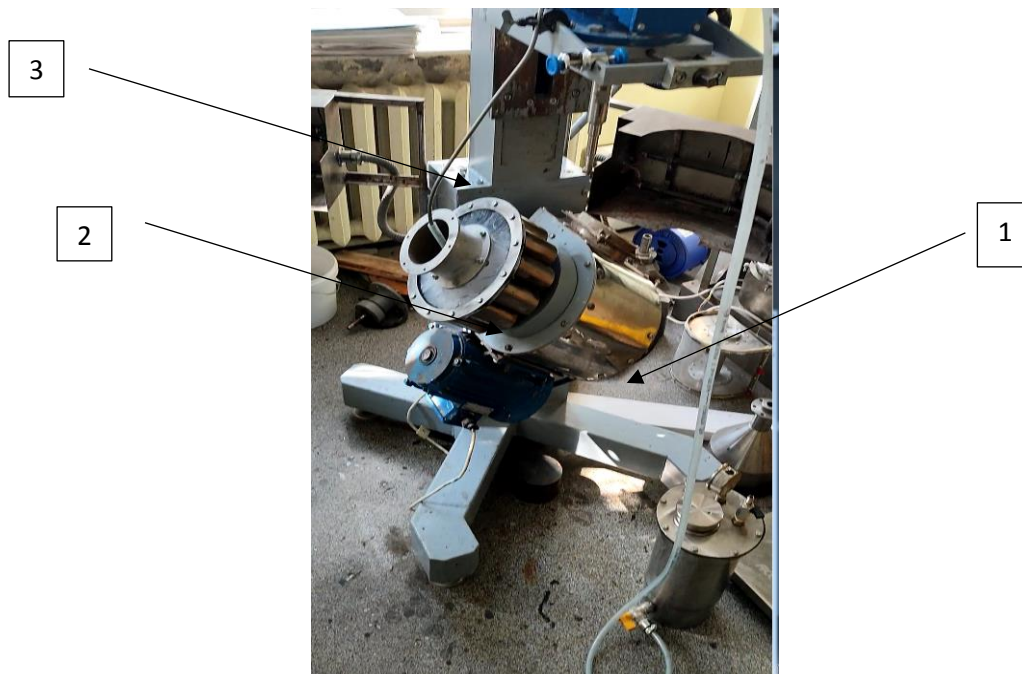


Рис. 1. Экспериментальная установка волнового смешивания: 1-волновая установка; 2 – волновой реактор; 3 – ввод этанола в реактор.

Полученные результаты, демонстрируют эффективность применения волновых резонансных воздействий для формирования седиментационно устойчивых ДНЧ крахмала различного происхождения и могут быть использованы в дальнейшем для создания высокоэффективных ресурсосберегающих технологий производства данных ДНЧ.

Опубликование:

Ганиев С.Р., Касилов В.П., Кислогубова О.Н., Бутикова О.А., Кочкина Н.Е. Применение волновых резонансных воздействий для интенсификации гидролиза крахмала под действием  $\beta$ -амилазы. СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ Международной конференции «МАШИНЫ, ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ», посвященной 85-летию ИМАШ РАН. Навстречу 300-летию Российской академии наук. МОСКВА. 23 ноября 2023 года. Стр. 32

Ганиев С.Р., Касилов В.П., Кислогубова О.Н., Бутикова О.А., Кочкина Н.Е. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ФЕРМЕНТАТИВНОГО ГИДРОЛИЗА КРАХМАЛА С ПОМОЩЬЮ ВОЛНОВЫХ РЕЗОНАНСНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Проблемы машиностроения и надежности машин. 2023. № 1. С. 68-74. Опубликовано 20 февраля 2023 г./<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50404793>

Ганиев С.Р., Касилов В.П., Кислогубова О.Н., Бутикова О.А., Кочкина Н.Е. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ФЕРМЕНТАТИВНОГО ГИДРОЛИЗА КРАХМАЛА С ПОМОЩЬЮ ВОЛНОВЫХ РЕЗОНАНСНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ/Проблемы машиностроения и надежности машин. 2023. № 1. С. 68-74. Опубликовано 20 февраля 2023 г./ <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50404793>

