



Российская Академия Наук

РФФИ



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
Отделение энергетики, машиностроения, механики и процессов управления
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук
Научный центр нелинейной волновой
механики и технологии РАН

Международная научная конференция
**«КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ
В МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»**
(Москва, 27-29 ноября 2012 г.)

*Материалы конференции
(Тезисы докладов)*

**Москва
2012**

ББК 22.236.35я431
УДК 531(063)
К602



Проект выполнен при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по проекту № 12-01-06101 г.

Издается при информационной поддержке журналов
«Проблемы машиностроения и автоматизации»
и «Проблемы машиностроения и надежности машин»

К602

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ В МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ: Материалы международной научной конференции / Под ред. акад. Р.Ф. Ганиева – М.: Изд-во «Институт компьютерных исследований», 2012. – 80 с.

Аннотация

В сборнике приведены тезисы докладов международной конференции «Колебания и волны в механических системах», которая прошла в Москве 27-29 ноября 2012 г.

ISBN 978-5-4344-0086-2

ББК 22.236.35я431
УДК 531(063)

© ФГБУН Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Д.М. Климов, В.И. Карев, Ю.Ф. Коваленко. Эффективность совместного применения волновой технологии и метода направленной разгрузки пласта для повышения дебита скважин	7 с.
В.Т. Гринченко. Регистрация и анализ звуков дыхания	7 с.
А.Н. Дмитриевский, И.А. Володин. Волновые процессы в природных геологических системах	9 с.
В.В. Остасевичус. Результаты исследования колебательных процессов в микросистемах, в материалорезании и в медицине	10 с.
Ю.М. Мацевитый. О научно-техническом сотрудничестве между ИПМАШ НАН Украины и ИМАШ РАН в свете международной деятельности научного парка «Наукоград-Харьков»	
К.М. Рагульскис. Движения систем, включая вибромоторы, возбуждаемых волнами и параметрически	11 с.
Р.Р. Ибатуллин. Проблемы разработки тяжелых нефтей и битумов	14 с.

СЕКЦИЯ 1. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ В ПРОЦЕССАХ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ, В ТОМ ЧИСЛЕ КОМПОЗИТОВ

А.Н. Романов. Сопротивление деформированию и разрушению конструкционных материалов при высокотемпературном циклическом нагружении и вибрационных воздействиях	14 с.
Т.С. Краснополская, Г.Я.Ф. Ван Хейст. Смешивание и сегрегация гранулированных сред в горизонтально вращающемся цилиндре	15 с.
Е.В. Ломакин. Теории деформирования композитных материалов с изменяющимися упругими свойствами	16 с.
Р.Р. Мулюков. Структура и свойства металлов и сплавов, подвергнутых деформационному наноструктурированию	17 с.
Р.Р. Мулюков, А.А. Назаров, Р.Ю. Сухоруков, Ф.З. Утяшев. Особенности конструкции раскатных станков для изготовления осесимметричных деталей из жаропрочных сплавов на основе Ni и Ti	18 с.
А.П. Пустовгар, С.Р. Ганиев, В.П. Касилов. Повышение эффективности технологического оборудования для производства гипсовых материалов	18 с.
С.Р. Ганиев, В.П. Касилов, А.П. Пустовгар. Волновые технологии в материаловедении	19 с.
В.П. Касилов, О.Н. Кислогубова, Д.В. Курменев. Получение тонких эмульсий контролируемого уровня дисперсности волновыми методами	19 с.
Б. Мардонов, Дж.К. Гафуров. Исследование деформированного состояния расположенных по винтовым линиям волокон в растянутой пряже	20 с.
Е.Б. Малюкова, В.Н. Фомин, О.А. Голикова, В.М. Горчакова, Ю.А. Беляев. Пропитка нетканых материалов с использованием волновой технологии	20 с.
Е.Б. Малюкова, В.Н. Фомин, В.П. Касилов, О.Н. Кислогубова. Получение стабильных эмульсий типа масло/вода с помощью волновых технологий	21 с.
Д.А. Индейцев, Ю.А. Мочалова. Локализация колебаний и диффузионный рост тонких пленок	21 с.
В.А. Падохин, Л.Е. Украинский, Н.Е. Кочкина. Закономерности формирования нанокompозитов на основе крахмала и Na-монтмориллонита в вибромельнице	26 с.
В.А. Падохин, В.П. Касилов, О.В. Лепилова, О.А. Скобелева. Интенсификация процесса экстрагирования пектиновых веществ из растительного сырья	26 с.
В.А. Падохин, В.П. Касилов, Н.Е. Кочкина, О.А. Скобелева. Интенсификация пропитки целлюлозных волокнистых материалов солями тугоплавких металлов	27 с.
В.И. Кормилицин, Л.Е. Украинский, И.Г. Устенко, В.В. Чередов, Н.Б. Юшков. Разработка фундаментальных основ конструкций аппаратов проточного типа, реализующих эффекты нелинейной волновой механики, для получения высокодисперсных эмульсий, высокостабильных жидких смесей и диспергирования	28 с.
И.Г. Устенко, Н.Б. Юшков. Волновая технология очистки, рафинации и депарафинизации растительных масел	28 с.
С.И. Алексеева, И.В. Викторова. Роль наследственной механики в решении задач конструкционного материаловедения	29 с.

Г.В. Москвитин, В.Е. Архипов, А.Ф. Лондарский, М.С. Пугачев, А.Ф. Мельшанов. Новые возможности газодинамического напыления покрытий	30 с.
Д.А. Жебынев, А.С. Корнеев. Волновое диспергирование газа в жидкости	31 с.
Р.В. Сафиуллин. Технология сверхпластической формовки и сварки давлением в ИПСМ РАН: Текущее состояние и перспективы	31 с.
В.В. Алисин. Резонансная технология в синтезе смазочных материалов на основе устойчивых дисперсий твердых наночастиц	32 с.
А.П. Ярлыков. Волновая технология мезо- наноструктурирования металлических сплавов крупногабаритных деталей	33 с.
С.С. Панин, Е.А. Брызгалов, Д.В. Курменев, Н.И. Яковенко. Волновое перемешивание вязких неньютоновских сред	34 с.
С.С. Панин, Е.А. Брызгалов, Д.В. Курменев, Н.И. Яковенко. Исследование воздействия колебаний на процессы измельчения твёрдых сыпучих сред.	34 с.
В.С. Николаенко, С.С. Панин, Е.А. Брызгалов, Д.В. Курменев, В.А. Шувалов, Н.И. Яковенко. Основы волнового разделения многофазных жидкостей близких по плотностям	34 с.
В.С. Николаенко, С.С. Панин, Е.А. Брызгалов, Д.В. Курменев, В.А. Шувалов, Н.И. Яковенко. Разработка технологии приготовления строительных материалов с повышенными требованиями по водонепроницаемости	35 с.
В.С. Николаенко, С.С. Панин, Е.А. Брызгалов, Д.В. Курменев, В.А. Шувалов, Н.И. Яковенко. Волновая технология при производстве диэлектриков	35 с.
В.С. Николаенко, С.С. Панин, М.В. Прокофьев, Е.А. Брызгалов, В.В. Войтко, Д.В. Курменев. Диэлектрические и магнитные свойства магнитодиэлектриков, полученных по волновой технологии	36 с.
В.С. Николаенко, С.С. Панин, Е.А. Брызгалов, В.В. Войтко, Д.В. Курменев, В.А. Шувалов, Н.И. Яковенко. Исследование микроструктур магнитодиэлектрика, полученного с использованием волновой технологии	36 с.
С.С. Панин, Е.А. Брызгалов, Д.В. Курменев, Н.И. Яковенко. Перемешивание дисперсных сыпучих сред с помощью методов нелинейной волновой механики	37 с.
А.В. Березин. Поведение трехслойных пластин из композиционных материалов при статических и вибрационных воздействиях	37 с.
А.М. Думанский. Идентификация упругих свойств однонаправленного углепластика	38 с.
А.Д. Шляпин, А.Н. Кравченков, И.А. Кравченкова, Р.А. Новоселов, С.Ю. Королев. Разработка нового антифрикционного материала на основе системы Al-Zn-Sn	38 с.
Б.М. Клименко, Д.Л. Раков. Процесс измельчения эластичных пенополиуретанов с их последующей утилизацией	39 с.

СЕКЦИЯ 2. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ В НЕФТЯНОМ И ГАЗОВОМ ДЕЛЕ. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТООТДАЧИ ПЛАСТОВ

Ю.С. Кузнецов, В.Ю. Артамонов, С.Р. Ганиев. Перспективы применения силикатных нанокompозитных материалов в технологии строительства нефтяных и газовых скважин	39 с.
В.Е. Андреев. Современные представления о методах повышения нефтеотдачи на месторождениях с трудноизвлекаемыми запасами	40 с.
О.В. Кравченко. Научно-практические основы методологии повышения эффективности технологий добычи и замещения углеводородных энергоносителей	41 с.
Р.Ф. Ганиев, В.М. Зайченко, И.Л. Майков, Л.Е. Украинский, О.Р. Ганиев. Научные основы повышения газоконденсатоотдачи пластов с помощью волновых воздействий	42 с.
Ю.Г. Матвиенко, М.А. Бубнов. Концепция осреднения напряжений в поиске траектории трещины.	42 с.
В.И. Кормилицын, С.Р. Ганиев, А.В. Бакурский, С.В. Лосев, Н.Б. Юшков. Перспективность волновой технологии приготовления энергетических топлив	43 с.
Л.А. Хаджиева, А.Б. Кыдырбекулы. О колебаниях буровых колонн при бурении неглубинных нефтяных скважин и их моделировании	43 с.
Л.Е. Украинский, И.Г. Устенко, Н.Б. Юшков. Использование волновых технологий гомогенизации эмульсий для интенсификации технологического процесса обессоливания нефти	44 с.
Л.Е. Украинский, О.Р. Ганиев, И.Г. Устенко. Волновой метод очистки призабойных зон продуктивных пластов от коагулирующих загрязнений. Критерий для оценки эффективности волнового воздействия	44 с.

Л.Е. Украинский, И.Г. Устенко, Н.В. Гун. Экспериментальное исследование влияния волновой обработки на фильтрационные процессы в пористой среде, насыщенной жидкостью.	45 с.
А.П. Аверьянов. Селективная изоляция продуктивных пластов	46 с.
А.П. Аверьянов, О.Р. Ганиев. Оптимизации гидравлических условий бурения и заканчивания скважин.	47 с.
Ю.С. Кузнецов, О.Р. Ганиев, Г.Н. Гранова. Экспериментальное обоснование волновой очистки призабойных зон продуктивных пластов	47 с.
Р.Ю. Сухоруков. Замена стальных труб полиэтиленовыми при строительстве скважин специального назначения	48 с.
В.Ю. Артамонов, Д.В. Апулин, С.М. Петров, Р.И. Резяпов. Способ разработки нефтяной оторочки нефтегазовой залежи.	48 с.
Ю.С. Кузнецов, В.Ю. Артамонов, Д.Р. Султанов. Разработка новых методов кольматации и упрочнения призабойной зоны пластов-коллекторов	49 с.
В.Ю. Артамонов, В.Н. Игнатъев, Д.Р. Султанов, И.И. Макарова. Управляемая волновая кольматация как способ упрочнения стенок скважины	50 с.
В.И. Урманчев, В.Ю. Артамонов, И.И. Агадуллин, А.С. Васильев. Экологическая опасность перетоков в нефтяных и газовых скважинах	50 с.
Ю.С. Кузнецов, С.Р. Ганиев, С.М. Петров, И.И. Макарова. Изоляции водонасыщенных пластов при бурении и эксплуатации скважин	51 с.
А.Ф. Аржанов, Р.Ю. Кузнецов, И.И. Макарова, О.Р. Резяпов. Обеспечение герметичности заколонного пространства скважин	52 с.
В.В. Маслов, В.Н. Сонин, Д.Р. Султанов, И.И. Макарова. Технология очистки призабойной зоны продуктивного пласта с применением волновой технологии	52 с.
Ю.С. Кузнецов, В.В. Маслов, Ю.П. Скворцов, Д.Р. Султанов. Усовершенствование конструкции наддольного устройства с целью повышения технико-экономических показателей при бурении	53 с.
В.Ю. Артамонов, С.М. Петров, Д.В. Апулин, Р.И. Резяпов. Разработка нефтяных оторочек скважинами с горизонтальным окончанием	53 с.
Ю.С. Кузнецов, О.Р. Ганиев, Д.Р. Султанов, С.М. Петров. Струйно-волновой кольмататор и материал кварц в технологиях повышения нефтеотдачи	54 с.
В.Ю. Артамонов, Д.Р. Султанов, А.С. Васильев. Технология щадящей кольматации в процессе углубления забоя	55 с.

СЕКЦИЯ 3. ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКЕ И МЕДИЦИНЕ, ВИБРОНАДЕЖНОСТЬ БЕСШУМНОСТЬ, ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА

Р.Ф. Ганиев, С.А. Бойцов, Д.Л. Ревизников, А.Н. Рогоза, Л.Е. Украинский, М.М. Лукьянов. Основы волновой функциональной диагностики сердечно-сосудистой системы человека	56 с.
Д.Л. Ревизников, А.Н. Рогоза, Ю.В. Сластущенский, И.Г. Устенко. Количественный анализ пульсовых явлений в артериальной системе	57 с.
Д.Л. Ревизников, Л.Е. Украинский, В.П. Касилов, И.Г. Устенко. Научные основы отечественного опытного образца аппарата Анализатор пульса для диагностирования сердечно-сосудистой системы человека на принципах нелинейной волновой механики	57 с.
А.К. Скворчевский, Е.И. Воробьев. Концепции создания алгоритмов управления антропоморфными биопротезами рук и ног	58 с.
М.Д. Перминов, В.А. Петушков, А.И. Надарейшвили. Точечные модели гамилтоновых динамических систем в биомеханике с использованием образов электромагнитного резонанса	58 с.
С.В. Петухов, О.В. Шмырков, А.С. Корнеев, Л.В. Хазина. Волновые воздействия на организм человека	59 с.
М.Я. Израилович, И.С. Явелов, А.В. Рочагов. Андроидные трубопроводы	59 с.
И.С. Явелов, А.В. Рочагов. Волоконно-оптические датчики пульсовой волны и вибросигналов сердца	60 с.
Ю. Торбек, Д.Л. Раков. Исследование волнообразного движения перспективных транспортных систем	61 с.
Ю.И. Бобровницкий, К.Д. Морозов, Т.М. Томилина, Б.Н. Бахтин, А.С. Гребенников, А.С. Жданов, М.П. Коротков, Ю.А. Фигатнер. Лабораторный эксперимент по акустическому стелсу	61 с.

А.В. Борисов, С.М. Рамоданов. Модель динамической адвекции	62 с.
О.И. Косарев. Колебания в системе: «механизмы-корпус-среда»	63 с.
О.И. Косарев, Г.В. Тарханов, Н.М. Остапшин, И.А. Бедный, А.Н. Себякина. Колебания конечной свободной цилиндрической оболочки в жидкости	65 с.
А.Е. Божко, З.А. Иванова, К.Б. Мягкохлеб. Модифицированная формула амплитуд вибраций якоря электромагнитного вибровозбудителя с осциллирующей нагрузкой	67 с.
О.Б. Балакшин, Б.Г. Кухаренко. Особенности возникновения и развития классического флаттера для лопаток ротора турбокомпрессора авиационных двигателей	72 с.
Б.Ф. Зайцев, Н.Г. Шульженко, П.П. Гонтаровский, Ю.И. Матюхин, Ю.Г. Ефремов. Оценка термочности, вибационного состояния и ресурса энергетических агрегатов	73 с.
Ю.И. Бобровницкий. Энергетические характеристики механических колебательных систем с внутренними скрытыми степенями свободы	74 с.
Р.С. Ахметханов. Комплексный метод оценки динамического состояния технических систем	75 с.
С.М. Каплунов, Н.Г. Вальес, Т.Н. Фесенко. Динамика конструкций аэрогидроупругих систем	76 с.
Е.В. Шахматов, Г.М. Макарьянц, А.А. Иголкин, А.И. Сафин. Визуализация виброакустических процессов в энергетических и транспортных объектах	77 с.
Е.В. Шахматов, А.Н. Крючков, Г.М. Макарьянц, С.А. Гафуров, И.А. Забрилин. Численный расчет гидродинамического шума центрального канала гасителя пульсаций давлений рабочей жидкости	78 с.
Е.В. Павловский. Сфероробот SpheROB: концепция, модель, эксперименты	79 с.
Ю.С. Воробьёв, М.В. Чернобрылко, В.Н. Романенко, Н.Ю. Овчарова. Численный анализ динамических процессов в паровых и газовых турбинах	80 с.
Р.Ф. Ганиев, Г.В. Москвитин, Л.Е. Украинский. Современное состояние и перспективы развития систем стабилизации волновых процессов СВП в трубопроводах	80 с.
Г.В. Москвити, А.В. Балашова. Некоторые результаты численного исследования напряженно-деформированного состояния СВП	81 с.
В.И. Апархов, М.А. Глушкова. Снижение уровней вибраций зубчатых передач на оборотных частотах	81 с.
В.А. Глазунов, С.В. Левин, К.А. Шалюхин. Изоморфный механизм параллельной структуры как технологический робот	81 с.
А.С. Жданов. Электронная ортогонализация векторов чувствительности трёхкомпонентного датчика вибрации с единым инерционным элементом	82 с.
К.Д. Морозов. Фазовая калибровка микрофонных трактов	82 с.
Т.М. Томилина, М.Л. Литвак, А.Б. Санин, Б.Н. Бахтин, А.С. Гребенников, М.М. Лактионова, С.Н. Пономарева. Экспериментальное исследование динамических свойств конструкций для современных научных приборов, работающих в условиях экстремальных нагрузок в космосе	83 с.
В.К. Асташов, Г.К. Корендяев. Термомеханическая модель возбуждения автоколебаний при обработке металлов резанием	83 с.
В.К. Асташев, В.Л. Крупенин, В.Н. Перевезенцев. Свойства поверхностных слоев наноструктурированных в результате виброударного авторезонансного течения	84 с.
В.Л. Крупенин. Волны и виброударные процессы в дискретных решетчатых конструкциях	85 с.
А.Г. Соколова, Ф.Я. Балицкий, М.А. Иванова, Г.В. Долаберидзе. Дискриминантный анализ вибраций как средство предупреждающего техобслуживания	85 с.
А.М. Шитов, И.М. Кондратьев, А.В. Орлов. Система сбора данных для оперативной вибродиагностики шпиндельных узлов	86 с.
В.Л. Афонин. Интеллектуальное управление при финишной обработке пера лопаток авиационных двигателей	86 с.
И.А. Разумовский, И.Н. Одинцев. Применение интерференционно-оптических методов для исследования нелинейных динамических процессов	87 с.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ВОЛНОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДА НАПРАВЛЕННОЙ РАЗГРУЗКИ ПЛАСТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДЕБИТА СКВАЖИН

JOINT APPLICATION OF WAVE TECHNOLOGY AND RESERVOIR DIRECTIONAL UNLOADING FOR INCREASE IN WELL PRODUCTION

Академик Д.М. Климов, директор, В.И. Карев, д.т.н., зам. дир., Ю.Ф. Коваленко, д.ф.м.н., зав. лаб.
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского
Российской академии наук (Москва)

Волновые технологии с использованием скважинных генераторов показали свою высокую эффективность для повышения нефтедобычи. Они основаны на возбуждении колебаний в жидкости в окрестности скважины, что способствует выносу из призабойной зоны твердых частиц и ее очистку. Однако, эффект от такого воздействия возможен при наличии связанной системы фильтрационных каналов и движения жидкости из пласта в скважину. В силу разных причин – кольматации при бурении, заиливания, запарафинивания пласта в процессе эксплуатации, пластического деформирования породы под действием сдвиговых напряжений - скважина часто оказывается окруженной почти непроницаемой зоной ("пробкой"). В этом случае гидродинамическая связь коллектора и скважины может быть восстановлена за счет создания новой искусственной системы фильтрационных каналов путем растрескивания породы с помощью направленной разгрузки пласта. Этот способ, получивший название «метод георыхления» и также прошедший успешную опытно-практическую апробацию, основан на свойстве большинства горных пород растрескиваться, дезинтегрироваться при возникновении в них касательных напряжений определенного уровня, что приводит резко необратимому увеличению их проницаемости. Необходимое для этого напряженное состояние может быть создано понижением давления в скважине в сочетании с предварительным проведением определенных технологических операций по формированию геометрии забоя (дополнительной перфорации, нарезания щелей и т.д.). Величина депрессии и конструкция забоя определяются путем предварительных испытаний образцов породы, вырезанных из керна данного месторождения, на Испытательной системе трехосного независимого нагружения (ИСТНН), созданной в ИПМех РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Христианович С.А., Коваленко Ю.Ф., Кулинич Ю.В., Карев В.И. Увеличение продуктивности нефтяных скважин с помощью метода георыхления // Нефть и газ Евразия, 2000, № 2, С. 90-94.
2. Карев В.И., Коваленко Ю.Ф. Новый подход к описанию деформационных и фильтрационных процессов в коллекторах нефтяных и газовых месторождений. В кн. Проблемы теории пластичности и геомеханики. М.: Наука, 2008. С. 301-313.
3. Климов Д.М., Карев В.И., Коваленко Ю.Ф. Роль напряжений в формировании эксплуатационных свойств скважин. В Сб. Актуальные проблемы механики. Механика деформируемого твердого тела. – М.: Наука, 2009. С. 470-476.
4. Ганиев Р.Ф., Украинский Л.Е. Нелинейная волновая механика и технологии. М.: ИКИ, 2011. - 780 с.
5. Karev, V.I. & Kovalenko, Yu.F. 2011. Triaxial loading system as a tool for solving geotechnical problems of oil and gas production. True Triaxial Testing of Rock: 301-310. Balkema, Leiden.