Ганиев С.Р., Касилов В.П., Кислогубова О.Н., Бутикова О.А., Кочкина Н.Е. Применение волновых резонансных воздействий для интенсификации гидролиза крахмала под действием  $\beta$ -амилазы. СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ Международной конференции «МАШИНЫ, ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ», посвященной 85-летию ИМАШ РАН. Навстречу 300-летию Российской академии наук. МОСКВА. 23 ноября 2023 года. Стр. 32

Кочкина Н.Е., Лукин Н.Д., Бутикова О.А. ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ СМЕСИ АЦЕТАТНОГО КРАХМАЛА, ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА И НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ХИТОЗАНА/Пищевая промышленность. 2023. № 7. С. 94-99. Опубл. 20.07.2023/<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54063808>



#### **4. Разработан глубинный импульсный электролизер для ударно-волнового воздействия на участки нефтяных пластов, с целью повышения нефтеотдачи.**

Авторы: чл.-корр. РАН Украинский Л.Е., (499) 135-55-26, [lukrainsky@mail.ru](mailto:lukrainsky@mail.ru); Устенко И.Г., (499) 135-61-51, [ustenko.ig@mail.ru](mailto:ustenko.ig@mail.ru)

Для возбуждения ударных волн в нефтяных скважинах был предложен глубинный импульсный электролизер. Принцип действия этого устройства заключается в разложении электролита, представляющим собой водный раствор щелочи, на водород и кислород под действием электролиза. Полученный газ накапливается в камере сгорания устройства, а затем поджигается искровым разрядом, что приводит к формированию ударной волны в пласте.

Устройство рассчитано для работы при давлении в скважине до 20 МПа и амплитуде ударной волны до 15 МПа. Оно включает в себя генератор стехиометрической смеси водорода с кислородом, камеру сгорания смеси водорода и кислорода при высоком давлении и систему зажигания, обеспечивающую инициирование горения водорода в кислороде за счет искрового разряда. Был создан и испытан в лабораторных условиях макет глубинного импульсного электролизера. Эксперименты показали работоспособность устройства.

Опубликование:

Украинский Л.Е., Устенко И.Г., Шамов Н.А. ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РЕПРЕССИОННО-ВОЛНОВОЙ КОЛЬМАТАЦИИ ОБРАЗЦОВ ИСКУССТВЕННОЙ ПОРОДЫ/Проблемы машиностроения и надежности машин. 2023. № 1. С. 3-15./https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50404787

Украинский Л.Е., Шамов Н. А., Устенко И.Г. Анализ результатов исследований процессов волнового и струйного способов кольматации. СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ Международной конференции «МАШИНЫ, ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ», посвященной 85-летию ИМАШ РАН. Навстречу 300-летию Российской академии наук. МОСКВА. 23 ноября 2023 года. Стр. 71.

#### **5. Установлена возможность применения волновых технологий, разработанных для ускорения приготовления буровых растворов на углеводородной основе.**

Авторы: д.т.н. Кузнецов Ю.С., (499) 135-55-35, [sultanov.d.r@yandex.ru](mailto:sultanov.d.r@yandex.ru); к.т.н. Султанов Д.Р., (499) 135-61-35, [sultanov.d.r@yandex.ru](mailto:sultanov.d.r@yandex.ru); к.т.н. Султанова И.Г., (499) 135-61-35, [sultanova.i.i@yandex.ru](mailto:sultanova.i.i@yandex.ru); к.т.н. Артамонов В.Ю., (499) 135-55-35, [vartamonov@bk.ru](mailto:vartamonov@bk.ru); Шульгина А.П., (499) 135-55-35, [orin.home@yandex.ru](mailto:orin.home@yandex.ru)

Эксперименты по приготовлению бурового раствора на углеводородной основе показали, что при применении волновых генераторов вихревого типа, параметры получаемого раствора лучше, чем при применении высокоскоростной лопастной механической мешалки. По полученным значениям параметров раствора, а также по приведенным микрофотографиям видно, что при использовании волнового генератора размеры глобул меньше на порядок, что подтверждает эффективность волнового способа приготовления раствора. Исходя из полученных результатов, также видно, что сразу после первого цикла прокачки через волновой генератор, достигаются необходимые параметры получаемого раствора, и после последующих циклов прокачки параметры раствора меняются незначительно.