РЕГИСТРАЦИЯ И АНАЛИЗ ЗВУКОВ ДЫХАНИЯ

REGISTRATION AND ANALYSIS OF RESPIRATION SOUNDS

Академик НАН Украины В.Т. Принченко, д.ф.-м.н., директор
Институт гидромеханики НАН Украины (Киев, Украина)

Стимулом к изучению механизма генерации звуков дыхания и зависимостям их характеристик от различного типа патологий в респираторной системе человека является их высокая информативность и кажущаяся легкость их регистрации. Традиционные способы аускультации основываются на использовании стетофонендоскопа, как инструмента регистрации, и уха врача, как приемника. С этим связаны основные недостатки аускультации. Все механические стетофонендоскопы обладают существенно неравномерной частотной характеристикой (Рис.1) в частотном диапазоне характерных звуков дыхания, а человеческое ухо обладает низкой чувствительностью в этом диапазоне частот. Как видно из приведенного рисунка провалы в чувствительности могут достигать величины 15 дБ, что приводит к существенным искажениям информации.

Поскольку в звуках дыхания каждого человека существенно отражаются индивидуальные особенности организма, представляется важным сохранение звукового портрета конкретного пациента для последующего сравнения и анализа различий.

Устранить указанные недостатки и обеспечить врачу возможность повысить надежность диагностики возможно с использованием методов современной волновой механики и методов компьютерного анализа сложных сиг-

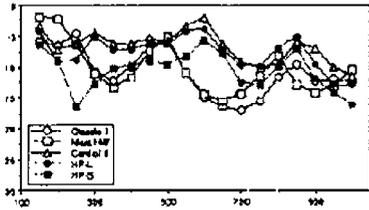


Рис. 1. Относительная чувствительность в дБ стетофонендоскопов различных фирм в полосе частот от 100 до 1000 Гц. (The data of Western Electro-Acoustic Laboratory, Inc., Santa Monica, CA)

налов. В докладе представлены данные о разработке специальных сенсоров для регистрации звуков дыхания в многоканальных компьютерных комплексах. Требования к весогабаритным характеристикам таких сенсоров сформированы на основе анализа решений динамических контактных задач для тел, моделирующих свойства поверхности человеческого тела. Используются, как приемники давления, так и приемники колебательной скорости (акселерометры) с пьезокерамическими чувствительными элементами. Сенсоры имеют требуемую для надежной регистрации частотную зависимость чувствительности. С их использованием в клиниках Киева накоплен значительный объем экспериментальных данных о характеристиках звуков дыхания.

Разработаны методы визуализации звуков дыхания (Рис.2) и составлены акустические образы типичных заболеваний респираторной системы. Такого типа визуализация особенно наглядна и практи-

тически полезна при использовании представления в широкой цветовой гамме с привязкой определенного цвета к интенсивности звука на заданной частоте. Определены частотные диапазоны, в которых содержится основная информация о состоянии респираторной системы.

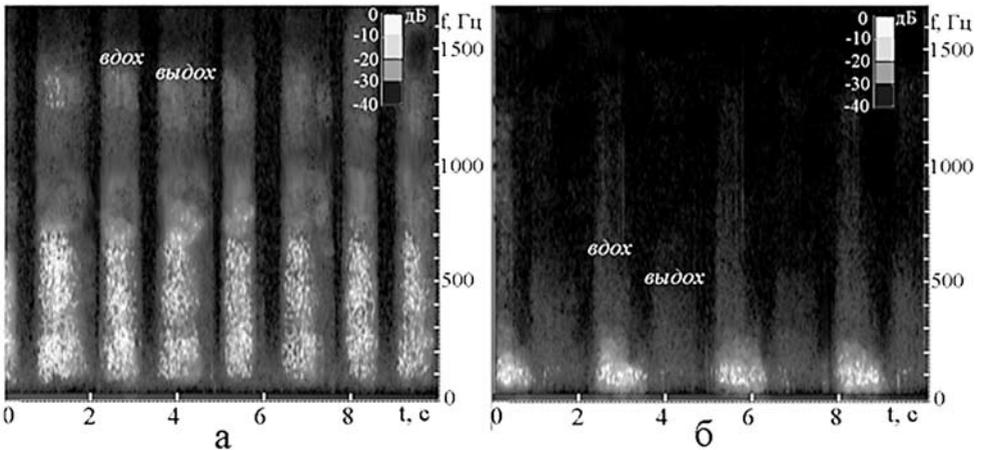


Рис. 2. Примеры визуализации характерных звуков дыхания: а-трахейные шумы, б-везикулярные шумы.

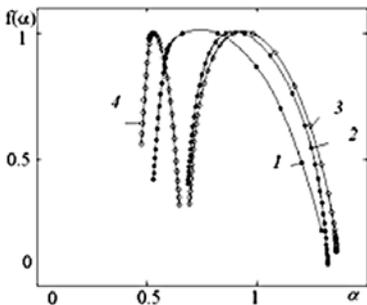


Рис.3. Спектр сингулярностей: 1 – шумов дыхания на трахеи, 2 – шумов дыхания под ключицей, 3 – шумов под ключицей, возникающих за счет растяжения-сжатия паренхимы при отсутствии дыхания, 4 – для случая, когда члены ряда, описывающего сигнал шумов дыхания под ключицей, случайным образом перемешаны.

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, целью которых было моделирование механизмов генерации звуков дыхания. Использование созданного экспериментального стенда позволило установить механизм генерации дополнительных звуков дыхания с выраженными дискретными частотными составляющими (свистами). Реализованы программы численного моделирования потоков воздуха в каналах с различными препятствиями.

Особое внимание уделено разработке методов анализа звуков дыхания, основанных на выявлении их мультифрактальных свойств. При этом удается решить проблему идентификации источников везикулярного дыхания. На рис. 3 приведены данные о спектрах сингулярности различных типичных звуков дыхания.

Предложены новые методы обработки данных о звуках дыхания. Создан компьютерный комплекс для регистрации и обработки звуков дыхания, разрешенный Минздравом Украины для клинического использования.

ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПРИРОДНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

THE WAVE PROCESSES IN NATURAL GEOLOGICAL SYSTEMS

Академик А.Н. Дмитриевский, д.г.-м.н., директор, И.А. Володин, д.ф.-м.н., зам. дир. по науке
Институт проблем нефти и газа РАН (Москва)

Геологические объекты – это открытые системы, функционирование которых определяется глобальными процессами энергетики, дегазации и динамики Земли. Геологические системы состоят из множества элементарных объектов. В результате постоянного энергетического воздействия в нелинейных диссипативных однородных по строению геологических системах формируются коллективные явления, что способствует переводу геологических систем в когерентное состояние. Геофизическими работами на глубинах 10-25 км установлены аномалии, характеризующиеся инверсиями сейсмических скоростей, изменениями электропроводности пород и другими эффектами. Эти аномальные зоны, представляющие собой трещиноватые породы, заполненные флюидами, предложено называть коровыми волноводами (КВ).

Изменение интенсивности энергетического воздействия отражается на степени открытости трещин и определяет особенности заполнения КВ флюидами. В коровых волноводах действуют механизмы дилатансии и компакций. Дилатансионный эффект связан с раскрытием трещин и заполнением КВ флюидами, в том числе глубинными углеводородами. В режиме компакций флюиды в большей или меньшей степени выжимаются из корового волновода и перемещаются в сторону меньших давлений в верхние горизонты земной коры, активно «промывая» осадочную толщу. Подобные процессы обеспечивают эффективный сбор микронепти в залежи. При этом в формирующемся месторождении могут аккумулироваться как нефть и газ органического происхождения, так и глубинные углеводороды.

Значительно чаще геология имеет дело с системами сложными, включающими многочисленные подсистемы и элементы, что отражает все многообразие природных процессов. Подсистемы и элементы единой целостной природной системы одного и того же геологического тела поразному реагируют на одно и то же энергетическое воздействие. Одни из них аккумулируют энергию, другие реагируют изменением структуры и параметров, третьи пропускают энергию, не задерживая и не изменяя ее. Но следует учитывать, что все они – элементы и подсистемы одной системы, разные по масштабам и неупорядоченные по распределению в структуре единой системы. И все эти элементы и подсистемы находятся в постоянном развитии и под воздействием меняющегося во времени эндогенного энергетического потока. Следовательно, каждая подсистема и элементы имеют свои энергетические параметры, меняющиеся во времени. Отсюда следует важный вывод, что геосистема в целом в масштабах геологического времени формирует некое обобщенное энергетическое поле, которое самоорганизуется за счёт элементарных энергетических полей подсистем и элементов сложно построенного неоднородного, но единого, целостного геологического тела. Это обобщенное поле мы назвали автоволновым полем, которое отражает состояние системы физических полей данного геологического тела. Оно саморегулируется и саморазвивается под влиянием постоянно меняющегося во времени энергетического потока.

При увеличении энергетического воздействия формируются энергоактивные зоны Земли (ЭАЗ). В этих зонах в результате преобразования восстановленных флюидов реализуется минеральный синтез углеводородов. Дальнейшая концентрация энергии переводит флюидно-энергетические системы в крайне неустойчивое, неравновесное состояние. Неустойчивость этих систем приводит к бифуркации и выбросу энергии и вещества. Подобные условия способствуют образованию зон разломов и каналов, по которым обеспечивается энергичный транспорт глубинных, в том числе углеводородных, флюидов и формирование их скоплений в верхних горизонтах земной коры.

Совершенствованы алгоритмы и методы эмиссионной сейсмической томографии, что позволяет:

- структурировать потоки эндогенной энергии,
- фиксировать энергетическое состояние геологической среды,
- отслеживать вертикальные перемещения солитонов в геологической среде в режиме реального времени,
- регистрировать автоволновую динамику геосреды, контролирующую флюидодинамические процессы,
- исследовать динамические характеристики электромагнитных пульсаций в ионосфере.

Разработаны теоретические основы комплексирования пассивных геофизических методов поисков и разведки месторождений углеводородов.

Активность ЭАЗ проявляется в физических полях. В частности, даже при малом (низкочастотном) воздействии от различных источников, которые постоянно присутствуют в недрах Земли, эти зоны начинают «светиться» в сейсмических и акустических диапазонах частот, вызывая сейсмоакустическую эмиссию. Природа эмиссии – трансформация собственной энергии среды в различных локально неустойчивых состояниях, которые становятся источниками излучения при различных воздействиях.

Метод эмиссионной сейсмической томографии позволяет наблюдать источники сейсмической эмиссии в объеме

геологической среды в режиме реального времени. Он был разработан в ИФЗ РАН для наблюдения за удаленными источниками в низкочастотном диапазоне. Метод усовершенствован в ИПНГ РАН и адаптирован к анализу более высоких частот для исследования месторождений нефти и газа. Стационарные ЭАЗ в литосфере проявляются в виде зон сейсмической эмиссии. Их существование обосновано пространственновременной стабильностью картины распределения энергии микросейсмических колебаний. При этом источники эмиссии локализованы и характеризуются четкими параметрами.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В МИКРОСИСТЕМАХ, В МАТЕРИАЛОРЕЗАНИИ И В МЕДИЦИНЕ

RESULTS OF INVESTIGATION VIBRATIONAL PROCESSES IN MICROSYSTEMS, MATERIAL CUTTING AND MEDICINE.

Академик АН Литвы В.В. Остасевичус, д.т.н

Каунасский технологический университет

A team of scientists from the Institute for Hi-Tech Development at Kaunas University of Technology have been conducting theoretical and experimental research activities in multiphysics simulation and dynamic characterization of rotary and elastic microstructures, optical MEMS sensor structures with deformable diffraction gratings for noninvasive detection of artery pulsation, vibration-driven piezoelectric energy harvesters for MEMS power supply and wearable inertial sensor devices for biomechanical applications with specific focus on vibro-impact interactions and advantageous exploitation of higher-order vibration modes. As a result, experimental prototypes of piezoelectrically-excited vibration turning/drilling/milling tools were designed, fabricated and tested. technology and dynamics-related problems. Research tasks are solved by applying finite element method for analysis of coupled mechanic-electric-fluidic interactions and noncontact vibration measurement techniques such as laser vibrometry and holographic interferometry. Joint application of numerical and experimental techniques allows to optimally tailor structural responses leading to improved performance of microdevices. Selected results of these investigations were published in 2011 by Springer in a monograph "Microsystems Dynamics". The most recent research efforts are targeted to studies on improvement of micro-cutting performance by means of effective tool mode control. The objectives include development of accurate computational and experimental models for identification of the most favorable vibration modes of micro-mills and drills in order to enhance micro-machining efficiency.

Simulation results obtained from the developed accurate finite elements models together with data from measurements of tool vibrations, cutting forces and workpiece surface roughness enabled identification of the most effective vibration control conditions based on rational exploitation of higher-order vibration modes of the tools. An effect of nonlinear mechanics was established indicating that excitation of a particular higher-order mode of a tool significantly increases energy dissipation inside tool material leading to suppression of deleterious vibrations thereby improving surface quality of the workpieces. The research group has also developed and patented surface quality control system based on analysis of cutting tool vibrations by means of acoustic emission method. In addition, results of optimization of vibro-impact systems led to the development of passive vibration cutting tools that are self-excited with high-frequency vibrations during cutting without the need for additional piezo-transducers and complex control electronics. Designs of passive vibration cutting tools were created on the basis of optimal modification of tool geometry. From practical point of view, optimally-shaped passive cutting tools have an advantage of lower maintenance costs in comparison to their active-type counterparts.

The developed passive and active vibration cutting tools have huge potential in the machining industry since they allow to increase cutting speed and surface quality, reduce tool wear and eliminate additional finishing operations. Due to structural and control peculiarities they are easily adaptable to standard machine tools. Furthermore, their deployment into industrial environment could provide favorable conditions to reduce consumption of environmentally-hazardous cooling-lubrication fluids thereby supporting "Green Manufacturing" in the machining industry.

Current research efforts are targeted to design, fabrication and testing of smart cutting tools equipped with a wireless sensor for monitoring and active control of a cutting process through exploitation of tool vibration signals.

A prototype of biomechanical inertial sensor device for real-time physical activity monitoring was designed, fabricated and tested in laboratory and field conditions. An experimentally-verified finite element model of a MEMS accelerometer was built for accurate prediction of vibrational behavior of the inertial sensor device under varying excitation signals when various body movements are executed during physical exercising. A research work was performed to analyze influence of skin

rheological properties on dynamic response of the device. Reduced model was created and used for generating an algorithm for minimization of soft tissue related artifacts in practical physical activity monitoring applications. The model was validated against experimental data and in combination with the MEMS accelerometer model, it makes a virtual measurement tool providing results in agreement with the output of industrial inertial sensors. The model was used to determine the optimal location of the sensor device on a human body by evaluating the influence of skin rheology on measurement accuracy.

A concept of MOEMS-based sensor device was recently proposed for noninvasive registration of radial artery displacement. Fabrication technology of MOEMS sensing element was developed using photolithography, plasma etching and thermal annealing for reduction of residual stresses in microstructures. Experimental study with CCD laser triangulation sensor and full-field projection moiré technique was performed for proof of concept and confirmed its applicability for characterization of various critical parameters such as blood velocity, blood viscosity and pulse rate. Subsequent filtering of the measured dynamic signals would allow to distinguish different radial pulse types in patients providing the conditions for more accurate identification of various health problems.

О НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОМ СОТРУДНИЧЕСТВЕ МЕЖДУ ИПМАШ НАН УКРАИНЫ И ИМАШ РАН В СВЕТЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАУЧНОГО ПАРКА «НАУКОГРАД-ХАРЬКОВ»

ISSUES OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL CO-OPERATION BETWEEN IPMASH NASU AND IMASH RAN IN THE LIGHT OF INTERNATIONAL ACTIVITIES OF THE SCIENCE PARK “NAUKOGRAD – KHARKOV”

Академик НАН Украины Ю.М. Мацевитый, д.т.н., директор

Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины (Харьков, Украина)

Важную роль в инновационном развитии экономики России и Украины играет научно-техническое сотрудничество между ведущими научно-исследовательскими центрами РАН и НАНУ. В этом плане контакты и налаживание представляющих взаимный интерес связей между ИМаш и ИПМаш приобретает не только профессиональный, но и в какой-то мере знаковый характер. В рамках научно-технического сотрудничества между нашими институтами заключено 11 договоров между отделами и лабораториями, посвященных исследованиям по разработке управляемых виброударных систем, методов неразрушающего контроля, методов расчетов на прочность, методов диагностики вибрационных состояний и оценки ресурса машиностроительных конструкций, а также исследованиям в области альтернативной энергетики и нетрадиционных энерготехнологий.

Эти исследования легли в основу наших совместных проектов, представленных соответственно в фонды фундаментальных исследований РФ и Украины, а также проектов, направляемых Научным парком «Наукоград-Харьков» в формируемую межгосударственную программу инновационного сотрудничества государств-участников СНГ на период до 2020 г.

VIBROMOTORS BASED ON WAVES AND PARAMETRIC EXCITATION

Академик АН Литвы, член-корр. РАН К.М. Рагульскис

Каунасский технологический университет

A number of designs and structures of vibromotors were created which influence progress in engineering. Here analytical – numerical methods are presented, which enable to reveal some new qualities and create enhanced structures of vibromotors based on wave and parametric excitations.

1. Transportation by waves

The system with one degree of freedom is presented, in which the travelling transverse and longitudinal waves excited in one body give stepping linear motion to the output system by the contact way (Fig. 1).

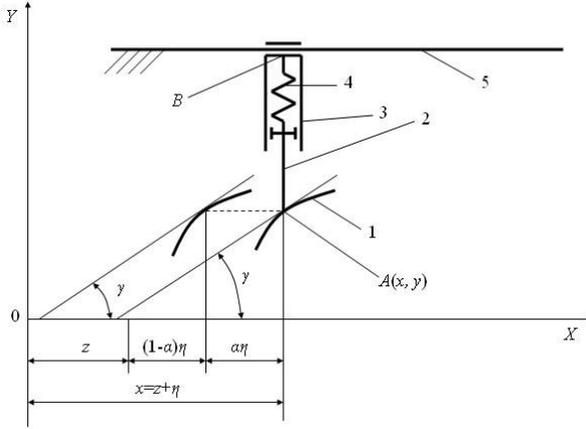


Fig. 1. Wave motor: 1 – profile of the input member, 2 – the output member and its 3 – case of the directing part, 4 – pressing spring, 5 – immovable directing parts

The waves are described by the following equations:

$$\eta \left[\omega t - k x - \eta \right], \xi \left[\omega t - k x - \alpha \eta \right], \quad (1)$$

where the longitudinal η and transverse ξ waves are periodic functions of their arguments,

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}, \lambda \text{ is the wavelength, } \alpha \in 0, 1. \quad (2)$$

By changing the implicit functions of variables into the explicit functions of variables by using the method of small parameter in a number of cases the analytical and analytical – numerical investigations were essentially simplified.

In the equations by assuming $\eta \equiv \varepsilon \eta$, where ε is a small parameter, and expanding into a power series:

$$\begin{aligned} \eta &= \eta \left[\omega t - k x - \varepsilon \eta \right] = \eta_0 + \varepsilon k \eta_0 \eta_0' + \varepsilon^2 \dots, \\ \xi &= \xi \left[\omega t - k x - \varepsilon \alpha \eta \right] = \xi_0 + \varepsilon \alpha k \eta_0 \xi_0' + \varepsilon^2 \dots, \end{aligned} \quad (3)$$

where:

$$\eta_0 = \eta \left(\omega t - k x \right), \xi_0 = \xi \left(\omega t - k x \right), ' = d/d \left(\omega t - k x \right), \dot{} = d/d t. \quad (4)$$

In the case when contact transportation takes place the following differential equation of motion is obtained:

$$\begin{aligned} 1 + \mu \ddot{x} + f_x - k \xi' \left[\dot{y} + p^2 \xi + b \right] + k \xi' \left[1 + \mu \ddot{x} + f_x \right] + \dot{y} + p^2 \xi + b \cdot \\ \cdot f_0 \operatorname{sgn} \dot{x} - \omega \eta' + h \left(1 + k^2 \xi'^2 \right) \dot{x} - \omega \eta' = 0, \end{aligned} \quad (5)$$

where:

$$\dot{y} = \omega - k\dot{x} \xi' + \omega k \eta' \xi',$$

$$\ddot{y} = -k\ddot{x} \xi' + \omega - k\dot{x}^2 \xi'' + \omega - k\dot{x} k \eta' \xi' ',$$

(6)

$$\eta' = \eta_0' + \varepsilon k \eta_0 \eta_0' ' + \varepsilon^2 \dots,$$

$$\xi' = \xi_0' + \varepsilon \alpha k \eta_0 \xi_0' ' + \varepsilon^2 \dots$$

(7)

By using an approximate analytical method the steady state motions of the following type are analyzed:

$$x = \bar{x}t + \bar{x} + \tilde{x},$$

(8)

where \bar{x} and \bar{x} are constant quantities, \tilde{x} is a varying function of time with an average value equal to zero.

More complicated motions were analyzed by analytical – numerical methods.

2. Transportation by using parametric excitation

The motion of the analyzed system is described by a differential equation of the following type:

$$J \varphi \ddot{\varphi} + 0.5J'_{\varphi} \varphi \dot{\varphi}^2 + \Pi'_{\varphi} \varphi + D'_{\varphi} \varphi, \dot{\varphi} = M_1 \varphi \cdot M_2 t ,$$

(9)

where the functions are periodic functions of their arguments with respect to φ and t respectively.

In detail the following separate case was analyzed:

$$\ddot{\varphi} + h_0 \operatorname{sgn} \dot{\varphi} + h_1 \dot{\varphi} + a \sin \varphi + b \cos \varphi \cos \omega t = 0.$$

(10)

Approximately by using an analytical method steady state motions of the following type were analyzed:

$$\varphi = \frac{m}{n} \omega t + \bar{\varphi} + \tilde{\varphi},$$

(11)

where $\bar{\varphi} = \text{const}$, $\tilde{\varphi}$ is a function of time with an average value equal to zero, $m, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, m \leq n$.

More complicated motions were analyzed by using numerical methods.

Conclusions

By approximately changing the implicit functions of their variables into explicit ones it was possible to simplify the investigations.

By using analytical methods the conditions of existence and stability of some types of steady state motions and dynamical qualities of systems were approximately determined.

By using numerical methods some complicated motions, among them multi-valued and of chaotic type, were analyzed and their qualities were investigated. Methods of control of some types of regimes of motion were determined and recommendations for their implementation were provided.

ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ТЯЖЕЛЫХ НЕФТЕЙ И БИТУМОВ

HEAVY OIL AND BITUMEN DEPOSITES DEVELOPMENT PROBLEMS

Академик АН РТ Р.Р. Ибатуллин, д.т.н., директор
ТатНИПИнефть (Бугульма)

В докладе представлены проблемы и их решения для разработки залежей тяжелых нефтей и битумов. Описаны термические методы и новые технологии их реализации в различных геолого-физических условиях.

Наибольшее количество проектов в мире по разработке месторождений тяжелых нефтей и битумов связано с применением термических методов.

К термическим методам принято относить:

- 1) закачку горячей воды;
- 2) закачку пара;
- 3) внутрислоевого горения.

Важной особенностью первых двух технологий является то, что эффект от их применения существенно отложен во времени. Пока значительный объем пласта не будет прогрет, заметного эффекта от воздействия не будет. Поэтому нередко эти технологии используются в виде тепловых обработок призабойных зон добывающих скважин, причем даже при воздействии паром, горячей водой и горением в качестве МУН, на первом этапе нередко проводятся тепловые ОПЗ добывающих и нагнетательных скважин до создания между ними гидродинамической связи.

В настоящее время развиваются ряд новых методов повышения эффективности термических технологий, к которым можно отнести:

- электровоздействие,
- внутрислоевый up-grading (улучшение качества извлекаемой нефти)
- воздействие акустическими волнами (АВ)
- воздействие сверхвысокочастотными волнами (СВЧ).

В докладе описаны новые технологии и их реализация в промысловых условиях.

В процессе реализации парогравитационного воздействия.

Новый толчок развитию технологий разработки тяжелых нефтей и битумов придаст принятие льготы по экспортной пошлине. С 1.07.12 она составит только 10% для нефти вязкостью более 10000 спз сроком на 10 лет. Она позволит еще более быстрыми темпами развернуть разработку таких ресурсов в РФ, насчитывающих до 80 млрд. т.

СЕКЦИЯ 1

СОПРТИВЛЕНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЮ И РАЗРУШЕНИЮ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ И ВИБРАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

RESISTANCE OF CONSTRUCTIONAL MATERIALS TO DEFORMATIONS AND DESTRUCTIONS UNDER HIGH TEMPERATURE CYCLIC LOADING AND VIBRATIONAL IMPACT

А.Н. Романов, д.т.н., зам. дир.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Приведены результаты экспериментальных исследований влияния высокотемпературного нагрева и программно-нагружения в условиях малоциклового деформирования, в том числе при наличии вибрационных воздействий.

Показано, что форма цикла (нагружение с временными выдержками без наложения нагрузки и с наложением вибрационной нагрузки в зависимости от полцикла растяжения или полцикла сжатия) существенно влияет на долговечность материала: наложение вибронагрузки в полциклах растяжения в большей мере активизирует процессы виброползучести, чем наложение в полциклах сжатия. При этом даже незначительные по величине вибрационные воздействия значительно активизируют процессы виброползучести на стадии инициирования трещин.

На стадии развития трещин при циклическом высокотемпературном нагреве и циклическом нагружении, как и на стадии образования трещин, вибрационные воздействия в полциклах растяжения и сжатия оказывают различное влияние на скорость распространения трещины в зависимости от знака действующей нагрузки. При этом скорость распространения трещин существенно зависит от частоты накладываемых вибраций.

СМЕШИВАНИЕ И СЕГРЕГАЦИЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ СРЕД В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ВРАЩАЮЩЕМСЯ ЦИЛИНДРЕ

MIXING AND SEGREGATION OF GRANULAR MEDIA IN HORIZONTAL ROTATING CYLINDER

Т.С. Краснопольская¹, д.ф.-м.н., в.н.с., академик Нидерландской АН Г.Я.Ф. Ван Хейст², д.н., зав. кафедрой

1. Институт гидромеханики НАНУ, Украина.

2. Технический университет Эйндховена, Нидерланды

There are many effects which are characteristic for flows both in fluids and granular media in a horizontal rotating circular cylinder. Eight classes of similar patterns in fluid and in granular mixtures were found experimentally, namely: vortex-like patterns, deformation of rear and leading fronts of a layer, shark-teeth patterns, fish-like patterns, the formation of rotating layers, disk-like and ring-like patterns.

Novel phenomena in axial segregation of a binary granular medium have been discovered experimentally. Laboratory experiments were carried out in a partially filled cylinder (inner diameter 9 cm, length 45 cm, filled volume fraction 40%) rotating at relatively high speed, close to the centrifugal regime of nearly solid-body rotation, in which the granular medium occupies an annular volume. The initially well-mixed medium (consisting of white glass beads of 0.25 – 0.42 mm diameter and orange glass beads of 1.5 mm diameter) shows axial segregation in the form of banded structures in the particle distribution: regions of densely packed small particles are surrounded by bands of less densely packed larger particles. For an observer the segregation is visible as a number of alternating white and orange rings. Close inspection revealed that each ring of small particles is accompanied by two counter-rotating rolls on either side. Under certain experimental parameter settings we observed a novel, fascinating time-dependent behaviour of the cellular segregation pattern. The material initially showed a steady segregation pattern consisting of 15 bands of white particles. Upon decreasing the rotation speed stepwise (in this case from 160 rpm to 153 rpm) the segregation pattern changed markedly: as visible in the CCD recording, some neighbouring bands merged, thus decreasing the number of light particle bands to four. This newly formed pattern is not steady, however, and new bands are observed to form at more or less regular time intervals. After a number of revolutions, these newly formed bands shift in axial direction, upon which they merge with one of the main bands. This process is repeated many times. In the final state the segregation has taken the appearance of only a single ring of white particles: close inspection by eye revealed that this ring is accompanied by two counter-rotating rolls on either side, with the white particles accumulation indicating flow convergence. At the same time, new secondary bands are seen to form on either side of this primary band at regular time intervals, upon which they move towards the primary structure and merge. For an explanation of such segregation phenomena we may fully apply the theory suggested by Forterre & Pouliquen (2002) for the appearance of longitudinal vortices in rapid granular flows along an inclined plane.

Существует много эффектов, которые характерны для течений в жидкости и сыпучих средах в горизонтально вращающемся круговом цилиндре. Восемь классов подобных структур было обнаружено экспериментально в жидкости и гранулированных смесях, а именно: вихреобразные структуры, деформация задней кромки и переднего фронта слоя, структуры типа зубы акулы, рыбоподобные структуры, создание вращающихся слоев, диско- и кольцеобразные структуры.

Новое явление было обнаружено при сегрегации вдоль оси цилиндра в двухкомпонентной гранулированной среде. Эксперименты проводились с частично заполненным цилиндром (с внутренним диаметром - 9 см, длиной - 45 см при 40% его заполнении), вращающемся со сравнительно высокими скоростями, близкими к режиму почти твердотельного вращения сыпучей среды, когда гранулированная среда оккупирует объем между двумя цилиндрическими поверхностями. Первоначально хорошо перемешанная среда (состоящая из белых стеклянных шариков диаметра 0.25 – 0.42 мм и оранжевых стеклянных шариков диаметра 1.5 мм) при вращении имела сегрегацию в виде полосатой вдоль оси структуры: области плотно упакованных малых белых шариков сменялись областями менее плотно упакованных оранжевых шариков. Для наблюдателя сегрегация представлялась в виде перемежающихся белых и оранжевых колец. При близком рассмотрении обнаруживалось, что каждое кольцо мелких шариков окружено с двух сторон зонами, конвективно вращающимися в противоположном направлении вдоль оси. При определенных скоростях вращения наблюдалась завораживающая картина изменяющейся во времени ячеистой сегрегации. Среда, в начале эксперимента показывающая устойчивую сегрегацию из 15 белых и оранжевых колец, при уменьшении скорости вращения (с 160 вращений в минуту до 153 ввм) существенно меняла структуру сегрегации, уменьшая число колец, что фиксировалось цифровой камерой. Новая структура сегрегации являлась неустойчивой. После долгого вращения плотные кольца белых частиц начинали двигаться в осевом направлении, сливаясь друг с другом. Между белыми кольцами регулярно появлялись фронты белых частиц, которые двигались вдоль оси в вихревых зонах к белым уже существующим кольцам. Окончательно этот процесс заканчивался образованием только одного белого кольца, окруженного оранжевыми областями, в которых периодически появлялись белые фронты частиц,двигающихся к этому стационарному белому кольцу. Для объяснения описанного явления сегрегации полностью применима теория появления продольных вихрей в быстрых гранулированных течениях на наклонной плоскости, созданная Фортер и Пулико (Forterre Y., Pouliquen O. Stability analysis of rapid granular chute flows: formation of longitudinal vortices. // JFM. 2002. 467. 361-387).

ТЕОРИИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИЗМЕНЯЮЩИМИСЯ УПРУГИМИ СВОЙСТВАМИ

THEORIES OF DEFORMATION FOR COMPOSITE MATERIALS WITH VARIABLE ELASTIC PROPERTIES

Член-корр РАН Е. В. Ломакин

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Институт машиноведения РАН (Москва)

Многие материалы обнаруживают зависимость деформационных свойств от условий нагружения и деформирования. Чаще всего такую зависимость связывают с различием модулей упругости при растяжении и сжатии, но одноосное растяжение и одноосное сжатие — это всего лишь два из бесконечного множества видов напряженного состояния. Поэтому при построении определяющих соотношений для описания поведения материалов, обладающих такими свойствами, необходимо учитывать все многообразие значений деформационных характеристик при произвольных видах напряженного состояния. Данные эффекты проявляются при исследовании свойств пористых, трещиноватых, неоднородных материалов, таких как конструкционные графиты, упрочненные частицами и волокнистые композитные материалы, в частности, композиты углерод-углерод, бетон, горные породы и другие.

Физическая природа данного явления может быть различной. Например, тело, содержащее трещины, имеет в условиях действия растягивающих напряжений большую податливость, чем при действии сжимающих, поскольку при сжатии берега трещин смыкаются. При этом наибольшую податливость тело имеет в условиях равномерного трехосного растяжения, поскольку все микротрещины раскрываются и эффективная площадь поперечного сечения, несущая нагрузку, минимальна. При различных видах двухосного растяжения податливость меньше, так как только часть микротрещин раскрывается. Аналогичный анализ можно провести применительно к случаям действия сжимающих напряжений, принимая во внимание относительные перемещения берегов трещин и возможное трение на их поверхностях. Применительно к пористым материалам можно установить, что если характер пористости, а также упругие свойства частиц наполнителя и связующего таковы, что при сжатии площадь контакта частиц увеличивается, то жесткость материала в условиях сжимающих напряжений выше, чем при действии растягивающих.

Другой механизм реализуется, например, в композитах углерод-углерод на тканевой основе или с трехосным плетением волокон. Данные композиты, как правило, имеют значительную пористость. При растяжении волокна натягиваются, а при сжатии они могут выпучиваться в пространстве пор, механизм деформирования меняется и в результате жесткость при растяжении выше, чем при сжатии. Зависимость упругих характеристик от вида напряженного состояния определяется свойствами армирующей среды и связующего, а также характером дефектов структуры.

В качестве параметра, характеризующего вид напряженного состояния, выбрано отношение гидростатической компоненты напряжения $\sigma = \frac{1}{3} \sigma_{ii}$ к интенсивности напряжений $\sigma_0 = \sqrt{\frac{3}{2} S_{ij} S_{ij}}$, где

$S_{ij} = \sigma_{ij} - \sigma \delta_{ij}$, получившего в научной литературе название параметра трехосности напряженного состояния. Этот параметр характеризует в среднем соотношение между нормальными и касательными напряжениями в среде. Рассмотрены определяющие соотношения для изотропных материалов, чувствительных к виду напряженного состояния, включающие в себя, как частный случай, соотношения для классического упругого тела:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{ij} &= \frac{3}{2} [A + \omega(\xi)] S_{ij} + \frac{1}{3} [B + \Omega(\xi)] \sigma \delta_{ij}, \\ \omega(\xi) &= -\frac{1}{2} (A + B \xi^2) \zeta'(\xi) \xi + A \zeta(\xi), \\ \Omega(\xi) &= \frac{1}{2} (A + B \xi^2) \zeta'(\xi) / \xi + B \zeta(\xi). \end{aligned}$$

где $A = (1 + \nu) / 2E$, $B = 3(1 - 2\nu) / E$.

Проанализирована справедливость для рассматриваемых материалов некоторых теорем теории упругости. Сформулированы условия единственности решения краевых задач. Данные соотношения представляют собой специальный вариант соотношений нелинейной теории упругости.

Рассмотрен возможный вариант определяющих соотношений теории упругости для анизотропных тел, деформационные характеристики которых зависят от вида напряженного состояния,

$$\varepsilon_{ij} = A_{ijkl}(\xi) \sigma_{kl} + \frac{1}{2} A'_{mnpq}(\xi) \sigma_{mn} \sigma_{pq} \left[\left(\frac{1}{3} + \frac{3}{2} \xi^2 \right) \delta_{ij} - \frac{3}{2} \xi \sigma_{ij} \sigma_0^{-1} \right] \sigma_0^{-1}$$

Данные соотношения в отсутствие анизотропии совпадают с предложенными соотношениями для изотропных тел. Разработана методика определения коэффициентов анизотропии и функции параметра трехосности напряжен-

ного состояния. Проанализированы результаты испытаний образцов композита стеклоткань - полиэфирная смола при разных видах нагружения. Продемонстрировано вполне удовлетворительное соответствие между расчетными значениями коэффициентов деформации и экспериментальными данными.

С помощью метода последовательных приближений получены решения задач изгиба прямоугольных пластин при действии поперечной нагрузки. Исследовано влияние чувствительности свойств материала к виду напряженно-состояния на прогиб и максимальные значения растягивающих и сжимающих напряжений в пластине. Показано, что в прямоугольной пластине, деформационные свойства которой чувствительны к виду напряженного состояния, прогибы всегда меньше, чем в пластине из материала, подчиняющегося уравнениям классической теории упругости. При этом распределения напряжений по толщине пластины и в частности их максимальные значения существенно отличаются от решений, получаемых на основе уравнений линейной теории упругости.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 11-01-00168.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ ПОДВЕРГНУТЫХ ДЕФОРМАЦИОННОМУ НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЮ

STRUCTURE AND PROPERTIES OF METALS AND ALLOYS AFTER DEFORMATIONAL NANO- STRUCTURIZATION

Р.Р. Мулюков, д.ф.-м.н., директор
Институт проблем сверхпластичности металлов РАН (Уфа)

После более чем двадцатилетних исследований ультрамелкозернистых (УМЗ) и наноструктурных (НС) материалов, полученных деформационными методами, эти исследования входят в стадию применения в промышленных технологиях. Вместе с тем, происходит также систематизация и переосмысление полученных результатов, их связи с прежними исследованиями в области физики прочности и пластичности.

В основе деформационных методов наноструктурирования (в более узком смысле называемых методами интенсивной пластической деформации (ИПД)) лежат фундаментальные исследования эволюции микроструктуры материалов при больших пластических деформациях как при низких, так и при высоких температурах. Исследования фрагментации структуры металлов при низкотемпературной развитой пластической деформации, проведенные в 70-80-х годах прошлого столетия, главным образом школой В.В. Рыбина [1], послужили основой получения УМЗ и НС материалов разработанными позднее методами ИПД, такими, как кручение под квазигидростатическим давлением (КГД), равноканальное угловое прессование (РКУП) и др. Исследования в области больших деформаций при высокой температуре сверхпластической деформации, проведенные в те же годы в ИПСМ РАН [2,3], привели к созданию деформационного метода измельчения, использующего механизмы динамической рекристаллизации – всестороннюю изотермическую ковку (ВИК).

Методы ИПД приводят к формированию УМЗ и наноразмерной структуры с неравновесными границами зерен, что позволяет в достаточно широких пределах изменять физические и механические свойства материалов. Приведены примеры структуры НС металлов, полученных ИПД и существенной зависимости их электронных, упругих и других свойств от размера зерен и состояния их границ. Обсуждаются отличия методов ИПД и ВИК, преимущества ВИК в получении крупногабаритных УМЗ и НС материалов.

Приведены примеры практического использования УМЗ и НС материалов в развитии технологий сварки давлением разнородных материалов, сверхпластической формовки и интегральных технологий, основанных на сварке давлением и сверхпластической формовке.

Продемонстрированы опытные изделия для авиационной техники, полученные путем комбинации сверхпластической формовки и сварки давлением из материалов, наноструктурированных с помощью ВИК. Наиболее ярким примером практического применения УМЗ материалов является создание первой отечественной полый ширококордной лопатки вентилятора для перспективного авиационного двигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыбин В.В. Большие пластические деформации и разрушение металлов М.: Металлургия, 1986, 224 с.
2. Кайбышев О.А. Сверхпластичность промышленных сплавов. - М.: Металлургия, 1984. - 276 с.
3. Кайбышев О.А., Утяшев Ф.З. Сверхпластичность, измельчение структуры и обработка труднодеформируемых сплавов. М.: Наука. 2002. 438 с.

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ РАСКАТКИ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ТИТАНА И НИКЕЛЯ

PROCESS CONTROL SYSTEMS ROLLING AXISYMMETRIC PARTS OF HEAT-RESISTANT TITANIUM ALLOYS AND NICKEL

Р.Р. Мулюков¹, д.ф.-м.н., директор, **А.А. Назаров¹**, д.ф.-м.н., зам. дир., **Р.Ю. Сухоруков²**, к.т.н., зам. дир.,

Ф.З. Утяшев¹, д.т.н., г.н.с., **В.Л. Афонин²**, д.т.н., зав. лаб

1. Институт проблем сверхпластичности металлов РАН (Уфа)

2. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Формообразование деталей (дисков и колец) из жаропрочных сплавов в условиях изотермической деформации из сверхпластичных полуфабрикатов осуществляется на стане (СРЖД-800), имеющем многоуровневую, распределенную систему управления. Система управления выполняет функции контроля параметров технологического процесса и геометрических параметров раскатываемого диска, вывод оператору информации о предаварийных и аварийных ситуациях, регистрации параметров процесса раскатки в базе данных, а также управления непосредственно технологическим процессом.

При разработке структуры системы управления технологическим процессом раскатки необходимо учитывать требования, налагаемые особенностями самого процесса: поддержание температуры нагрева заготовки в строго заданном интервале, обеспечение заданной величины усилия инструмента на раскатываемую заготовку, обеспечение синхронности вращения заготовки и инструмента, закрепленного в раскатной головке и т.д.

В докладе даны основные положения о процессе и технические характеристики оборудования для изготовления осесимметричных деталей (дисков и колец) из жаропрочных сплавов для газотурбинных авиационных двигателей. Особое внимание уделено вопросам автоматизации процессов управления непосредственно технологическим процессом и исполнительными приводами станка по результатам контроля геометрических параметров получаемого после раскатки диска.

В докладе рассмотрены также основные направления совершенствования системы управления – оснащение средствами контроля геометрии раскатываемой заготовки в процессе изготовления изделия.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГИПСОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

INCREASE OF EFFICIENCY OF THE TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR THE PRODUCTION OF GYPSUM MATERIALS

С.Р. Ганиев¹, к.т.н., с.н.с., **В.П. Касилов¹**, к.т.н., с.н.с., **А.П. Пустовгар²**, к.т.н., зав. лаб.

1. Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А.

Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

2. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

В докладе рассмотрены практические примеры применения волновых технологий при производстве гипсовых материалов. Показаны существенные преимущества волновых технологий в сравнении с существующими и дана оценка эффективности внедрения волновых машин и аппаратов.

Применение волновых технологий позволяет на принципиально новом уровне решать технологические задачи измельчения, активации, идеального смешения, дозирования, классификации, разделения жидких и газообразных неоднородных систем, экстракции, кристаллизации, сушки, фильтрации, транспортировки, полимеризации и т.д., для большинства отраслей промышленности.

В докладе рассмотрены практические примеры использования различных типов волновых генераторов, смесителей, классификаторов, дозаторов при производстве гипсовых вяжущих, сухих строительных смесей, гипсокартонных листов, стучных стеновых изделий. На примере действующих производств материалов и изделий на гипсовой основе показаны подходы к модернизации существующих производственных линий, и принципиальные возможности внедрения волновых машин и аппаратов. Приведены существенные преимущества волновых технологий в сравнении с традиционными технологиями, применяемыми при производстве гипсовых материалов и изделий. Дана оценка эффективности внедрения волновых машин и аппаратов для различных технологических переделов при производстве сухих строительных смесей на основе гипсовых вяжущих и гипсокартонных листов. На примере использования волновых смесителей в производстве гипсоволокнистых листов рассмотрены вопросы повышения качества и обеспечения его стабильности при промышленном производстве.

ВОЛНОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

WAVE TECHNOLOGIES IN MATERIAL SCIENCE

С.Р. Ганиев¹, к.т.н., с.н.с., **В.П. Касилов**¹, к.т.н., с.н.с., **А.П. Пустовгар**², к.т.н, зав. лаб

1. Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А.

Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

2. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

В докладе в краткой форме показаны существенные преимущества волновых технологий для материаловедения, для создания композитных и нанокompозитных материалов. Приведены данные, подтверждающие конкурентоспособность этих технологий на мировом рынке и их инвестиционную привлекательность.

Волновые технологии являются прорывными (базисными) инновациями, в основе которых лежат фундаментальные научные достижения в области нелинейной волновой механики. Они позволяют решать как ранее недоступные технологические проблемы, так и реализовать качественно новым способом уже известные технологические процессы, существенно повысив их эффективность.

В докладе показаны принципиальные возможности волновых технологий в создании новых материалов и продуктов, или в существенном улучшении и повышении эффективности процессов измельчения и механоактивации, дозирования и тонкого перемешивания, классификации сыпучих материалов в технологиях получения строительных материалов. Приведены данные технологических экспериментов по волновому измельчению известняка в результате которого получен светстонкоизмельченный продукт узкого гранулометрического состава в одну стадию измельчения без дополнительной классификации, волновой активации цемента и цементно-известняковых композиций, в результате которой произошло повышение прочности цементного камня на 50% по сравнению с контрольными. Приведены результаты волнового смешивания тонких порошков, показывающие, что волновое перемешивание позволяет успешно противостоять образованию агломератов, что особенно важно при перемешивании смесей с малыми добавками. Показаны возможности создания автоматизированных линий волновой обработки сухих твердых компонентов высокой эффективности на ограниченной производственной площади.

В докладе показаны высокие возможности волновых технологий по перемешиванию высоковязких сред, в том числе с малыми добавками нанонаполнителей и модификаторов. Приведены экспериментальные данные по волновой технологии получения полимер-цементных и цементных композитов, армированных полимерными и неорганическими волокнами, имеющих на 30-40% более высокую прочность по сравнению с образцами, полученными по традиционной технологии.

Одним из перспективных направлений в материаловедении является получение полимерных композитов и нанокompозитов, сочетающих в себе лучшие свойства минеральных и органических полимеров. Возможности наноструктурированных материалов приобретать новые свойства и необычные характеристики, получающие все новые практические подтверждения в публикациях последних лет, вызывают повышенный интерес промышленности к созданию новых, экономически обусловленных технологий получения таких материалов.

Для обеспечения необходимых свойств нанокompозитов в полимерную матрицу вводят неорганические наночастицы (углеродные или алумосиликатные трубки, слоистые силикаты и т.д.). Так как материал полимерной матрицы и неорганические компоненты, как правило, являются несовместимыми, то основной проблемой производства нанокompозитов является равномерное диспергирование неорганических частиц в полимерной матрице. В докладе приведены результаты экспериментов, демонстрирующие принципиально новые возможности волновых технологий по распределению микро- и нанодобавок в полимерной матрице.

ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКИХ ЭМУЛЬСИЙ КОНТРОЛИРУЕМОГО УРОВНЯ ДИСПЕРСНОСТИ ВОЛНОВЫМИ МЕТОДАМИ

RECEIPT OF THIN EMULSIONS OF THE CONTROLLED LEVEL OF DISPERSION BY WAVE METHODS

В.П. Касилов, к.т.н., с.н.с., **О.Н. Кислогубова**, вед. инж., **Д.В. Курмев**, м.н.с

Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

В докладе представлен новый вариант волновой технологии по обработке высоковязких сред. Полученные экспериментальные данные показывают, что применение волновой технологии позволяет не только получать микрогетерогенные эмульсии, но и дает возможность в определенных пределах управлять дисперсностью системы.

В докладе представлены результаты экспериментальных работ, проведенных в НЦ НВМТ РАН, по исследованию волновых процессов в дисперсных средах.

С учетом теоретических основ нелинейной волновой механики и технологий, разработанных в НЦ НВМТ РАН, и проведенных экспериментальных исследованиях течений многофазных жидкостей при различных видах волновых воздействий,

разработан новый вариант волновой технологии по обработке высоковязких сред. В его основе лежит применение значительных знакопеременных сдвиговых напряжений, формируемых путем создания поперечных волн сдвиговых деформаций в несжимаемой вязкой среде.

Для проведения технологических экспериментов по волновой обработке высоковязких сред разработана и изготовлена установка ВСМ-1, которая позволяет получать различные эмульсии и суспензии как в порционном, так и в проточном режиме.

В докладе представлено описание экспериментальной установки, методика проведения экспериментов, составы исследуемых сред и режимы волнового воздействия.

Полученные экспериментальные образцы исследованы на стабильность после центрифугирования, проведен анализ дисперсного состава, приведена оценка энергоэффективности волнового метода при обработке и получении микрогетерогенных эмульсий.

Представленные в докладе результаты технологических экспериментов по получению микрогетерогенных эмульсий при помощи установки ВСМ-1 демонстрируют высокие возможности волновой технологии диспергирования вязких сред, позволяющие получать эмульсии с размером капель дисперсной фазы менее 1 микрометра с низкими энергозатратами. Величина удельных энергетических затрат при получении эмульсии приведенного состава составила около 30 Дж на грамм, что является достаточно низкой величиной для эмульсий такого уровня дисперсности. При этом имеется возможность в определенных пределах управлять уровнем этой дисперсности, изменяя длину сдвиговых волн за счёт изменения частоты волнового воздействия.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РАСПОЛОЖЕННЫХ ПО ВИНТОВЫМ ЛИНИЯМ ВОЛОКОН В РАСТЯНУТОЙ ПРЯЖЕ

INVESTIGATING THE STRAIN STATE OF FIBERS LOCATED ON THE HELICAL LINE IN EXTENDED YARN

Б. Мардонов, д.ф.-м.н., **Дж.К. Гафуров**, к.т.н.

Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности (Ташкент, Узбекистан)

При прогнозировании механических свойств пряжи следует учитывать условие ее формирования, механизм которого существенно зависит от способа прядения и скоростных режимах технологических машин. Исследования показывают, что в момент приложения усилия в структуре нити происходит процесс распрямления волокон, и их сближение, характер которых зависит от степени кручения пряжи. В результате постепенно увеличивается значение радиального напряжения в поперечном сечении пряжи, что увеличивает жесткостные показатели продукта при растяжении. Прочность волокон расположенных по винтовым линиям, с увеличением угла наклона повышается и через некоторое время она достигает максимального значения, после которого постепенно начинает уменьшаться. При этом неоднородность микроструктуры пряжи и большой диапазон изменения некоторых величин, характерных для деформации данной пряжи (например, разрывная нагрузка) позволяет представить реальную пряжу в виде совокупности большого числа элементов, обладающих простейшими законами деформирования, но с разными константами. При этом неоднородность микроструктуры пряжи и большой диапазон изменения некоторых величин, характерных для деформации данной пряжи (например, разрывная нагрузка) позволяет представить реальную пряжу в виде совокупности большого числа элементов, обладающих простейшими законами деформирования, но с разными константами. В начальных этапах нагружения более ярко проявляются вязкие свойства, и далее с ростом усилия эти свойства переходят от одиночных к компактной системе волокон, с высоким модулем упругости и меньшим вязким параметром.

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА НЕТКАНОЙ ОСНОВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЛНОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

PRODUCTION OF COMPOSITE MATERIALS ON NONWOVEN BASED BY WAVE TECHNOLOGY

В.Н. Фомин¹, д.т.н., в.н.с., **Е.Б. Малюкова**¹, д.х.н., **В.М. Горчакова**², к.х.н., **О.А. Голикова**², к.т.н., **Ю.А. Беляев**², к.т.н., с.н.с.

1. Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва),
2. Московский текстильный институт им. А.Н. Косыгина

Высокая эффективность волновой технологии была показана в настоящей работе при получении таких компо-

зиционных материалов, как нетканые материалы, получаемые путем пропитки волокнистых основ различными жидкофазными композициями. В составе таких композиций использовали латексы различной природы и растворы гелеобразующих полимеров. Кроме того, в ряде случаев в композицию добавляли наполнители типа активированного угля, цеолита и диоксида кремния. Волновому воздействию подвергали пропиточную композицию в процессе смещения компонентов. Далее ее использовали при импрегнировании волокнистых холстов. Для сравнения те же композиции обрабатывали традиционным способом.

Использование интенсивной предварительной (волновой) обработки композиции позволило получить устойчивые наполненные композиции без дополнительного введения ПАВ, повысить степень дисперсности наполнителя и создать прочные нетканые материалы с равномерным распределением наполнителя по объему материала. Такие материалы обладали повышенными фильтрующей и сорбционной способностями по отношению к различным примесям в водных средах.

ПОЛУЧЕНИЕ СТАБИЛЬНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ТИПА ВОДА/МАСЛО С ПОМОЩЬЮ ВОЛНОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

PREPARATION OF STABLE WATER/OIL EMULSIONS BY WAVE TECHNOLOGY

О.Н. Кислогубова, вед. инж., **В.Н. Фомин**, д.т.н., в.н.с., **В.П. Касилов**, к.т.н., с.н.с., **Е.Б. Малиюкова**, д.х.н.

Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

Поиск методов интенсификации диспергирования многокомпонентных систем, в частности различных эмульсий, привел к целесообразности использования в этом направлении волновой технологии. В данной работе проведено изыскание оптимальных режимов создания многофазной композиции с комплексом полезных свойств. За основу был взят состав обратной эмульсии типа вода/масло. Сравнивались свойства композиций, полученных с помощью традиционной мешалки и с использованием волновой технологии. Микрофотографии эмульсий показывают увеличение степени дисперсности при использовании волновой технологии. Методом центрифугирования (6000 об/мин) показана более высокая стабильность этих систем, сохраняющаяся длительное время (более 7-и суток). Кроме того, использование волновой технологии позволяет сократить время технологических операций в процессе приготовления композиций.

ЛОКАЛИЗАЦИЯ КОЛЕБАНИЙ И ДИФфуЗИОННЫЙ РОСТ ТОНКИХ ПЛЕНОК

LOCALIZED OSCILLATIONS AND DIFFUSIONAL GROWTH OF THIN FILMS

Член-корр. РАН **Д.А. Индейцев**, д.ф.-м.н., директор, **Ю.А. Мочалова**, к.ф.-м.н., с.н.с.

Институт Проблем Машиноведения РАН (Москва)

Для описания динамики тонкой пленочной структуры, изменение поверхности которой вызвано диффузионным переносом вещества, предлагается модель двухкомпонентной среды. Полученное на основе данной модели уравнение поверхности пленки позволяет описывать как диффузионный рост пленки, так и распространение волн на поверхности пленки, а так же исследовать их взаимное влияние.

Рассмотрим волновод с некоторыми включениями или неоднородностями. Пусть волновод имеет по крайней мере одну границу бесконечной протяженности. Локализованные или “ловушечные” волны – это свободные колебания волновода, для которых движение среды сосредоточено вблизи включений, и таким образом имеет конечную энергию. Математически это эквивалентно существованию дискретного спектра в соответствующей спектральной задаче. Цель данной работы изучить особенности нестационарной граничной задачи, когда в соответствующей спектральной задаче есть дискретный спектр. В качестве физической модели рассматривается тонкая пленка, на поверхности которой образуются и растут островки новой фазы [1]. В большинстве теоретических работ пленку обычно моделируют упругим или жидким слоем, лежащим на твердой подложке, поведение которого описывается эволюционными уравнениями (см. статью [2] и ссылки к ней). Следует отметить, что при этом динамические волновые процессы, которые могут возникать в тонкой пленке не учитываются. В данной работе тонкая пленка рассматривается как волновод с островками-включениями (масса которых, вообще говоря, меняется во времени), в котором возможно существование стоячих волн, локализованных вблизи островков. Показано, что при определенных условиях нестационарное внешнее воздействие приводит к возбуждению на поверхности пленки локализованных волн, которые не затухают бесконечно долго, если в системе нет диссипации. Таким образом, незатухающие стоячие волны, локализованные вблизи островков могут оказывать значительное влияние на эволюционные процессы, происходящие в пленке.

Предлагается рассматривать пленку как двумерный смачивающий слой, заполненный идеальной несжимаемой тяжелой жидкостью, лежащий на твердой плоской подложке. Свободная поверхность жидкости моделируется упругой мембраной с коэффициентом поверхностного натяжения T и плотностью распределения массы m . Декартова система координат выбрана так, что ось y направлена вертикально вверх, а ось x совпадает с невозмущенной свободной поверхностью, таким образом, жидкость ограничена твердым плоским дном $y=-h$ и свободной поверхностью, которая описывается уравнением $y=\eta(x,t)$.

Движение жидкости будем предполагать безвихревым, определяемым потенциалом скоростей $\Phi(x,y,t)$, удовлетворяющим уравнению Лапласа

$$\nabla^2\Phi = 0, \quad -\infty < x < \infty, \quad -h < y < 0$$

и условию непротекания на дне

$$\Phi_y = 0, \quad y = -h.$$

Линеаризованные условия на свободной поверхности связывают потенциал скоростей $\Phi(x,y,t)$ и функцию $\eta(x,t)$ следующим образом

$$\eta_t = \Phi_y, \quad T\eta_{xx} - m\eta_{tt} = \rho\Phi_t + \rho g\eta + P(t)\delta(x), \quad y=0, \quad (3)$$

где ρ – плотность жидкости, g – ускорение свободного падения. Предположим, что движение жидкости вызвано внешней силой $P(t)\delta(x)$, приложенной в начале координат ($\delta(x)$ – дельта-функция Дирака), а потенциал скоростей и его производная удовлетворяют нулевым начальным условиям

$$\Phi(x,0,0) = \Phi_t(x,0,0) = 0.$$

Нас интересуют локализованные колебания жидкости, поэтому для фиксированного момента времени потенциал скоростей Φ удовлетворяет следующему условию на бесконечности

$$\nabla\Phi \rightarrow 0 \quad |x| \rightarrow \infty.$$

Пусть на инерционной свободной поверхности имеются два массовых включения в точках $x = \pm l$ и плотность распределения массы m определяется следующим образом

$$m(x) = m_0 + M[\delta(x-l) - \delta(x+l)],$$

где m_0 – некоторая константа, M – масса включений. Заметим, что в общем случае массы островков включений и соответственно поверхностная плотность переменны во времени, однако далее будем считать M постоянной величиной.

Таким образом, линейная задача динамики малых движений жидкости с учетом переменной плотности свободной поверхности и поверхностного натяжения определяется системой уравнений (1) – (6). Рассматриваемый слой жидкости моделирует тонкую пленку и толщина его незначительна, поэтому далее будем

пользоваться приближением мелкой воды. Введем потенциал $\bar{\Phi}(x,t) \equiv \int_{-h}^0 \Phi(x,y,t)dy$, тогда исходная граничная задача (1) – (6) принимает вид

$$T\bar{\Phi}_{xxxx} - m_0\bar{\Phi}_{xxt} + \frac{\rho}{h}\bar{\Phi}_{tt} - \rho g\bar{\Phi}_{xx} = M[\delta(x-l) + \delta(x+l)]\bar{\Phi}_{xxt} + P(t)\delta(x)$$

$$\bar{\Phi}, \bar{\Phi}_x \rightarrow 0 \quad \text{при} \quad |x| \rightarrow \infty \quad \text{для любых } t \quad (8)$$

$$\bar{\Phi}(x, 0) = \bar{\Phi}_t(x, 0) = 0$$

Рассмотрим сначала соответствующую спектральную задачу и покажем, что она имеет дискретный спектр, то есть существуют собственные частоты которым соответствуют собственные формы колебаний свободной поверхности, представляющие собой локализованные вблизи включений стоячие волны.

3. Свободные колебания. Рассмотрим свободные колебания жидкости $\bar{\Phi}(x, t) = \text{Re}\{\varphi(x)e^{-i\omega t}\}$. Тогда соответствующая граничной задаче (7) – (9) спектральная задача для потенциала $\varphi(x)$ принимает вид

$$T\varphi_{xxxx} - (\rho g - m_0\omega^2)\varphi_{xx} - \frac{\rho}{h}\omega^2\varphi = -M\omega^2[\delta(x-l) + \delta(x+l)]\varphi_{xx}$$

$$\varphi, \varphi_x \rightarrow 0 \quad |x| \rightarrow \infty.$$

Далее будем рассматривать только симметричные формы колебаний. Особенность задачи (10)–(11) заключается в том, частота отсечки равна нулю и дискретный спектр, если он существует, будет лежать на оси непрерывного.

Используя преобразование Фурье, получим следующее выражение для потенциала $\varphi(x)$

$$\varphi(x) = -M\omega^2\varphi_{xx}(l)[G(|x-l|, \omega) + G(|x+l|, \omega)]. \quad (12)$$

Здесь $G(|x|, \omega)$ функция Грина

$$G(|x|, \omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{ikx}}{\Delta(k, \omega)} dk = \frac{1}{2(k_0^2 + k_1^2)} \left[\frac{ie^{ik_0|x|}}{k_0} - \frac{e^{-k_1|x|}}{k_1} \right],$$

где $\pm k_0, \pm ik_1$ – корни дисперсионного соотношения

$\Delta(k, \omega) = Tk^4 + (\rho g - m_0\omega^2)k^2 - \rho\omega^2/h$. Подставляя (13) в выражение (12) нетрудно убедиться, что волны, описываемые потенциалом скоростей, представляют собой бегущую волну и стоячую волну, исчезающую на бесконечности. Условие отсутствия бегущей волны имеет вид $\cos k_0 l = 0$. Таким образом, для того чтобы потенциал (12) описывал волну локализованную в области включений необходимо чтобы

$$k_{0n} = \left[n - \frac{1}{2} \right] \frac{\pi}{l}, \quad n = 1, 2, \dots$$

Используя дисперсионное соотношение, определим частоты ω_n при которых нет волн при $|x| > l$

$$\omega_n^2 = \frac{(Tk_{0n}^2 + \rho g)k_{0n}^2}{\rho/h + m_0k_{0n}^2}, \quad n = 1, 2, \dots$$

Частоты ω_n будем называть ловушечными. Заметим, что найденный спектр ловушечных частот размещается на оси непрерывного спектра. В случае когда ловушечная частота становится собственной частотой, соответствующей ей потенциал (12) есть локализованная мода колебаний. Для того чтобы ловушечная частота (14) стала собственной необходимо, чтобы масса включений M удовлетворяла частотному уравнению

$$1 = -M\omega^2 [G_{xx}(|x-l|, \omega) + G_{xx}(|x+l|, \omega)], \quad \omega = \omega_n \quad (15)$$

или используя (13) и (14), получим

$$M_n = \frac{2T(k_{0n}^2 + k_{1n}^2)}{\omega_n^2 k_{1n} (1 + e^{-2k_{1n}l})}, \quad k_{1n} = \left[\frac{\rho}{Th} \right]^{1/2} \frac{\omega_n}{k_{0n}}, \quad n = 1, 2, \dots \quad (16)$$

Итак, если масса включений совпадает с M_n , определяемой (16), то соответствующая ловушечная частота (14) будет собственной частотой спектральной задачи (10)-(11). Собственная локализованная мода колебаний $\varphi(x, \omega_n)$ соответствующая ω_n принимает вид

$$\varphi(x, \omega_n) = \frac{A}{(k_{0n}^2 + k_{1n}^2)} \begin{cases} \frac{\cosh k_{1n} e^{-k_{1n}|x|l}}{k_{1n}} & |x| > l \\ \frac{\cos k_{0n}x}{k_{0n}} + \frac{e^{-k_{1n}l} \cosh k_{1n}x}{k_{1n}} & |x| < l \end{cases} \quad (17)$$

Потенциал скоростей $\varphi(x, \omega_n)$ вычисляется с точностью до постоянной A .

4. Вынужденные колебания. Вернемся к нестационарной задаче (7)-(9). Пусть внешняя сила $P(t) = P_0 \delta(t)$. Выполняя двойное преобразование Лапласа и Фурье получим решение задачи в изображениях

$$\bar{\Phi}^{LF}(k, p) = \frac{P_0}{\Delta(k, p)} \left[1 - \frac{Mp^2 J_1(p, l)}{\pi + Mp^2 J_2(p, l)} \cos kl \right],$$

где

$$J_1(p, l) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{k^2}{\Delta(k, p)} e^{ikl} dk, \quad J_2(p, l) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{k^2 \cos kl}{\Delta(k, p)} e^{ikl} dk$$

и $\Delta(k, p) = Tk^4 + (\rho g + m_0 p^2)k^2 - \rho p^2/h$. Выполняя обратное преобразование Фурье, получим

$$\bar{\Phi}^L(x, p) = \frac{P_0}{2\pi} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{ikl}}{\Delta(k, p)} dk - \frac{Mp^2 J_1(p, l)}{\pi + Mp^2 J_2(p, l)} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{ik(x+l)} + e^{ik(x-l)}}{\Delta(k, p)} dk \right],$$

или

$$\bar{\Phi}^L(x, p) = \bar{\Phi}_1^L + \bar{\Phi}_2^L = P_0 \left\{ G(|x|, p) - \frac{Mp^2 J_1(p, l)}{\pi + Mp^2 J_2(p, l)} [G(|x-l|, p) + G(|x+l|, p)] \right\}. \quad (18)$$

При $p = i\omega$ функция $G(|x|, p)$ совпадает с функцией Грина (13) соответствующей спектральной задаче. Функция $G(|x|, p)$ представляет собой регулярную функцию, не имеющую особых точек на мнимой оси и $\lim_{p \rightarrow 0} pG(|x|, p) = 0$, тогда используя предельные теоремы операционного исчисления, получим что для оригинала первого слагаемого в выражении (18) справедливо

$$\bar{\Phi}_1(x, t) \rightarrow 0, \quad t \rightarrow \infty.$$

Заметим, что при $M = 0$ потенциал скоростей $\bar{\Phi}(x, t) = \bar{\Phi}_1(x, t)$ и в силу (19) представляет собой бегущие волны, распространяющиеся от точки приложения силы $P(t)$ и затухающие на бесконечности.