Таким образом, волновую технологию возможно применять с целью существенной интенсификации процессов приготовления РУО с целевым показателем снижения времени приготовления более 50%.

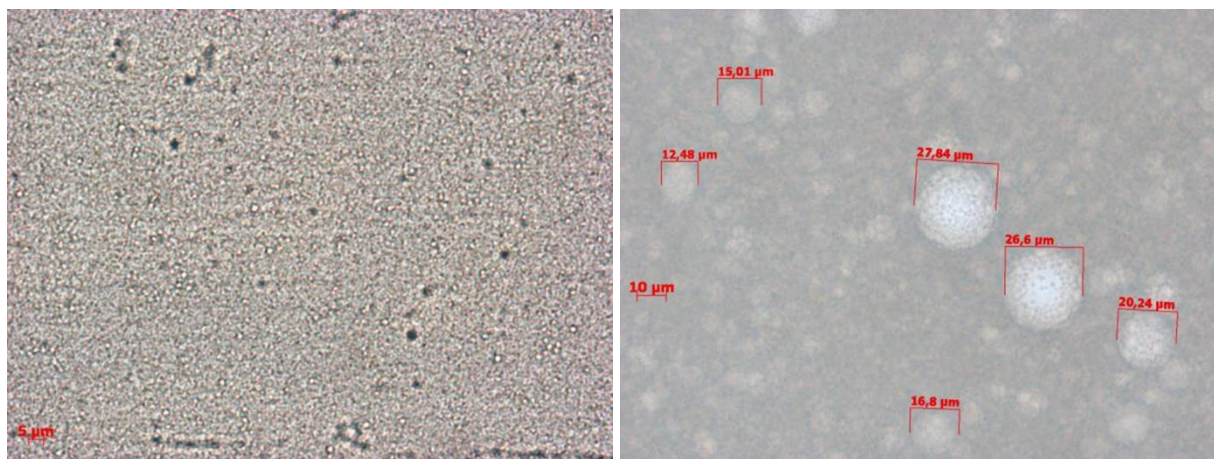


Рисунок 1 – Микрофотографии эмульсионной основы бурового раствора на углеводородной основе при приготовлении с использованием волнового генератора вихревого типа и высокоскоростной лопастной механической мешалки.

В целом, полученные результаты являются научно-технической базой для создания новой высокоэффективной промышленной волновой технологии приготовления буровых растворов на углеводородной основе.

Опубликование:

Кузнецов Ю.С., Кузнецов Р.Ю., Султанов Д.Р. Уникальная волновая технология получения сверхтяжёлых седиментационно-устойчивых буровых растворов. СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ Международной конференции «МАШИНЫ, ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ», посвященной 85-летию ИМАШ РАН. Навстречу 300-летию Российской академии наук. МОСКВА. 23 ноября 2023 года. Стр. 43.

Ганиев О.Р., Шамов Н.А., Султанов Д.Р., Султанова И.И. Волновые процессы в технологии спуска и цементирования обсадной колонны. СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ Международной конференции «МАШИНЫ, ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ», посвященной 85-летию ИМАШ РАН. Навстречу 300-летию Российской академии наук. МОСКВА. 23 ноября 2023 года. Стр. 25.

Аверьянов А.П., Султанова И.И., Урманчеев В.И. Волновая технология получения пересыщенного седиментационно-устойчивого солевого раствора повышенной плотности для глушения скважин. СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ Международной конференции «МАШИНЫ, ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ», посвященной 85-летию ИМАШ РАН. Навстречу 300-летию Российской академии наук. МОСКВА. 23 ноября 2023 года. Стр. 17.

Артамонов В.Ю., Крюков А.И., Султанова И.И. Разработка волновой технологии интенсификации приготовления буровых суспензий на углеводородной основе.

СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ Международной конференции «МАШИНЫ, ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ», посвященной 85-летию ИМАШ РАН. Навстречу 300-летию Российской академии наук. МОСКВА. 23 ноября 2023 года. Стр. 21.

Артамонов В.Ю., Султанов Д.Р., Шульгина А.П. Интенсификация обработки глинистых суспензий. СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ Международной конференции «МАШИНЫ, ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ», посвященной 85-летию ИМАШ РАН. Навстречу 300-летию Российской академии наук. МОСКВА. 23 ноября 2023 года. Стр. 22

## 6. Робот-манипулятор параллельной структуры семейства Delta

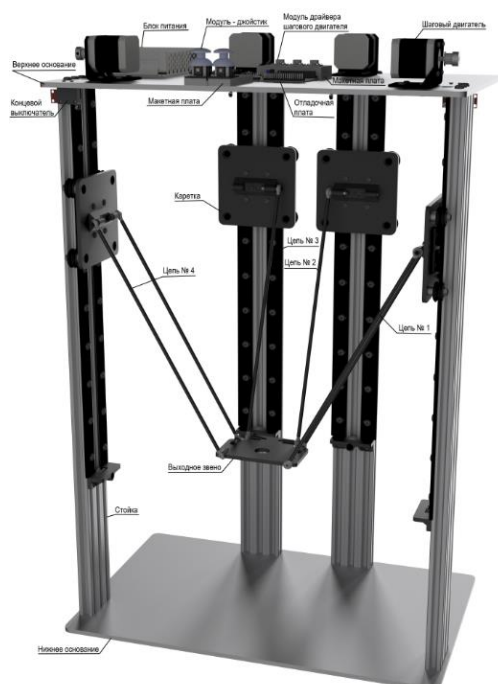
Авторы: Лаборатория теории механизмов и структуры машин, тел. (495) 628-8730, e-mail: [griboedova04@mail.ru](mailto:griboedova04@mail.ru), руководитель – д.т.н., проф. Глазунов В.А.

На основе созданной в ИМАШ РАН методологии синтеза и анализа структурных схем механизмов параллельной структуры семейства Delta разработан робот-манипулятор с четырьмя степенями свободы, выходное звено которого (подвижная платформа) может свободно перемещаться в пространстве в пределах рабочей зоны, а также имеет возможность поворота (наклона). Робот-манипулятор предназначен для позиционирования объектов массой до 10 кг в пределах 6 мкм (манипулируемая масса может быть увеличена). Каретки перемещаются по линейным направляющим, движение с шаговых двигателей передается через шариковинтовую передачу. Скорость перемещения кареток составляет до 3 м/мин и может быть увеличена. Экспериментально установлена повторяемость устройства по осям X, Y, Z в пределах 6 мкм (при перемещении выходного звена 150 мм). Для управления устройством используется контроллер с поддержкой Mach3, LinuxCNC.

Устройство может использоваться в качестве 3-D принтера аддитивного производства гибких многослойных печатных плат из полимерных материалов, для перемещения лазерной головки и др.

Опубликование:

Laryushkin, P. Kinematic and singularity analysis of a 4-DOF Delta-type parallel robot / P. Laryushkin, A. Fomin, A. Antonov // Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. — 2023. — Vol. 45, iss. 4. — P. 1–17 (№ 218). — DOI [10.1007/s40430-023-04128-7](https://doi.org/10.1007/s40430-023-04128-7).