Рассмотрим второе слагаемое в выражении (18). Проверим имеет ли оно особенности при $p = i\omega$, то есть найдем корни уравнения

$$\pi - M\omega^2 J_2(i\omega, l) = 0.$$

Нетрудно показать, что последнее уравнение можно переписать в следующем виде

$$1 + M\omega^2 [G_{xx}(|x-l|, \omega) + G_{xx}(|x+l|, \omega)] = 0$$

Заметим, что это частотное уравнение (15) соответствующей спектральной задаче (10)-(11), подробно рассмотренной выше. Мнимая часть в последнем уравнении равна нулю, если $\omega = \omega_n$, где ω_n – ловушечные частоты (14) и ловушечная частота ω_n является корнем последнего уравнения (а $p = i\omega_n$ полюсом второго слагаемого в (18)), если

$$M = \frac{1}{\omega_n^2 [G_{xx}(|x-l|, \omega_n) + G_{xx}(|x+l|, \omega_n)]}, \quad n = 1, 2, \dots$$

Пусть $\bar{\Phi}_2^L(x, p)$ имеет полюс в точке $p = \pm i\omega_*$ (ω_* – одна из ловушечных частот, например первая) при $M = M_*$, тогда по теореме о вычетах обратное преобразование Лапласа второго слагаемого в выражении (18) имеет вид

$$\bar{\Phi}_2(x, t) = \text{res}[\bar{\Phi}_1^L(x, p)e^{pt}, i\omega_*] + \text{res}[\bar{\Phi}_1^L(x, p)e^{pt}, -i\omega_*]$$

После вычисления вычетов и выполнения ряда преобразований, получим

$$\bar{\Phi}_2(x, t) = A\varphi(x, \omega_*) \sin \omega_* t.$$

Здесь $\varphi(x, \omega_*)$ – собственная локализованная мода колебаний (17). Потенциал $\bar{\Phi}_2(x, t)$ представляет собой волну, не затухающую на бесконечности и следовательно, для общего потенциала скоростей $\bar{\Phi}(x, t)$ справедливо следующее приближение

$$\bar{\Phi}(x, t) \rightarrow A\varphi(x, \omega_*) \sin \omega_* t, \quad t \rightarrow 0.$$

Таким образом, внешнее воздействие возбуждает на свободной поверхности пленки не только затухающие бегущие волны, но и при определенном значении M стоячую волну, локализованную вблизи островков-включений и не затухающую с течением времени (при условии, что в системе нет диссипации).

ЛИТЕРАТУРА

1. Кукушкин С.А., Осипов А.В. Процессы конденсации тонких пленок // Успехи физических наук. 1998. Т. 168. 10. С. 1083-1114.
2. Sultan E., Boudaoud A., Ben Amar M. Diffusion-limited evaporation of thin polar liquid films // J. Engineering Mathematics. 2004. V. 50. 2-3. P. 209-22

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ КРАХМАЛА И Na-МОНТМОРИЛЛОНИТА В ВИБРОМЕЛЬНИЦЕ

FEATURES OF NANOCOMPOSITES FORMATION ON THE BASE OF STARCH AND Na-MONTMORILLONITE IN VIBROMILL

Л.Е. Украинский¹, д.т.н, директор, В.А. Падохин², д.т.н, зав. лаб., Н.Е. Кочкина², к.т.н., н.с.

1. Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва),
2. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук (Иваново)

Разработка и усовершенствование методов получения композитов на базе природных биополимеров и наноразмерного наполнителя - Na-монтмориллонита является одним из интенсивно развивающихся направлений исследований в науке о полимерах. В настоящей работе для формирования подобных нанокompозитов на основе крахмала была использована вибрационная мельница с шарами двух разных диаметров. Степень заполнения реактора мелющими телами составляла 80 %, амплитуда колебаний – 10 мм, частота колебаний – 50 Гц. Мельница и шары были изготовлены из материала, исключающего образование его намола, крайне нежелательного при формировании полимерного композита.

Методом РФА выявлено, что механическая обработка системы крахмал (70%) – пластификатор (смесь воды и глицерина) (25%) – слоистый силикат (5 %) в течение 0.5 часа обеспечивает получение композиционного материала с инкапсулированной структурой нанонаполнителя. Формирование эксфолированного образца наблюдается после 2 часов активации в вибрационной мельнице.

Термическую деструкцию нанокompозитов изучали методом термогравиметрии в инертной среде. Термостабильность крахмала закономерно возрастает после добавления к нему малых количеств Na-монтмориллонита. По методу Горювица-Метцгера рассчитаны значения энергии активации (E_a) основного периода термодеструкции композитов, соответствующему пиролизу макромолекул крахмала. Показано, что с увеличением времени обработки композиционной системы в вибромельнице значение E_a повышается. Одновременно увеличивается количество зольного остатка после термолитиза нанокompозитов.

Полученные порошкообразные биоразлагаемые нанокompозиты могут быть использованы в пищевой, текстильной и других отраслях промышленности.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ЭКСТРАГИРОВАНИЯ ПЕКТИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

INTENSIFICATION OF PECTIN EXTRACTION FROM VEGETATIVE RAW MATERIALS

В.А. Падохин¹, д.т.н., зав. лаб., О.В. Лепилова¹, к.т.н., н.с., О.А. Скобелева², к.х.н., н.с., В.П. Касилов², к.т.н., с.н.с.

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук (Иваново),
2. Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

В настоящее время повышается интерес к использованию ценного природного продукта – пектина. Его применение в медицине основано на проявлении свойств энтеросорбента и гастропротекторных функций, в пищевой промышленности – на проявлении желирующей способности. В научной литературе описано несколько производственных схем получения пектина, которые имеют три основные операции: извлечение пектина из подготовленного сырья, его очистка, выделение и сушка. При этом отличие состоит в применяемых экстрагентах, в качестве которых

в основном используют разные кислоты: соляная, серная и сернистая кислоты, а также азотная, лимонная, уксусная, фосфорная и щавелевая. В частности использование минеральных кислот обеспечивается высокий выход продукта. Однако длительного время экстрагирования при высокой температуре и кислотности среды (рН 1,5-2,5) приводит к потере нативных свойств пектина, в том числе к уменьшению молекулярной массы и снижению желирующей способности. Использование более щадящих сред, в частности щавелевой кислоты, наоборот обеспечивает высокую сохранность природных свойств полисахарида при достаточно небольшом выходе пектина. Одним из путей повышения полноты выделения пектина при использовании слабых кислот в качестве экстрагента может стать применение волновых резонансных воздействий.

В связи с этим целью исследования является оценка эффективности использования волновых резонансных воздействий при экстрагировании пектина из растительного сырья.

В качестве объекта исследования использована лимонная цедра. Экстрагирование пектина из промытого в воде сырья проводили в среде 1,5 %-ной соляной кислоты (режим 1), 0,25 %-ной щавелевой кислоты (режим 2). Для полноты выхода пектина с сохранением нативных свойств предложен экспериментальный режим 3, включающий предварительную обработку растительного сырья на волновом активаторе, с последующей экстракцией 0,25 %-ной щавелевой кислотой. Полноту выхода пектина из лимонной цедры контролировали кальций-пектатным методом.

Выявлено, что предварительное воздействие волновых резонансных воздействий на стадии экстрагирования позволяет повысить выход пектина в 1,5 раза по сравнению с режимом 2. При этом численное значение сопоставимо с величиной, полученной после проведения режима 1.

Кроме того, методом динамического рассеяния света показано, что для выделенных пектиновых веществ характерно бимодальное распределение интенсивности рассеяния света по гидродинамическим радиусам. Следовательно распределение макромолекул пектина по размерам является узким. Это свидетельствует о сохранении разветвленной структуры полимера, которая определяет физиологическую активность и желирующие свойства пектинов. Данный факт подтверждён результатами оценки показателя кинематической вязкости и расчета молекулярной массы выделяемого полимера. В частности установлено, что использование предварительного волнового резонансного воздействия позволяет увеличить величину кинематической вязкости, определяемую для 1 %-ных гидрогелей, в 1,6 раза и повысить показатель относительной молекулярной массы, рассчитанный по уравнению Марка-Хувинка-Куна, в 1,1 раза по сравнению с режимом 2.

Таким образом, показано, что использование волновых воздействий на систему экстрагент-растительное сырьё способствует достижению максимального выхода пектина с высокими качественными показателями. Полученные результаты являются основой для создания волновых технологий выделения пектиновых веществ из растительного сырья.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОПИТКИ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ СОЛЯМИ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ

INTENSIFICATION OF REFRACTORY METALS SALTS IMPREGNATION INTO CELLULOSE FIBROUS MATERIALS

О.А. Скобелева¹, к.х.н., н.с., Н.Е. Кочкина², к.т.н., н.с., В.А. Падохин², д.т.н., зав. лаб., В.П. Касилов¹, к.т.н., с.н.с

1. Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва),
2. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук (Иваново)

Наноструктурные композиции на основе оксидов тугоплавких металлов являются перспективными для использования в таких областях промышленности как авиация и космонавтика, медицина, атомная энергетика, химическая инженерия и др. Одним из методов получения наноразмерных частиц тугоплавких оксидов металлов является термоллиз различных полимерных систем, содержащих соли этих металлов. В качестве специфических матриц-темплатов для наночастиц оксидов металлов следует особо выделить гидратированные целлюлозные волокна, достоинство которых состоит в том, что их производят из относительного дешёвого, доступного, ежегодно возобновляемого растительного сырья.

В работе изучена возможность интенсификации стадии пропитки целлюлозных волокнистых материалов растворами солей тугоплавких металлов, которая является первой стадией процесса получения наноразмерных оксидов металлов. Активацию проводили путем наложения на систему волновых резонансных воздействий. При этом частота воздействий в процессе пропитки направленно изменяется в соответствии с динамикой изменения размеров пор и их структурной организации в волокне. Установлено, волновая активация приводит к резкому возрастанию скорости массопереноса раствора в капиллярах волокнистого материала и, соответственно, интенсификации насыщения волокон солевыми системами.

Рассмотрено влияние концентрации солей металлов в растворах на процессы пропитки целлюлозных волокон и

выявлен диапазон оптимальных значений их концентраций. Показано, что оптимальными для проведения процесса пропитки являются температуры в диапазоне 17–30 °С. Выявлены механизмы формирования оксидов металлов из соледержащих волокнистых целлюлозных материалов. Предложены новые высокоэффективные механохимические способы управления элементарными процессами формирования нанодисперсного состава волокноподобных частиц тугоплавких оксидов.

РАЗРАБОТКА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ОСНОВ КОНСТРУКЦИЙ АППАРАТОВ ПРОТОЧНОГО ТИПА, РЕАЛИЗУЮЩИХ ЭФФЕКТЫ НЕЛИНЕЙНОЙ ВОЛНОВОЙ МЕХАНИКИ, ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ЭМУЛЬСИЙ И ВЫСОКОСТАБИЛЬНЫХ ЖИДКИХ СМЕСЕЙ

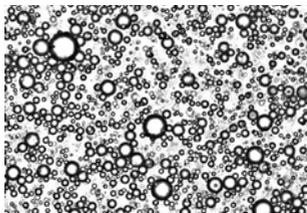
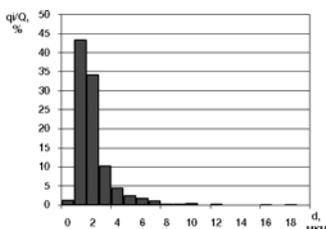
DEVELOPMENT OF FUNDAMENTALS OF RUNNING TYPE DEVICES REALIZING THE EFFECTS OF THE NONLINEAR WAVE MECHANICS FOR PRODUCTION SUPERFINE EMULSIONS AND STABLE LIQUID MIXTURES

В.И. Кормилицын, д.т.н., зав. лаб. **Л.Е. Украинский**, д.т.н., зав. лаб. **В.В. Чередов**, м.н.с., **И.Г. Устенко**, **Н.Б. Юшков** Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

Был разработан гидродинамический стенд для проведения экспериментальных исследований конструкции генератора проточного типа с целью получения высокодисперсных эмульсий и высокостабильных жидких смесей.

На основании ряда экспериментов по визуализации потока, получению данных по АЧХ работы генератора и выявлению режимных параметров работы генератора, при которых наблюдался максимальный унос материала с контрольной вставки, были определены оптимальные характеристики потока для его срыва при обтекании различных тел и максимально эффективного схлопывания кавитационных пузырьков для данных конструктивных размеров генератора и тел обтекания.

Показано, что при кавитационном режиме работы генератора эмульсия получается тонкодисперсной, с подавляющим большинством частиц масла до 5 мкм, и небольшим количеством до 25 мкм. На рисунке представлены типовая микрофотография водо-масляной эмульсии и распределение капель масла по размеру.



Были проведены испытания для тел обтекания различной формы и размеров. Выделяется цилиндр с насечкой, при использовании которого даже при безкавитационном обтекании получается качественная эмульсия. Связано это с увеличением турбулентности потока за счет насечки. Более плохообтекаемые тела (серп, стакан, пластина) тоже способствуют образованию тонкодисперсной эмульсии похожего качества, как и у цилиндров, но при этом создают большее гидродинамическое сопротивление, что негативно сказывается на их применении.

ВОЛНОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ, РАФИНАЦИИ И ДЕПАРАФИНИЗАЦИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ

THE WAVE TECHNOLOGY OF RECTIFICATION, REFINING AND DEPARAFFINATION OF VEGETABLE OIL

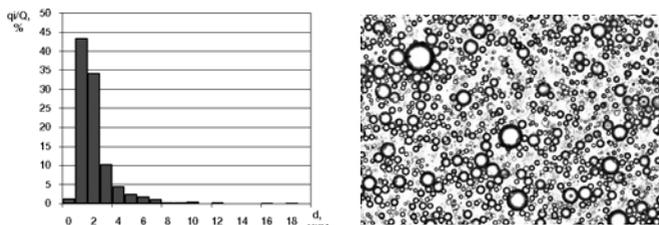
И.Г. Устенко, н.с., **Н.Б. Юшков**, м.н.с.

Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

Нерафинированные растительные масла состоят главным образом из триглицеридов и содержат различные примеси, такие как фосфатиды, свободные жирные кислоты (FFA), неароматические соединения, хлорофилл и другие пигменты, парафины, и металлы, такие как, алюминий, кальций, медь, железо, магний и калий. Примеси отрицательно влияют на вкус, запах, внешний вид и срок хранения масел, поэтому должны быть удалены перед их употреблением.

Предлагается метод рафинации и очистки неочищенных масел от загрязнений, заключающийся в смешивании масла с рафинирующими реагентами, такими как вода или кислота, и последующей обработкой смеси в проточном кавитационном гомогенизаторе. Кавитационная обработка способствует созданию тонкодисперсной эмульсии реагентов и их равномерному распределению во всем объеме обрабатываемой среды. В результате возрастает площадь поверхности, на которой происходят химические реакции и процесс интенсифицируется. Также кавитационная обработка способствует переходу загрязняющих примесей из масла в водную фазу, что облегчает их удаление, т.к. водная фаза может быть отделена от масла общедоступными способами.

На рисунке представлены типовая микрофотография эмульсии и распределение капель реагента (воды) по размеру.



Было проведено сравнения предложенной технологии рафинации с традиционной. Результаты представлены в таблице.

Таблица. Содержание фосфатидов в образцах соевого масла

	Содержание фосфатидов*	
	в пересчёте на стеаро-олеолецитин, %	в пересчёте на фосфор, мг/кг
Исходное масло	1,45	571,5
Гидратирование без кавитации	0,39	155,3
Волновая технология	0,24	93,1

РОЛЬ НАСЛЕДСТВЕННОЙ МЕХАНИКИ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

THE APPLICATION OF HEREDITARY MECHANICS IN STRUCTURAL MATERIALS SCIENCE

С.И. Алексеева, д.т.н., зав.лаб., И.В. Викторова, к.т.н., с.н.с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

В настоящее время наиболее перспективным подходом к расчету реономных материалов является наследственная механика. Впервые принцип наследственности был выдвинут в 19 веке Больцманом. В 20-м веке – это известные работы Вольтерра, Грина, Ривлина, Дюффинга, Трусделла и многих других авторов, представляющие собой математическое развитие принципа наследственности, построение интегральных уравнений, создание методов их решения, нахождение резольвент для различных ядер наследственности, анализ сингулярности и пр. В нашей стране это направление связано, прежде всего, с именем академика Ю.Н. Работнова, чьи труды легли в основу целой школы отечественной наследственной теории: построение дробно-экспоненциальной функции, развитие алгебры операторов, доказательство теорем умножения, возведения в степень и др.

В общем виде наследственная механика дает возможность на основании простейших испытаний материала установить его поведение в случае изменяющихся во времени напряжений и деформаций, а также обеспечить определение закона изменения деформаций по заданному закону изменения напряжений и наоборот. Возможно построение и других, отличных от вышеназванных, соотношений между напряжениями, деформациями и временем. Подобные подходы широко развивались, когда основными конструкционными материалами были металлы, для которых ползучесть проявляется лишь при высоких температурах и вполне определенных условиях нагружения. Широкое внедрение в промышленность полимеров и композитов с полимерной матрицей изменило ситуацию. Поведение многих из них обладает ярко выраженной временной зависимостью даже при комнатной и пониженных температурах. В связи с этим возникает необходимость в комплексном изучении поведения вязкоупругих материалов при различных режимах нагружения и в построении таких моделей, которые бы могли использовать один и тот же набор параметров для ползучести, релаксации, нагружения с различными скоростями, при разгрузке, циклическом

нагрузении и т.д. Развитие численных методов исследований позволяет широко внедрять наследственные модели в расчеты элементов конструкций и решать задачи прогнозирования.

Можно выделить основные направления в современной наследственной механике:

1. Обобщение модели на случай сложно-напряженного состояния. Построение соответствующей теории.
2. Учет эксплуатационных факторов, температуры и влажности. Это особенно важно для композитов с полимерной матрицей и полимеров. Изменение температуры на 2-3 градуса в некоторых случаях увеличивает деформации на 20-30% и больше. То же и с влажностью.
3. Исследование процессов, связанных с изменением структуры и введение соответствующих дополнений в определяющее уравнение.
4. Анализ процессов старения.
5. Разработка методов определения параметров уравнений и методов численного счета.
6. Решение конкретных задач расчета элементов конструкций и самих конструкций.
7. Разработка модели долговечности, т.е. решение задач прогнозирования поведения элементов конструкций при очень длительных периодах эксплуатации.
8. Приложение аппарата наследственной механики к анализу новых материалов, например, геосинтетических материалов и нанокompозитов с полимерной матрицей.

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

NEW OPPORTUNITIES OF GAS-DYNAMIC SPRAYING OF COATINGS

Г.В. Москвитин, д.т.н., зав. лаб., В.Е. Архипов, к.т.н., в. н.с., А.Ф. Лондарский, к.т.н., с.н.с., М.С. Пугачёв, н.с., А.Ф. Мельшанов, вед. инж.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Использование газопламенного, плазменного и других методов нанесения покрытий, как правило, вызывает разогрев деталей, изменение свойств и геометрии, что приводит к дополнительным затратам на последующую термическую и механическую обработку. Метод «холодного» газодинамического напыления (ХГДН) позволяет наносить на поверхность изделий разнообразное покрытие без существенного разогрева подложки. Одним из возможных направлений развития данного метода является технология с применением медных порошков для создания прогрессивных видов покрытий, весьма важных в различных отраслях машиностроения.

Эксперименты по газодинамическому напылению покрытия меди проводились с использованием газодинамической установки модели «ДИМЕТ - 404» и порошка марки С-01-01 производства Обнинского Центра порошковой напыления, содержащего смесь частиц технической чистой меди и корунда (ТУ 1793-021-40707672-00).

Напыление меди осуществлялось на образцы, изготовленные из среднеуглеродистой конструкционной легированной стали 40Х, которая достаточно широко используется в машиностроении для изготовления ответственных деталей, например валов.

Покрытие меди на образцы из стали наносилось с расстояния - $L=10$ м при скорости перемещения образца относительно поверхности - $v=0,01$ м/с и расходе порошка - $m = 0,4$ г/сек.

Повышение температуры с 180 С до 540 С без изменения дистанции и времени напыления сопровождается существенным возрастанием твердости меди от 480 МПа до 980 МПа (см. линию 1, рис.1).

Формирование слоя меди происходит за счёт соударения пластичных частиц меди с подложкой и воздействия твёрдых частиц корунда, которые деформируют и уплотняют их. Нагрев приводит к повышению скорости потока воздуха и вводимых в него частиц; возрастанию энергии их соударения с подложкой и между собой. За счёт этого увеличивается степень деформации меди, что приводит к повышению твёрдости. Таким образом, показано, что с увеличением температуры потока воздуха напыление с постоянной дистанции и без изменения времени процесса приводит к значительному повышению твёрдости медного покрытия.

Однако с увеличением времени напыления (три и, особенно, пять проходов - циклов) зависимость твёрдости меди от температуры напыления имеет несколько иной характер. При нанесении меди с температурой потока воздуха 180 С твёрдость меди значительно возрастает и достигает 1117 МПа (см. линию 3, рис.1).

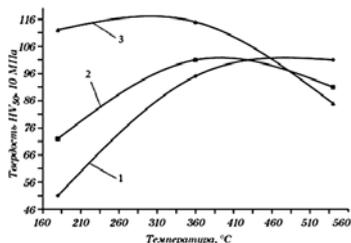


Рис. 1. Зависимость твердости меди от температуры напыления при разном количестве проходов: скорость перемещения — 10–2 м/с; расстояние от сопла — 10–2 м; расход порошка $0,4 \cdot 10^{-3}$ кг/с; 1 — один проход; 2 — три прохода; 3 — пять проходов.

Аналогичное, но не столь существенное повышение твёрдости с увеличением времени напыления, наблюдается при температуре 360 С, где твёрдость меди достигает величины в 1160 МПа (см. линию 3, рис.1). При этом, снижение твёрдости более существенно при увеличении времени (числа циклов) напыления (см. линию 2 и 3, рис.1).

Показано, что основным механизмом влияния на свойства медных покрытий, нанесённых при низкой температуре, является деформация пластичных частиц твёрдыми. При напылении с температурой 400 С на свойства покрытия дополнительно оказывает влияние тепловое воздействие потока воздуха.

На основе дюрометрического анализа медных покрытий выявлена область технологических режимов напыления, при использовании которых свойства покрытия не зависят от времени процесса. Твёрдость медных покрытий при определённых параметрах напыления может достигать 1200 МПа, что соответствует твёрдости латуни со степенью деформации 30-50%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Архипов В.Е., Лондарский А.Ф., Мельшанов А.Ф., Москвитин Г.В., Пугачёв М.С. Свойства медных покрытий, нанесённых газодинамическим напылением. Упрочняющие технологии и покрытия. №9, 2011, с.17-23.

ВОЛНОВОЕ ДИСПЕРГИРОВАНИЕ ГАЗА В ЖИДКОСТИ

WAVE DISPERSION OF A GAS IN A LIQUID

Д.А. Жебынев, к.ф.-м.н., в.н.с, **А.С. Корнеев**, к.т.н., с.н.с.

Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

Предложен новый способ диспергирования газа в жидкости за счет импульсов давления, создаваемых волнами, распространяющимися от гид-родинамического генератора колебаний. Созданы и экспериментально исследованы устройства, реализующие данный способ – волновые диспергаторы. Получены амплитудно-частотные характеристики волновых процессов в диспергаторах и функции плотности распределения газовых пузырьков по размерам. Показано, что имеются оптимальные значения давления воды на входе в диспергатор, при которых достигается наименьший размер пузырьков. Средний диаметр газовых пузырьков, создаваемых волновыми диспергаторами в воде на оптимальных режимах работы, составил от 0,3 до 0,6 мм в зависимости от расхода газа.

ТЕХНОЛОГИЯ СВЕРХПЛАСТИЧЕСКОЙ ФОРМОВКИ И СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ В ИПСМ РАН: ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

TECHNOLOGY OF SUPERPLASTIC PRESSURE SHAPING AND WELDING IN THE INSTITUTE OF PROBLEMS OF METALS SUPERPLASTICITY OF RAS: CURRENT STATE AND PROSPECTS

Р.В. Сафиулдин

Институт проблем сверхпластичности металлов РАН (Уфа)

Конструкции в виде тонкостенных полых панелей и оболочек широко используются в летательных аппаратах, кораблестроении и ряде инженерных сооружений. Проведенные в последние десятилетия в России и за рубежом исследования показывают, что высокая эффективность при изготовлении многослойных полых конструкций обеспечивается технологический процесс, основанный на сочетании сверхпластической формовки со сваркой давлением (СПФ/СД). Многослойные конструкции, получаемые методом СПФ/СД, называют ячеистыми, так как они представляют собой тонкостенные оболочки, поделенные изготовленными заодно с ними перегородками на множество полых ячеек (рис.1). Метод СПФ/СД в настоящее время рассматривается как один из наиболее перспективных, поскольку он обеспечивает гибкость проектирования и изготовления сложных конструкций с экономией по массе до 30% при снижении стоимости изготовления приблизительно на 50% [1].

В работе описаны результаты многолетних исследований по разработке технологии сверхпластической формовки и сварки давлением (СПФ/СД), проводимые в Институте проблем сверхпластичности металлов Российской академии наук, для получения типовых изделий авиакосмической промышленности, таких как полые лопатки, крыльцевые и корпусные панели. Проведены исследования процесса формирования твердофазного соединения при сверхпластической формовке листовых титановых сплавов. Разработаны различные методики исследований и выявлено влияние сверхпластической деформации на кинетику и механизм формирования твердофазного соединения. Приведены результаты механических и усталостных испытаний, а также неразрушающего контроля полых лопаток. Обсуждены последние результаты и перспективы развития технологии СПФ/СД.

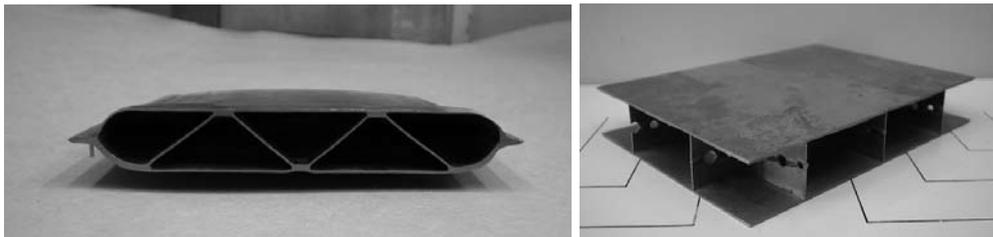


Рис. 1. Образцы трех и четырехслойных ячеистых конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров Е.Н., Родионов В.В., Кузьмин Э.Н., Лутфуллин Р.Я., Сафиуллин Р.В. Ячеистые конструкции. – Снежинск: Изд-во РФЯЦ-ВНИИТФ, 2008. – 176 с.

РЕЗОНАНСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ В СИНТЕЗЕ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ УСТОЙЧИВЫХ ДИСПЕРСИЙ ТВЕРДЫХ НАНОЧАСТИЦ

RESONANCE TECHNOLOGY IN THE LUBES' SYNTHESIS ON THE BASIS OF STABLE DISPERSIONS OF SOLID NANO-PARTICLES

В.В. Алисин, к.т.н., зав. лаб.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

В настоящее время практически исчерпаны возможности повышения эксплуатационных свойств смазочных материалов за счет применения традиционных технологий, в том числе, введения порошковых наполнителей мягких металлов и твердых смазок. Новизна предлагаемой смазки состоит в получении устойчивой дисперсии твердых нанопорошков. Традиционно для улучшения свойств смазки вводили графит, дисульфид молибдена, мягкие металлы. Твердые порошки - абразив. Применяют нанопорошки, но они существуют только в виде агрегатов. Поведение агрегата твердых нанопорошков такое же, как и мелкодисперсных порошков. В докладе приведены результаты исследования агрегатов твердых нанопорошков диоксида циркония, синтезированных по золь-гель технологии (производства НПО Технология г. Обнинск), и природного слоистого алюмосиликата — монтмориллонита, он дешевле более чем в 1000 раз. Проблема получения смазок с наночастицами сводится к проблеме дробления агрегатов нанопорошков и проблеме их равномерного распределения по объему –гомогенизации. Дробление агрегатов твердых нанопорошков осуществляется (рис.1) воздействием поверхностно активного вещества катионного типа. Гомогенизация дисперсии наночастиц проводится методом резонансной технологии. Использование резонансных режимов движения двухфазной системы имеет ряд преимуществ перед традиционной вибротехникой и ультразвуковой технологией, среди которых важнейшими являются уменьшение энергозатрат, ускорение протекания технологических процессов и повышение эффективности гомогенизации.

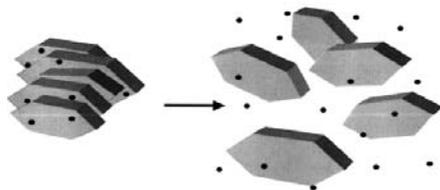


Рис.1 Деламинация частиц монтмориллонита

Предлагается пластичный смазочный материал для лубрикации рельс, содержащий дешевый природный наполнитель в виде твердых наночастиц алюмосиликатов, который качественно отличается от применяемых в ОАО РЖД смазок для рельс как по физике взаимодействия с трущимися поверхностями, так и по эффективности смазочного действия. Седиментационная устойчивость разработанной смазки, как дисперсной системы, определяется размерами индивидуальных наночастиц, которые по данным рентгено-спектрального анализа, электронной микроскопии и динамического светорас

сеяния имеют пластинчатое строение, причем толщина единичных пластинок составляет величину порядка 3-4 нм, а длина 200-500 нм.

По результатам сравнительных испытаний выполненных по Программе и методике «Лабораторно-стендовых триботехнических испытаний смазок для лубрикации контакта гребня колеса с боковой поверхностью головки рельса» (разработана ИМАШ РАН и ВНИИЖТ) предлагаемая смазка обеспечивает повышение износостойкости стальных поверхностей в 2-3 раза, в сравнении с лучшими образцами смазочных материалов, применяемых в ОАО РЖД.

ВОЛНОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МЕЗО-НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ

THE WAVE TECHNOLOGY OF MESO-NANOSTRUCTURING OF METAL ALLOYS FOR THE LARGE DETAILS

А.П. Ярлыков, директор
ЗАО «Низко-Частотная Вибрационная Технология»

В докладе рассматривается возможность мезо-наноструктурирования сплавов путём активации внутренних волновых процессов самоорганизации в зонах с повышенным уровнем свободной энергии материала крупногабаритных деталей и конструкций под воздействием низкочастотных волн.

Производится анализ результатов ранних работ автора в свете новой научной парадигмы, которая объясняет значительные изменения макро-свойств сплавов обусловленные изменениям микроструктуры на мезо- и наноразмерном уровне организации материалов.

Так, в ранней работе [1] автором была изложена и в дальнейшем [2,3] развита гипотеза улучшения свойств материалов в метаквазистабильном состоянии под действием циклической нагрузки истинно упругих величин, благодаря методически правильному выбору которой, активируются в материале волновые процессы перестройки фазоструктурных составляющих микроструктуры под действием внутренней свободной энергии нестабильного состояния. Процессы фазоструктурных превращений, в свете новой парадигмы, относят к мезо- и наноструктурному уровням организации сплавов.

В ряде работ автора (80-х и 90-х годов) комплексом металлофизических методов показано существенное влияние вибрационного воздействия соответствующих параметров на значительное изменение реологических свойств, таких как например, деформативность, а так же установлен эффект распада метастабильных фаз сплавов под действием вибрации в естественных условиях. Существенное изменение микрореологических свойств сопровождается значительным увеличением макросвойств материала крупногабаритных деталей. Например, увеличение срока службы чугунных валков сортопрокатных станов происходит в 1.5 раза, а треновых муфт из серого чугуна в 4 раза по сравнению с естественно состаренными.

В настоящее время развитие нового научного направления – физической мезомеханики позволило определённо утверждать – «Обоснован кор-пускулярно-волновой дуализм многоуровневого пластического сдвига: на макромасштабном уровне сдвиг развивается в соответствии с механикой Ньютона, на микро- и мезомасштабных уровнях – как волновой процесс локальных структурных или структурно-фазовых превращений»[4]. Здесь же показана: – «Зависимость термодинамического потенциала Гиббса $F(v)$ от молярного объема v с учетом локальных зон гидростатического растяжения различного масштаба, где могут происходить локальные структурные или структурно-фазовые превращения различного масштаба, а также структурно-фазовый распад при $F(v)>0$ ».

Опираясь на современные положения физической мезомеханики, можно считать не только экспериментально подтверждённым, но и теоретически обоснованным факт протекания в естественных условиях структурно-фазового распада метастабильных фаз (превращения), активируемое низкочастотной вибрацией определенных автором параметров нагружения, усиливающее глубинные волновые процессы на мезо- и наноуровнях его организации. После завершения процесса стабилизации состояния материала действие вибрации низкой частоты следует оценивать в большей степени с позиций механики Ньютона.

Волновой процесс локальных структурных или структурно-фазовых превращений в материале и волновое воздействие, определённых автором параметров, являются процессами единой физической природы, приводящие к существенным преобразованиям микроструктуры материалов с исходно нестабильным (метастабильным) состоянием - состоянием с повышенным уровнем внутренней свободной энергией.

Волновая природа активации внутренних процессов в материалах является основой формирования инновационной технологии.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Судник В.А., Ярлыков А.П. Механизм релаксации остаточных сварочных напряжений при циклическом нагружении // Управление сварочными процессами: сборник научных трудов. –Тула: ТулПИ. -1980.- С.62...68.
2. Ярлыков А.П. Процесс вибрационной стабилизации сплавов (виброулучшение) и обобщенная диаграмма усталости // Необратимые процессы в природе и технике: Сборник научных трудов. Труды Четвертой Всероссийской конференции 29-31 января 2007 г. Часть II. -М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, ФИАН. 2007. – 651с. - с.434-436.
3. Ярлыков А.П. Стадийность процессов деформации и виброулучшение материалов // Сборник статей по материалам Второй международной конференции «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов» DFMN-2007. -М.: ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН. 2007. – 735с. - С.226-228.
4. Основные научные результаты, полученные в 2008 году // Учреждение Российской академии наук Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН (ИФПМ СО РАН). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ispms.ru/files/achivements/2008.pdf>

ВОЛНОВОЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЕ ВЯЗКИХ НЕНЬЮТОНОВСКИХ СРЕД

WAVE MIXING OF VISCOUS NON-NEWTONIAN MEDIA

С.С. Панин, к.т.н., н.с., **Е.А. Брызгалов**, м.н.с., **Д.В. Курменёв**, м.н.с., **Н.И. Яковенко**, м.н.с.

Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

На базе научных основ нелинейной волновой механики, созданной академиком Ганиевым, коллективом Филиала ИМАШ РАН Научного центра нелинейной волновой механики и технологии РАН разработаны основы волновых технологий, находящих своё применение в различных отраслях промышленности.

К настоящему моменту времени при участии автора на основе теоретических разработок НЦ НВМТ РАН разработан отдельный класс волновых резонансных перемешивающих устройств, реализующих новые волновые эффекты и позволяющих осуществлять интенсивное перемешивание различных типов вязких сред вязкостью до 200 Па·с. Процесс перемешивания в данных аппаратах происходит за счёт организации сложных объёмных разнонаправленных течений перемешиваемой среды, порождаемых колеблющимися элементами рабочих органов.

Интенсивное перемешивание в сочетании с волновыми воздействиями на обрабатываемую среду позволяет в ряде случаев получать принципиально новые результаты, выражающиеся в существенных изменениях реологических, химических и ряда других свойств обрабатываемых сред. В качестве примера можно привести полученные результаты по повышению прочности цементного камня на 20-30% по сравнению с традиционным перемешиванием в бетоносмесителе.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОЛНОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ПРОЦЕССЫ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ТВЁРДЫХ СЫПУЧИХ СРЕД

STUDY OF OSCILLATIONS' IMPACT ON THE PROCESSES OF SOLID BULKY MEDIA CRUSHING

Н.И. Яковенко, м.н.с., **С.С. Панин**, к.т.н., н.с., **Е.А. Брызгалов**, м.н.с., **Д.В. Курменёв**, м.н.с.

Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

На основании теоретических изысканий и экспериментальных исследований в НЦ НВМТ РАН показана возможность применения некоторых волновых эффектов при измельчении твёрдых сыпучих сред.

На основе накопленных знаний в области волновой механики в НЦ НВМТ РАН под руководством академика Ганиева Р.Ф. проведена работа по исследованию влияния акустических волн на измельчение сыпучих сред. Для проведения экспериментальных исследований в НЦ НВМТ РАН были сконструированы рабочие узлы лабораторного стенда.

Проведен ряд экспериментов на лабораторном стенде по исследованию измельчения твёрдых сыпучих сред методами волновой механики. Проведена оценка степени влияния акустических волн излучаемых различными типами генераторов на общую эффективность процесса измельчения.

ОСНОВЫ ВОЛНОВОГО РАЗДЕЛЕНИЯ МНОГОФАЗНЫХ ЖИДКОСТЕЙ БЛИЗКИХ ПО ПЛОТНОСТЯМ

BASICS OF WAVE SEPARATION OF MULTI-PHASE FLUIDS OF SIMILAR DENSITY

С.С. Панин, к.т.н., н.с., **Е.А. Брызгалов**, м.н.с., **Д.В. Курменёв**, м.н.с., **В.С. Николаенко**, к.т.н., **Н.И. Яковенко**, м.н.с., **В.А. Шувалов**, н.с.

Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

На основании теоретических изысканий, проведенных в НЦ НВМТ РАН под руководством академика Ганиева Р.Ф., показана возможность применения некоторых волновых эффектов в многофазных средах для существенной интенсификации процессов разделения различных мало- средне- и высоковязких жидкостей и отделения от них механических примесей и содержащихся в них газовых включений [1].

Также в НЦ НВМТ РАН были проведены работы по математическому моделированию и экспериментальному исследованию устойчивости течения Пуазейля в канале с проницаемыми стенками. С помощью проницаемости покрытий можно в широких пределах воздействовать на устойчивость течения в пограничном слое и на уровень ги-

гидродинамического шума. Подобрать соответственно параметры конструкции, можно как турбулизовать течение, так и существенно затян timer наступление турбулентного перехода и отрыв пограничного слоя.

Волновая технология разделения многофазных сред базируется на двух основных эффектах нелинейной волновой механики: это эффект волновой коалесценции и эффект волновой ламинаризации потока многофазной жидкости. Показано, что наложение волновых полей на многофазные системы может приводить к организации различных форм движения включений внутри жидкой среды.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Нелинейная волновая механика и технологии печат. монография. Изд. «Регулярная и хаотическая динамика», Москва, 2008г. с.647-656 0.9 Р.Ф. Ганиев, Л.Е. Украинский, О.Р. Ганиев, С.Р. Ганиев, А.П. Пустовгар.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОВЫШЕННЫМИ ТРЕБОВАНИЯМИ ПО ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF MANUFACTURE OF CONSTRUCTION MATERIALS WITH HIGH LEVEL OF WATER IMPERMEABILITY

С.С. Панин, к.т.н., н.с., Е.А. Брызгалов, м.н.с., Д.В. Курменёв, м.н.с., В.С. Николаенко, к.т.н., Н.И. Яковенко, м.н.с., В.А. Шувалов, н.с.

Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

Интенсификация технологических процессов приготовления строительных растворов методами волновой технологии, разработанной в НИЦ НВМТ РАН под руководством академика Ганиева Р.Ф., основана на использовании установленных экспериментально эффектов влияния волн на пластичность раствора, а также на прочность и водонепроницаемость полученного после отверждения раствора продукта.[1-3]

Для проведения экспериментальных исследований был изготовлен испытательный комплекс, который включал в себя волновую установку для обработки строительных растворов, пресс для определения предела прочности при сжатии образцов размером, прибор для определения водонепроницаемости образцов размером, конус для определения подвижности строительного раствора.

Создаваемые в волновой установке нелинейные волновые эффекты в многофазных средах, которыми являются большинство строительных материалов (в частности, водоцементные смеси и строительные растворы), приводят к их активации и появлению новых свойств у материалов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Брызгалов Е.А., Яковенко Н.И. К исследованиям влияния волновых колебаний на высокодисперсные сыпучие среды с помощью волнового смесителя-активатора для производства модифицирующих добавок. Проблемы машиностроения и надёжности машин. 2012, №2, с.10-16.
2. Разработка волнового смесителя для перемешивания высоковязких нефтянобетонных жидкостей печат. «Проблемы машиностроения и надёжности машин», Москва, 2011, №2, с.91-100
3. Нелинейная волновая механика и технологии печат. монография. Изд. «Регулярная и хаотическая динамика», Москва, 2008г. с.647-656 0.9 Р.Ф. Ганиев, Л.Е. Украинский, О.Р. Ганиев, С.Р. Ганиев, А.П. Пустовгар.

ВОЛНОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДИЭЛЕКТРИКОВ

WAVE TECHNOLOGY IN THE MANUFACTURE OF DIELECTRICS

С.С. Панин, к.т.н., н.с., Е.А. Брызгалов, м.н.с., Д.В. Курменёв, м.н.с., В.С. Николаенко, к.т.н., Н.И. Яковенко, м.н.с., В.А. Шувалов, н.с.

Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

В настоящее время широкое применение в радиотехнике получили магнитодиэлектрики, представляющие собой композитный материал, состоящий из ферромагнитного наполнителя и диэлектрического связующего. Благодаря небольшим размерам ферромагнитных частиц магнитодиэлектрики характеризуются относительно малыми потерями на вихревые токи и хорошими частотными свойствами. В сравнении с ферритами они имеют более высокую стабильность свойств, а технология их производства обеспечивает получение изделия более высокой точности и чистоты.

В последнее время для ряда практически полезных применений, например, в качестве радиопоглощающих покрытий, стали использоваться магнитодиэлектрики с объемной долей ферромагнетика, существенно меньшей, чем

максимально возможная. Для таких магнитодиэлектриков возможны локальные изменения концентрации ферромагнетика. Оценены их влияние на свойства материала.