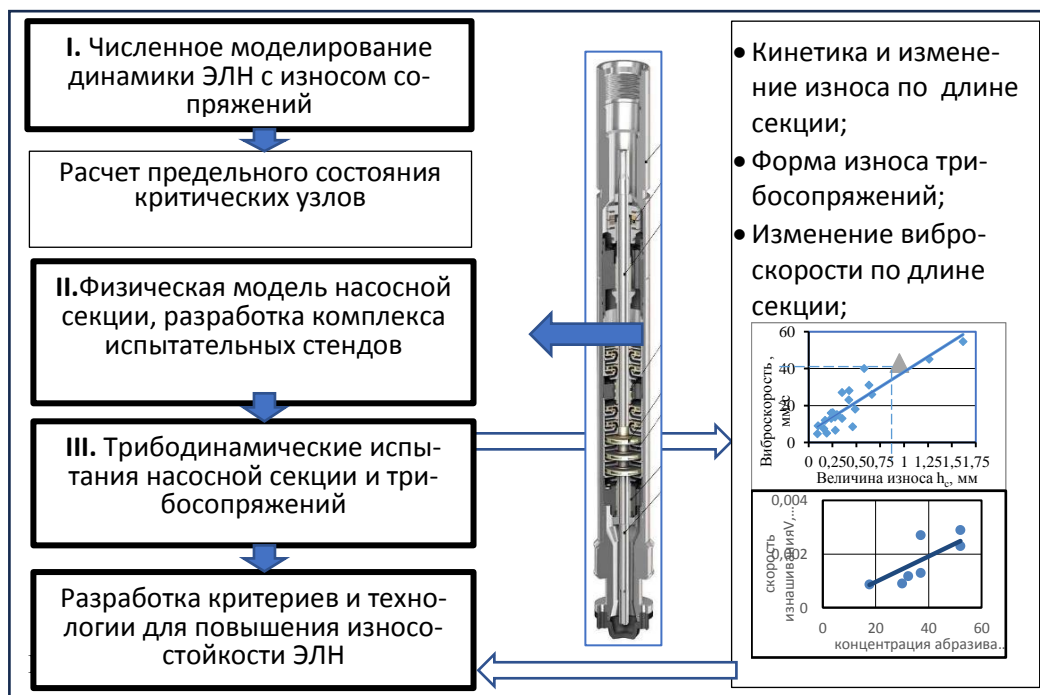


Робот-манипулятор параллельной структуры семейства Delta с четырьмя степенями свободы для аддитивных технологий

## 7. Разработана научная методология увеличения износостойкости электроприводных лопастных насосов при нестационарных условиях эксплуатации

Авторы: д.т.н., проф. Албагачиев А.Ю., (499) 135-40-97, [albagachiev@yandex.ru](mailto:albagachiev@yandex.ru); к.т.н. Смирнов Н.И., [smir1947@yandex.ru](mailto:smir1947@yandex.ru)

Разработана методология увеличения износостойкости электроприводных лопастных насосов при нестационарных условиях эксплуатации посредством трибодинамического анализа, включающего физическое моделирование изнашивания подвижных сопряжений при прецессии вала с использованием теории подобия, разработку расчетных зависимостей на основе суперпозиции абразивного и коррозионно-эрозионного изнашивания, экспериментальное исследование трибологических характеристик ступеней, подшипников и материалов с применением комплекса разработанных высокоэффективных испытательных стендов, в том числе для высокооборотных насосов (свыше 10000 об/мин). Структура работы представлена на рис.1.



Эффективность разработки неоднократно подтверждена при поэтапном внедрении промежуточных результатов в практику промышленных предприятий, а также при научном объяснении причин отказов оборудования.

Перспективным направлением внедрения результатов работы является прогнозная аналитика, технология «цифрового двойника» процесса изнашивания лопастных насосов, искусственные нейронные сети.

Опубликование:

Смирнов, Н. И., Дроздов, А. Н., & Смирнов, Н. Н. (2023). Трибодинамические аспекты ресурса электропогружных лопастных насосов для добычи нефти. *Записки Горного института*. EDN QNNAGA.

Смирнов Н.И. УЭЛН как трибодинамическая система: методы исследования / Н.И.Смирнов // *Neftegas.RU* №4(136). 2023, С. 46-51.

М.В. Прожега, Е.О. Константинов, Е.О. Рециков, А.Ю. Албагачиев, Н.И. Смирнов, Н.Н. Смирнов. Экспериментальная оценка момента сопротивления подшипника с перекрестными роликами в вакууме Трение и износ. 2023. – Т. 44, № 2. – С. 151–157. DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-2-151-157.

Албагачиев А.Ю., Смирнов Н.И. Моделирование эрозионного изнашивания погружных насосов . статья в публикации