Приведены результаты расчётно-теоретического и экспериментального исследования, проведенного в НЦ НВМТ РАН под руководством академика Ганиева Р.Ф., процесса получения по волновой технологии [1-4] суспензии (жидкой фазы магнитодиэлектрика) на основе стиролакриловой дисперсии (латекса) и порошка карбонильного железа с заданным соотношением компонент.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ганиев Р.Ф., Брызгалов Е.А., Войтко В.В., Корнеев А.С., Николаенко В.С., Панин С.С. Исследование микроструктуры магнитодиэлектрика, полученного с использованием волновой технологии. Справочник. Инженерный журнал. 2010г., № 1, с. 3-7.
2. Ганиев Р.Ф., Брызгалов Е.А., Войтко В.В., Корнеев А.С., Николаенко В.С., Панин С.С. Волновая технология производства магнитодиэлектриков. Справочник. Инженерный журнал. 2011, №2, с.3-7.
3. Разработка волнового смесителя для перемешивания высоковязких неньютоновских жидкостей печат. «Проблемы машиностроения и надёжности машин», Москва: Наука, 2011, №2, с.91-100
4. Нелинейная волновая механика и технологии печат. монография. Изд. «Регулярная и хаотическая динамика», Москва, 2008г. с.647-656 0.9 Р.Ф. Ганиев, Л.Е. Украинский, О.Р. Ганиев, С.Р. Ганиев, А.П. Пустовгар.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МАГНИТОДИЭЛЕКТРИКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО ВОЛНОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

DIELECTRIC AND MAGNETIC PROPERTIES OF MAGNETODIELECTRICS MANUFACTURED ACCORDING TO WAVE TECHNOLOGY

Е.А. Брызгалов, м.н.с., **В.В. Войтко**, инж., **Д.В. Курменёв**, м.н.с., **В.С. Николаенко**, к.т.н., **М.В. Прокофьев** к.х.н., **С.С. Панин**, к.т.н., н.с.

Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

Одним из видов композитных материалов являются магнитодиэлектрики, широко применяющиеся как в качестве магнитных материалов для работы в высокочастотном диапазоне (сердечники трансформаторов и индуктивных элементов), так и в качестве радиопоглощающих материалов.

Эффективность использования магнитодиэлектриков в качестве радиопоглощающих материалов сильно зависит от их диэлектрических и магнитных свойств. Влияние на характеристики наряду диэлектрической и магнитной проницаемостью композита имеют также и величины диэлектрических и магнитных потерь в нем.

В свою очередь, диэлектрические и магнитные свойства материала сильно зависят от концентрации ферромагнитного наполнителя в магнитодиэлектрике. Проведенные расчеты показали, что при равномерном распределении ферромагнитных частиц в магнитодиэлектрике и диэлектрическая, и магнитная проницаемости материала растут.

Так, например, при относительной диэлектрической проницаемости связующего, равной 3 и магнитной проницаемости наполнителя, равной 2000, величины диэлектрической и магнитной проницаемостей покрытия изменяются в диапазоне от 3 до 5,3 и от 1,8 до 9,3 соответственно при изменении массовой доли наполнителя в диапазоне от 0,16 до 0,87.

Как видно из этих зависимостей, локальные флуктуации концентрации наполнителя приводят к изменению характеристик материала. Волновая технология, повышающая однородность материала, существенно увеличивает эффективность использования магнитодиэлектриков в качестве радиопоглощающего материала.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ МАГНИТОДИЭЛЕКТРИКА, ПОЛУЧЕННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЛНОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

STUDY OF MICRO-STRUCTURE OF MAGNETODIELECTRICS MANUFACTURED ACCORDING TO WAVE TECHNOLOGY

С.С. Панин, к.т.н., н.с., **Е.А. Брызгалов**, м.н.с., **В.В. Войтко**, инж., **Д.В. Курменёв**, м.н.с., **В.С. Николаенко**, к.т.н., **Н.И. Яковенко**, м.н.с., **В.А. Шувалов**, н.с.

Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

На протяжении ряда лет в НЦ НВМТ РАН проводятся расчётно-теоретические и экспериментальные работы, посвященные волновой технологии получения новых материалов, в частности, магнитодиэлектриков на основе жидкого диэлектрика и частиц ферромагнетика. Из расчётно-теоретического анализа следует, что характеристики магнитодиэлектрика зависят от соотношения объёмов диэлектрика и ферромагнетика.

Существующая технология производства магнитодиэлектриков, в которой предварительно полученная в обычных мешалках суспензия подвергается спеканию, мало пригодна для составов с концентрацией ферромагнетика, менее максимально возможной.

Представлены полученные при помощи электронного микроскопа результаты исследования микроструктуры и химического состава магнитодиэлектрика, полученного путем полимеризации суспензии стиролакриловой дисперсии и порошка карбонильного железа[1-4].

Показано, что волновая технология приготовления суспензии с заданным соотношением компонент, обеспечивает в объеме высокую степень изотропности структуры и постоянство химического состава.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ганиев Р.Ф., Брызгалов Е.А., Войтко В.В., Корнеев А.С., Николаенко В.С., Панин С.С. Исследование микроструктуры магнитодиэлектрика, полученного с использованием волновой технологии. Справочник. Инженерный журнал. 2010г., № 1, с. 3-7.
2. Ганиев Р.Ф., Брызгалов Е.А., Войтко В.В., Корнеев А.С., Николаенко В.С., Панин С.С. Волновая технология производства магнитодиэлектриков. Справочник. Инженерный журнал. 2011, №2, с.3-7.
3. Разработка волнового смесителя для перемешивания высоковязких неньютоновских жидкостей печат. «Проблемы машиностроения и надёжности машин», Москва: Наука, 2011, №2, с.91-100
4. Нелинейная волновая механика и технологии печат. монография. Изд. «Регулярная и хаотическая динамика», Москва, 2008г. с.647-656 0.9 Р.Ф. Ганиев, Л.Е. Украинский, О.Р. Ганиев, С.Р. Ганиев, А.П. Пустовг.

ПЕРЕМЕШИВАНИЕ ДИСПЕРСНЫХ СЫПУЧИХ СРЕД С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ НЕЛИНЕЙНОЙ ВОЛНОВОЙ МЕХАНИКИ

MIXING OF DISPERSIVE DRY MEDIA BY THE METHODS OF NONLINEAR WAVE MECHANICS

Е.А. Брызгалов м.н.с., **Панин С.С.** к.т.н., н.с., **Д.А. Курменёв** м.н.с., **Н.И. Яковенко** м.н.с.

Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

С помощью применения методов нелинейной волновой механики показаны возможности усовершенствования процессов перемешивания сыпучих сред, результатом которого является улучшение технологических и физико-механических характеристик готового продукта.

В основе работы лежат ранее разработанные коллективом Научного центра нелинейной волновой механики РАН под руководством академика Ганиева Р.Ф. теоретические исследования, описывающие модели и волновые эффекты процессов разуплотнения и виброперемешивания сыпучих сред и многомерные формы движений частиц среды.

На базе полученных теоретических знаний была создана экспериментальная установка смесителя-активатора, предназначенная для перемешивания сыпучих материалов под действием волновых колебаний.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что волновые методы перемешивания дисперсных сред оказывают значительное влияние на свойства обрабатываемой среды, а следовательно, и на качество получаемой продукции.

ПОВЕДЕНИЕ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПЛАСТИН ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТАТИЧЕСКИХ И ВИБРАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

BEHAVIOR OF COMPOSITE PLATES THREE-PLY MATERIALS UNDER STATIC AND VIBRATION LOADING

А.В. Березин, д.ф.-м.н., зав. лаб.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Работа посвящена экспериментальному и теоретическому изучению свойств трехслойных сотовых конструкций с обшивками, выполненными из композиционных материалов. В настоящее время трехслойные конструктивные элементы получили широкое распространение в авиационной технике. Все управляющие поверхности среднего магистрального самолета выполнены трехслойной конструкцией. Важным классом нагрузок, которые воспринимают сотовые конструкции, являются акустические нагрузки от работающих двигателей. Использование композитных материалов позволило создать конструкции, удовлетворяющие требованиям статической и акустической прочности. Представлены результаты конструктивного решения использования композитных материалов в конструкции ТУ-204.

В силу того, что основными нагрузками, действующими на сотовые панели, являются изгибные и динамические, возникает необходимость определения свойств таких панелей в зависимости от структуры панели. Испытания сотовых панелей со стеклопластиковыми и углепластиковыми обшивками производили двумя методами по схеме трехточечного изгиба и по схеме консольного изгиба. Сравнение экспериментальных и расчетных значений показывает, что расчетные значения модулей упругости меньше непосредственно измеренных примерно на 10-20%. Для оценки усталостных свойств панелей с обшивками из углепластика и стеклопластика проводили сравнительные испытания их на электродинамическом вибраторе с частотой колебания 70-100 Гц. Показано, что сотовые панели с обшивками из углепластика со стеклотканью имеют долговечность при циклическом нагружении много больше долговечности панели с обшивками из стеклопластика и металла.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ УПРУГИХ СВОЙСТВ ОДНОНАПРАВЛЕННОГО УГЛЕПЛАСТИКА

IDENTIFICATION OF ELASTIC PROPERTIES OF UNIDIRECTIONAL CARBON FIBER REINFORCED PLASTICS

А.М. Думанский д.ф.-м.н, зав. лаб.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Предложена матричная формулировка метода наименьших квадратов для оценки упругих свойств однонаправленного слоя по результатам испытаний плоских образцов на растяжение под разными углами. Задача наименьших квадратов заключается в отыскании вектора, минимизирующего норму вектора ошибок, представляющего собой расстояние от точки, определяемой в пространстве экспериментальных данных до точки расчета. Процедура определения характеристик упругости сводится к решению двух систем линейных уравнений, составленных по диаграммам деформирования образцов в продольном и поперечном направлениях, выполненном с помощью псевдообратных матриц. Проведена обработка экспериментальных данных и проверена возможность использования разработанного подхода. Показана возможность оценки погрешности измеряемых величин, связанных как с погрешностью измерения деформаций и напряжений, так и с погрешностью измерения угла между направлением армирования и направлением действия нагрузки. Представлены соображения показывающие возможность описания характеристик нелинейного деформирования однонаправленного слоя.

РАЗРАБОТКА НОВОГО АНТИФРИКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ AL-ZN-SN

NEW ANTI-FRICTION AL-ZN-SN BASED MATERIAL

И.А. Кравченкова¹, зам. дир. представительства по металлографии, **А.Н. Кравченков**², к.т.н., нач. управления научных исследований, **С.Ю. Королев**², зав. лаб. «Материаловедения», **Р.А. Новоселов**², **А.Д. Шляпин**², д.т.н., проректор по научной работе.

1. Месс+Тест ГмбХ,

2. ФГБОУ ВПО «Московский государственный индустриальный университет»

Проблема снижения потерь в узлах трения скольжения остается актуальной как в машиностроении вообще, так и в автомобилестроении, в частности. Для узлов трения скольжения в зависимости от их нагруженности применяют различные антифрикционные сплавы на основе железа, меди и алюминия.

В автомобилестроении в настоящее время широко применяется сплав алюминия с оловом АО20 в качестве рабочего слоя на стальной подложке. Его антифрикционные свойства вполне удовлетворительны, однако технология достаточно сложна, а рабочий слой до выхода из строя подшипника изнашивается не полностью, что ведет к неоправданным потерям дефицитного олова.

В связи с этим была поставлена задача замены сплава АО20 другим сплавом на основе алюминия, не уступающим ему по свойствам, в котором включения олова были бы распределены только в поверхностном рабочем слое на глубину, обусловленную требованиями к подшипникам скольжения.

Для решения этой задачи в качестве основы был выбран сплав алюминия с цинком с содержанием цинка 30 масс.%, а олово вводили в поверхностный слой на глубину до 0,5 мм методом контактного легирования.

В результате был получен композиционный материал (Al-Zn) – (Al-Zn-Sn) с регламентированной толщиной оловосодержащего поверхностного слоя. Антифрикционные свойства этого композита превосходят свойства базового сплава АО20.

ПРОЦЕСС ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЭЛАСТИЧНЫХ ПЕНОПОЛИУРЕТАНОВ С ИХ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ УТИЛИЗАЦИЕЙ

THE MILLING PROCESS FLEXIBLE POLYURETHANE FOAMS AND THEIR SUBSEQUENT DISPOSAL

Д.Л. Раков,¹ к.т.н., с.н.с., Б.М. Клименко², к.т.н., с.н.с.

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)
2. МАИ (технический университет)

Утилизация и переработка материалов являются одной из наиболее актуальных задач в современной науке и технике. В промышленно развитых странах твердые бытовые отходы образуются в значительных количествах, и их ежегодный прирост составляет от 3% до 10%. Весомую долю в твердых отходах занимают отходы пластических масс, и в частности, пенополиуретаны (ППУ). Задача тонкого измельчения эластичных пенополиуретанов (поролон) с размером частиц до 200-500 микрон не решена до сих пор. Проблема заключена в физико-химических свойствах материалов – их малая плотность (10-120 кг/м³) не позволяет провести тонкое измельчение при помощи ножевых мельниц – при увеличении скорости вращения ножей частицы начинают плавиться с выделением ядовитых веществ.

Предложенный технологический процесс происходит при периодических воздействиях в газо-воздушной смеси. В ходе экспериментов удалось добиться стабильного процесса измельчения, а также получить узкую фракцию измельченного материала. Проведенные эксперименты показали, что сверхмелкие отходы ППУ можно в количестве до 10% добавлять в исходную смесь (полиол) при производстве поролона.

Предлагаемое новое техническое решение и технология позволяют эффективно перерабатывать отходы ППУ путем сверхтонкого измельчения.

СЕКЦИЯ 2

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИЛИКАТНЫХ НАНОКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН

PERSPECTIVES OF APPLICATION SILICATE NANOCOMPOSITE MATERIALS IN OIL AND GAS WELL CONSTRUCTION TECHNOLOGY

В.Ю. Артамонов, к.т.н., с.н.с., Ю.С. Кузнецов, д.т.н., зам. дир., С.Р. Ганиев, к.т.н., с.н.с.

Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

Первые попытки применения растворимых силикатов для обработки буровых растворов относятся еще к 50-м годам прошлого века и были связаны с необходимостью укрепления стенок скважины в интервалах залегания неустойчивых отложений. В основном, инженеры-химики ориентировались на технологии закрепления грунтов при строительных работах, которые были в целом вполне успешными, но в технологии бурения глубоких скважин этот опыт давал положительный результат не часто, а сама технология обработки была сложной и плохо управляемой. Позже стало понятно, что причина неудач заключалась в упрощенном понимании химических реакций силикатов. Хорошо известно, что молекулярная структура растворимых силикатов очень чувствительна по отношению к множеству химических и физико-химических факторов и что они способны легко конденсироваться в водной фазе с образованием наноразмерных частиц аморфного кремнезема. В отношении способности образования пространственных полимолекулярных неорганических структур кремний занимает такое же уникальное положение, как углерод в отношении органических структур.

По сути, все химические реакции растворимых силикатов на деле протекают как физико-химические: на границе раздела фаз и с образованием новой коллоидной твердой фазы аморфного кремнезема и гидросиликатов металлов с валентностью выше +1. Эти соединения конденсируются в водной фазе в виде наночастиц с большой поверхностной энергией, содержащих очень большое количество молекулярно связанной воды. Развитая удельная поверхность (порядка сотен м²/г сухого вещества) и высокая свободная энергия конденсированных силикатов делает их привлекательным объектом для дальнейшей физико-химической модификации. Немаловажно, что сам кремнезем и большинство гидросиликатов (соединений с металлами), являясь аморфными аналогами самых распространенных

на Земле минералов и пород, экологически совершенно безопасны и, более того, способны эффективно поглощать тяжелые металлы, связывая их в нерастворимые соединения.

Это открывает широкие перспективы для получения новых материалов на основе кремниевых неорганических структур. В частности, в технологии строительства скважин – это и специальные буровые растворы, и кольматирующие композиции, и добавки к тампонажным растворам. В технологиях добычи нефти – это композиции для повышения нефтеотдачи, выравнивания профиля вытеснения нефти, для изоляции перетоков за колоннами обсадных труб.

Исключительно перспективным является разработка волновых технологий, использующих эффекты теории нелинейной волновой механики для получения новых материалов на основе аморфного кремнезема. При этом особенно важным является диспергирование макроагрегатов наноструктур полисиликатов, управление физико-химическими реакциями, заполнение кольматантом порового пространства пласта-коллектора при управляемой волновой кольматации и многое другое.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕГАЗОТДАЧИ ПЛАСТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМЫМИ ЗАПАСАМИ

MODERN PROBLEMS OF THE INCREASE OF OIL-GAS RECOVERY FROM THE FIELDS WITH CHALLENGED RESERVES

В.Е. Андреев, Ю.А. Котенев, В.Н. Поляков, О.А. Пташко

ГАНУ Институт нефтегазовых технологий и новых материалов Республики Башкортостан

Основная часть трудноизвлекаемых запасов России приурочена к низкопроницаемым и карбонатным коллекторам - 73%, высоковязким нефтям - 12%, обширным подгазовым зонам нефтегазовых залежей - около 15% и пластам, залегающим на больших глубинах - 7%. Разработка таких запасов с использованием традиционных технологий экономически неэффективна. Она требует применения новых технологий их освоения и принципиально новых подходов к проектированию, учитывающих особенности извлечения трудноизвлекаемых запасов (ТриЗ).

Приоритетные задачи фундаментальных и поисковых исследований ГАНУ ИНТНМ РБ состоят в создании принципиально новых научно-технических решений, направленных на интенсификацию добычи нефти и увеличение нефтеотдачи объектов с трудноизвлекаемыми запасами, в разработке и совершенствовании известных современных методов увеличения нефтеотдачи как базы для развития прикладных исследований в конкретных геологических условиях. Это актуально не только для нефтедобывающей промышленности Башкортостана, но и для всех нефтяных регионов России, где в последние годы резко сократились объемы добычи нефти, возросла обводненность добываемой продукции и многие месторождения характеризуются поздней и завершающей стадией разработкой.

Решение проблем идет по следующим направлениям:

- Создание комплексных адресных технологий освоения ТриЗ и разработка научных основ их применения.
- Геоинформационное обеспечение технологий.
- Комплексное геолого-технологическое, инженерно-техническое и экологическое сопровождение применения технологий.
- Проведение ОПР и разработка рекомендаций по широкому применению МУН.
- Промышленное внедрение технологий на месторождениях нефтяных компаний.

В качестве методологической основы используется разработанная методика геоинформационной идентификации остаточных запасов и геолого-промышленного обоснования применения методов увеличения нефтеотдачи пластов для объектов разработки нефтяных месторождений.

На основе анализа структуры остаточных запасов нефтяных месторождений предложены принципиальные подходы к созданию адресных технологий повышения нефтеотдачи, снижения обводненности продукции и интенсификации добычи нефти, позволяющие варьировать характером и величиной воздействия в зависимости от построения конкретной пластовой системы (рис.).

Для высокообводненных терригенных и карбонатных пластов, а также залежей высоковязких нефтей в результате обширного комплекса теоретических, лабораторных и промышленных исследований разработан на уровне изобретений (7 патентов РФ) широкий спектр технологий микробиологического и биоконструктивного воздействия на пласт с использованием биореагентов на основе отходов БОС, активных добавок и биохимически очищенных вод.

В результате проведенного многоуровневого геолого-статистического анализа ОПР получены модели для прогнозирования эффективности микробиологического и биоконструктивного воздействия и установлены геолого-технологические критерии их успешного применения.



Рис. Блок-схема адресных технологий освоения ТриЗ

Для карбонатных коллекторов созданы технологии ограничения водопритоков и интенсификации добычи нефти и газа с применением реагентов «КАРФАС» (гелеобразующая композиция) и «СКРИД» (солянокислотный раствор избирательного действия).

Для высокообводненных терригенных пластов предложена технология ограничения водопритоков с использованием гелеобразующих составов «ЦЕОЛИТ», «АСС-1», «ГЕОПАН» на основе алюмосиликатов, растворов кислот и полимеров, а для высокотемпературных пластов - технология выравнивания профиля приемистости пласта термогелеобразующей композиции РВ-ЗП-1 на основе алюмохлорида и карбамида.

Разработаны теоретические основы многокомпонентной фильтрации с учетом процессов осадко-гелеобразования в технологиях освоения трудноизвлекаемых запасов нефти. Составлены основные уравнения фильтрации и гелеобразования в призабойной зоне скважин, рассмотрены физико-химические аспекты осадко-гелеобразования реагентов на основе алюмохлорида и карбамида, алюмосиликатов и растворов кислот, проведен теоретический анализ кинетики процессов образования гелей. Составлены математические модели термогелеобразующего и алюмосиликатно-кислотного воздействия на пласт. Установлены основные закономерности образования устойчивых гелевых барьеров в различных геолого-физических условиях. Исследовано влияние на эффективность процессов гелеобразования концентрации исходных реагентов и объемов закачки композиционных систем. Разработана инженерная методика расчета и оптимизации параметров геолообразующего воздействия на пласт.

Для низкопроницаемых и низкопродуктивных коллекторов разработаны волновые, комплексные, механохимические и механомикробиологические технологии интенсификации добычи нефти выравнивания профиля приемистости пласта и увеличения коэффициента охвата пласта воздействием.

Для залежей тяжелых высоковязких нефтей и месторождений природных битумов предложены термические способы интенсификации процесса нефтеизвлечения с использованием специальных скважинных теплоагрегаторов для производства комбинированных теплоносителей - парагаза и воды с высокими термодинамическими параметрами.

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ДОБЫЧИ И ЗАМЕЩЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ

SCIENTIFIC AND PRACTICAL METHODOLOGY PRINCIPLES OF EFFICIENCY INCREASING OF HYDROCARBON EXTRACTION AND SUBSTITUTION TECHNOLOGIES

О.В. Кравченко, к.т.н., зам. дир.

Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины

Работа посвящена научно-практическим основам применения методологии усовершенствования технологий добычи и замещения углеводородных энергоносителей, в первую очередь, водородной технологии интенсификации добычи углеводородов, в том числе метана угольных месторождений, а также энергоэффективной гидрокавитационной технологии получения и сжигания альтернативных композиционных топлив.

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ГАЗОКОНДЕНСАТООТДАЧИ ПЛАСТОВ С ПОМОЩЬЮ ВОЛНОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

SCIENTIFIC BASIS OF INCREASE THE GAS CONDENSATE RECOVERY DUE TO WAVE INFLUENCE

В.М. Зайченко¹, д.т.н., зав. лаб., **И.Л. Майков**¹, д.ф.-м.н. в.н.с., **Л.Е. Украинский**², д.т.н., директор, **О.Р. Ганиев**², к.ф.-м.н., с.н.с.

1. ОИВТ РАН

2. Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

1. Исследовалось поведение пористой насыщенной газоконденсатом среды, моделирующей газоконденсатный продуктивный пласт. Результаты теоретического и лабораторный эксперимент показали, что основные процессы, влияющие на фильтрацию углеводородов, происходят в результате появления в системе при понижении давления ниже давления начала конденсации, так называемых ретроградных пробок.

2. Результаты математического моделирования показали возможность существования автоколебательных режимов в рассматриваемых системах. Экспериментальные исследования также выявили колебания расхода. Расчетный и экспериментальный периоды колебаний находятся в хорошем соответствии (несколько десятков секунд).

3. Было установлено, что возможно существование двух режимов движения системы:

1) для периода, моделирующего начало эксплуатации газоконденсатных месторождений – большие перепады давления и возникновение подвижной ретроградной пробки. Пробка медленно движется в пористой среде к выходному сечению, моделирующему забой добывающей скважины. При этом расход газовой фазы уменьшается. При достижении пробкой выходного сечения возникает автоколебательный режим. Внешнее периодическое воздействие с частотой, близкой к частоте автоколебаний, приводит к увеличению расходов жидкой и газовой фаз. Результаты моделирования показывают, что для достижения существенных ростов расходов (на 20% и более) достаточно воздействий с незначительной амплитудой (10% от перепада давлений).

2) для периода, моделирующего эксплуатацию газоконденсатных месторождений на конечном этапе, перепад давления мал, и автоколебания не возникают. Ретроградная пробка может находиться достаточно далеко от забоя скважины в неподвижном состоянии. Волновое воздействие в этом случае приводит к изменению термодинамических условий с последующим испарением жидкости с нулевой фазовой проницаемостью и, соответственно, увеличением выхода газовой фазы.

4. Проведенные экспериментальные исследования показали адекватность разработанных моделей, наличие периодических решений, совпадающих по периоду с расчетными. Экспериментальные исследования волнового воздействия на частотах автоколебаний показали увеличение расхода для смеси метан – н-бутан до 41% и смеси метан-пропан-бутан – до 220%.

5. Предложена методика по использованию волновых методов воздействия и проведения опытных промысловых экспериментов для отработки волновой технологии разработки газоконденсатных месторождений.

КОНЦЕПЦИЯ ОСРЕДНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОИСКЕ ТРАЕКТОРИИ ТРЕЩИНЫ

THE CONCEPT OF AVERAGING THE STRESS IN A SEARCH OF THE CRACK PATH

Ю.Г. Матвиенко, д.т.н., зав. отд., **М.А. Бубнов**, к.т.н., с.н.с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Существует два фундаментальных подхода в анализе траектории трещины, а именно, пошаговый метод, основанный на локальных критериях разрушения, и интегральный метод. В настоящей статье рассмотрен пошаговый метод, основанный на концепции максимальных средних тангенциальных (МСТ) напряжений, для прогнозирования направления роста трещины. Этот критерий основан на том, что трещина распространяется тогда, когда МСТ напряжения в зоне процесса разрушения у вершины трещины достигают критического значения, и направление роста трещины определяется направлением действия МСТ напряжений. Тангенциальные напряжения описываются сингулярной и несингулярной (Т-напряжения) составляющими напряжений в решении Уильямса. Прогнозируемые направления углов разрушения находятся в соответствие с экспериментальными данными для случая смешанного (по типу Iи II) типа трещин в известняке. Применение предложенного подхода обсуждено для случая гидравлического разрыва нефтяных пластов. Напряженное состояние в окрестности нефтяной скважины предполагается определять с помощью программных комплексов ANSYSiLS-DYNA для того, чтобы оценить траекторию трещины посредством критерия МСТ напряжений.

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ВОЛНОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТОПЛИВ

THE PROSPECTS OF WAVE TECHNOLOGY FOR PREPARATION OF ENERGY FUELS

В.И. Кормилицын, д.т.н., зав. лаб., **С.Р. Ганиев**, к.т.н. с.н.с., **А.В. Бакурский**, м.н.с., **С.В. Лосев**, зам. дир.,
Н.Б. Юшков, м.н.с.

Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

Волновые технологии являются прорывными (базисными) инновациями, в основе которых лежат фундаментальные научные достижения в области нелинейной волновой механики, разработанной коллективом НЦ НВМТ РАН. Они позволяют реализовать как ранее недоступные технологические решения, так и реализовать качественно новый способ уже известные технологические процессы, существенно повысив их эффективность.

Решение проблемы рационального расходования энергетических ресурсов с высокими технико-экономическими и экологическими показателями существенно зависят от технологии приготовления и сжигания топлива. Одним из путей решения данной проблемы является подготовка и собственно сжигание топлива в виде водо-топливных эмульсий, что с целью получения альтернативного топлива позволяют существенно повысить энергоэффективность использования топлива и энергетического оборудования, а также повысить надежность эксплуатации оборудования и снизить вредные выбросы в окружающую природную среду. Топливная эмульсия в виде тонкодисперсной высокоомогенной фазы (альтернативное топливо) положительно влияет на процессы сжигания, для создания которых применены волновые технологии. Здесь исходные компоненты топлива специально обрабатывают кавитационным воздействием с интенсификацией физико-химических процессов, в результате которых получается альтернативное топливо с новой результативностью процесса его сжигания.

О КОЛЕБАНИЯХ БУРОВЫХ КОЛОНН ПРИ БУРЕНИИ НЕГЛУБИННЫХ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН И ИХ МОДЕЛИРОВАНИИ

ABOUT VIBRATIONS OF CHISEL COLUMNS AT DRILLING OF NOT DEEP OIL-WELLS AND THEIR MODELLING

Л.А. Хаджиева¹, д.ф.-м.н., **А.Б. Кыдырбекулы**², д.т.н., зав. лаб.

1. Казахский национальный университет им. аль-Фараби

2. Институт механики и машиноведения им. У.А. Джолдасбекова МОН РК

Работа посвящена прикладным задачам динамики нелинейных деформируемых сред. Рассматривается движение буровой штанги неглубинного бурения (до 500 м), применяемой в нефте-газодобывающей промышленности.

Бурение нефтяных и газовых скважин является весьма дорогостоящим процессом. Постоянное наращивание объемов буровых работ, вызванное необходимостью роста добычи нефти для обеспечения растущей потребности населения, сопровождается рядом проблем, затрудняющих безаварийный процесс добычи нефти. Известно, что до 30 % буровых скважин бракуются. Основными факторами браковки скважины является ее искривление и поломка буровых штанг. Интенсивность искривления скважины зависит от действия многих факторов различной природы: геологической, технологической и технической.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Вибрации в технике. Справочник: в 6-ти т. – М.: Машиностроение, 1978. – Т.1. – 352 с.
2. McIvor I.K., Bernard J.E., The Dynamic Response of Columns Under Short Duration Axial Loads, University of Michigan, 1973.
3. Lazan B.J., Damping of Materials and Members in Structural Mechanics, Pergamon Press, Oxford, New York, 1968.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ГОМОГЕНИЗАЦИИ ЭМУЛЬСИЙ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБЕССОЛИВАНИЯ НЕФТИ

THE APPLICATION OF WAVE TECHNOLOGIES OF EMULSIONS' HOMOGENIZATION FOR THE INTENSIFICATION OF OIL DESALTING PROCESSES

И.Г. Устенко, н.с., Н.Б. Юшков, м.н.с.

Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

Наличие солей в нефти причиняет тяжелые и разнообразные осложнения при переработке. Процесс обессоливания осложняется, когда в нефти имеются «сухие» соли, не удаляемые при экстракции содержащейся в нефти пластовой воды. В таких случаях необходима дополнительная операция – промывание нефти водой. Для чего нефть эмульгируется с пресной водой, и полученная эмульсия подвергается повторному разложению.

Предлагается волновая технология обессоливания нефти. Она позволяет получить качественную эмульсию при относительно малых энергозатратах. Интенсивное диспергирование и получение тонкой и гомогенной эмульсии будет способствовать снижению потребления чистой воды, высокой степени очистки нефти. Принцип предлагаемой технологии основан на волновом воздействии на многокомпонентную жидкость, позволяющем получить высокие степени дисперсности и гомогенизации.

Эти волны возбуждаются специальным гидродинамическим генератором. Генератор функционирует под действием потока жидкости, прокачиваемой через него. Частота и амплитуда излучения подобраны таким образом, чтобы вызвать интенсивный процесс диспергирования.

Была составлена математическая модель смешения двухфазной среды в кавитирующем турбулентном течении, проведены испытания по промывке нефти ООО «Лукойл-Пермнефтеоргсинтез».

Полученные результаты дают возможность:

- повысить эффективность смешения нефти и воды за счет увеличения дисперсности и гомогенности водонефтяной эмульсии;
- снизить расход чистой воды на промывку;
- максимально снизить уровень остаточного содержания солей в нефти;
- интенсифицировать процесс и снизить энергозатраты на промывку нефти и последующую сепарацию воды.

ВОЛНОВОЙ МЕТОД ОЧИСТКИ ПРИЗАБОЙНЫХ ЗОН ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ ОТ КОЛЬМАТИРУЮЩИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ. КРИТЕРИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЛНОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ.

A WAVE METHOD FOR BOTTOMHOLE FORMATION ZONE CLEANING FROM MUDDING CONTAMINATION. A CRITERION FOR ESTIMATION OF WAVE INFLUENCE EFFICIENCY.

Л.Е. Украинский, д.т.н., директор, О.Р. Ганиев, к.ф.-м.н., с.н.с., И.Г. Устенко, н.с.,

Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

Загрязнение порового пространства продуктивного пласта является одной из причин, уменьшающих дебит нефтескважин. В настоящее время используется большое количество различных способов очистки призабойной зоны пласта (ПЗП), в том числе с использованием волновых технологий.

Однако, несмотря на то, что волновые технологии используются в течение многих лет, они до сих пор применяются эмпирически, что ведет к снижению их эффективности. В работе обосновывается возможность получения с помощью волнового воздействия сил, значительных по величине, которые могут действовать на частицы, кольматирующие поровое пространство.

Рассмотрена отдельная частица загрязнения, находящаяся в поровом пространстве под волновым воздействием. Считается, что на нее действуют следующие основные силы, направленные вдоль фильтрационного течения, которое принимается одномерным:

1. Сила, вызванная перепадом статического давления в ПЗП, т.е. разницей пластового давления и давления на забое скважины:

$$F_1 = \Delta P \frac{V}{L}$$

где ΔP - перепад статического давления в ПЗП,

V - объем кольматирующей частицы,

L - характерная длина ПЗП.

2. Сила адгезии, удерживающая частицу на стенке поры:

$$F_2 = M \times S$$

где M - коэффициент адгезии, определяющий удельную силу, приходящуюся на единицу площади соприкосновения тел;

S - площадь соприкосновения частицы и стенки поры.

3. Сила, вызванная волной давления в жидкости:

$$F_3 = \frac{\partial p(x,t)}{\partial x} V$$

где $p(x,t)$ - поле волнового давления.

4. Инерционная сила:

$$F_4 = \frac{\partial w(x,t)}{\partial t} m$$

где $w(x,t)$ - скорость перемещения стенки поры;

m - масса кольматирующей частицы.

Для того чтобы волновое воздействие оторвало частицу от стенки поры необходимо, чтобы сумма сил, вызванных волновым воздействием, была направлена противоположно силе, прижимающей частицу к стенке поры, и по модулю превосходила ее, т.е.

$$|F_1| + |F_2| \leq |F_3 + F_4|$$

После некоторых упрощений получим:

$$\frac{|\Delta P|}{L} + \frac{|M|}{r} \leq \left| \frac{\partial p}{\partial x} + \rho \frac{\partial w}{\partial t} \right| \quad (1)$$

где ρ - плотность вещества кольматирующих частиц;

r - характерный размер кольматирующей частицы.

Соотношение (1) является критерием, который определяет необходимое условие волновой очистки.

Если оно выполнено, силы, наведенные волновым воздействием, на некотором интервале времени будут превышать силы, удерживающие кольматирующие частицы в поре.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОЛНОВОЙ ОБРАБОТКИ НА ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ, НАСЫЩЕННОЙ ЖИДКОСТЬЮ

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF WAVE TREATMENT INFLUENCE ON FILTRATION PROCESSES IN A LIQUID-FILLED POROUS MEDIUM.

Л.Е. Украинский, д.т.н., директор, И.Г. Устенко, н.с., Н.В. Гун, инж.

Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

Были проведены экспериментальные измерения проницаемости лабораторной модели пласта при волновом воздействии при натуральных термобарических условиях залегания продуктивных пластов. Эти исследования проводились на экспериментальном стенде «Пласт», созданном в ОИВТ РАН.

Моделировались следующие типы загрязнений:

- кольматация пласта буровым раствором при бурении скважины;
- осаждение в поровом пространстве мелких частиц разрушенной породы, вынесенных из пласта к ПЗП добы-

ваемыми продуктами;

- капиллярно-удерживаемая пластовая вода, препятствующая фильтрации углеводородов.

В ходе данной работы были сконструированы и изготовлены две волновые установки, позволяющие возбуждать волны различного частотного диапазона и интенсивности. Были проведены исследования влияния различных параметров волнового воздействия на восстановление проницаемости породы в зависимости от типа и особенностей загрязнения, а также от свойств пласта.

Было экспериментально подтверждено возбуждение в пласте резонансных частот. Значения этих частот, полученные из эксперимента, хорошо совпали с расчетными значениями. Показано, что резонансные режимы работы обеспечивают существенно более эффективную очистку пор от коагулирующих частиц, чем нерезонансные.

Было показано, что при загрязнении экспериментального участка монтмориллонитовой глиной волновая обработка приводит к резкому, скачкообразному повышению проницаемости. Также было показано, что даже если время волнового воздействия было недостаточным для заметной очистки модели, то коагулянт существенно ослаблялся.

Было показано, что повышение стационарного перепада давления затрудняет очистку ЭУ от данного типа загрязнения. Тем самым был экспериментально подтвержден предложенный критерий, определяющий условия эффективной волновой очистки.

Исследовалась эффективность волнового метода очистки продуктивного пласта, загрязненного буровым раствором. Показано, что в отличие от загрязнения однокомпонентным глинистым раствором наличие односторонне направленного течения флюида оказывает положительное влияние на процесс очистки, поскольку способствует выносу коагулянтных частиц из порового пространства.

Экспериментально исследовался вопрос о влиянии волнового воздействия на вытеснение капиллярно-удерживаемой воды. Экспериментально показана высокая эффективность волнового метода для восстановления проницаемости ПЗП в случае коагуляции подобного типа.

СЕЛЕКТИВНАЯ ИЗОЛЯЦИЯ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ

SELECTIVE ISOLATION OF PRODUCTIVE FORMATION

А.П. Аверьянов, д.т.н., г.н.с.

Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

Основные добывающие месторождения России находятся в поздней и завершающей стадиях разработки нефтегазовых залежей. При этом проблемами глобального характера является стабилизация текущего уровня добычи углеводородного сырья и снижение темпов обводнения добываемой продукции. Поэтому одним из наиболее важных и крупномасштабных научно-прикладных направлений совершенствования технологии эксплуатации скважин является ограничение объемов попутно добываемой воды. В этой связи разработаны системные подходы и технологические решения по долговременной селективной изоляции продуктивных пластов от водонасыщенных при заканчивании и эксплуатации скважин.

В условиях закономерного роста обводненности залежей и снижения добычи нефти одним из наиболее значимых и крупномасштабных мероприятий по совершенствованию технологии эксплуатации скважин является ограничение объемов попутно добываемой воды. Это ведет к снижению темпов снижения текущей добычи, стабилизации (или уменьшению) обводненности добываемой продукции, создавая благоприятные гидродинамические условия по вовлечению в разработку извлекаемых запасов нефти.

В работе предлагаются новые научно-технологические подходы и решения по долговременной селективной изоляции продуктивных пластов от водонасыщенных при заканчивании и эксплуатации скважин.

Для достижения нелинейного роста показателей эксплуатации вновь строящейся скважины (повышение дебита, снижение обводненности), на этапе первичного вскрытия продуктивной толщи последовательно производится две изоляционные операции. Первая – гидромониторная коагуляция поверхности фильтрации флюидонасыщенных пластов продуктивной толщи в процессе первичного вскрытия глинистыми или полимерглинистыми промывочными жидкостями (метод малых проникновений).

Вторая – изоляция высокопроницаемых поглощающих, водогазопроявляющих пластов (при наличии их в разрезе) закачиванием высокоструктурированных паст и тампонажных смесей при гидравлически совершенных режимах нагнетания.

Как показали результаты внедрения в производство технологии комбинированного разобщения пластов и методов изоляции промытых зон герметичность крепи сохраняется в течение 10 - 15 лет эксплуатации скважин, а коэффициент продуктивности увеличивается в 1,5 – 3,6 раза по сравнению с серийными скважинами. Область эффективного применения комплекса селективной изоляции продуктивных пластов от водонасыщенных - при заканчивании новых и эксплуатации действующего фонда скважин.

ОПТИМИЗАЦИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ БУРЕНИЯ И ЗАКАНЧИВАНИЯ СКВАЖИН

HYDRAULIC CONDITIONS OF WELL DRILLING AND COMPLETION

О.Р. Ганиев, к.т.н., с.н.с., **А.П. Аверьянов**, д.т.н., г.н.с.

Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

Основными факторами, определяющими гидравлические условия бурения скважин являются нестационарные виброволновые процессы гидромеханического и физико-химического взаимодействия технологических жидкостей (промысловые, тампонажные) с комплексом горных пород пристволенной и призабойной зон. Спонтанно изменяющиеся амплитудно-частотные характеристики действующих в скважине давлений (репрессии, депрессии) на забой и стенки приводят в большинстве случаев к осложнениям, нарушающим технологию буровых работ, снижающим их эффективность и качество.

Перспективным научно-техническим направлением оптимизации гидравлических условий бурения и заканчивания скважин являются методы контроля и регулирования технического состояния необсаженного ствола и гидромеханического упрочнения пристволенной зоны гидромониторной кольматацией стенок направленными струями буровых и тампонажных растворов.

Как показывает промысловый опыт, эффективная гидроизоляция скважины от комплекса проницаемых пород (исключение – интенсивно поглощающие пласты) достигается совмещением процессов бурения и кольматации ствола гидромониторными струями глинистого раствора. При применении оптимальных режимов гидромониторной обработки, формируемый в пристволенной зоне кольматационный экран толщиной (15 – 25)·10⁻³ м повышает гидромеханическую прочность ствола до градиента горного давления и снижает коэффициент приемистости проницаемых пород до 0,01·10⁻² м³/с·МПа и менее при действии репрессий. А также выдерживает действие депрессий в терригенных коллекторах 2 – 4 МПа, в карбонатных 3 – 5 МПа.

При заканчивании скважин гидромеханическое упрочнение пристволенной зоны скважины (комплекса флюидонасыщенных пластов продуктивной толщи) позволяет успешно решать промысловые задачи: сохранить природные коллекторские свойства продуктивных пластов, изолировать продуктивные пласты от посторонних флюидонасыщенных пластов, предупредить заколонные проявления, сократить сроки работ по освоению и вводу скважин в эксплуатацию.

Промысловая реализация системных технологий гидромеханического упрочнения ствола обеспечивает эффективную оптимизацию гидравлических условий бурения и заканчивания скважин и нелинейный рост качественных и технико-экономических показателей буровых работ. В результате отмечается рост научно-технического уровня развития буровых работ за счет реализации системных принципов, основой которых являются: информатизация, организация и управление технологических процессов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОЛНОВОЙ ОЧИСТКИ ПРИЗАБОЙНЫХ ЗОН ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ

EXPERIMENTAL PROOF OF WELL BOTTOMHOLE WAVE PURIFICATION

Г.Н. Гранова, к.т.н., ученый секретарь, **Л.Е. Украинский**, д.т.н., директор, **Ю.С. Кузнецов**, д.т.н., зам. дир.

Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

Теоретические эффекты перемещения частиц, капель и жидкости в порах при воздействии волн, описанные в предыдущих разделах были проверены экспериментально. С этой целью в лабораторных условиях было проведено полномасштабное бурение цилиндрических образцов породы, размеры которых соответствовали размерам реальных скважин. Бурение проводилось вдоль оси образцов. В процессе бурения буровой раствор проникал в призабойную зону и глинистые частицы, содержащиеся в нем, не только осаждались на поверхности образца породы, но и проникали внутрь на некоторую глубину. Пробуренный образец породы распиливался вдоль плоскости, проходящей через его ось. Визуально отмечено, что от поверхности отверстия до некоторой глубины наблюдается затемнение, вызванное проникновением бурового раствора. Другой образец бурения был подвержен волновой обработке. Частоты волн выбирались исходя из расчетов, сделанных именно для среды, из которой изготовлен образец и для его геометрических размеров с таким расчетом, чтобы организовать в загрязненной зоне образца движение глинистых частиц к центральному отверстию. После этого этот второй образец также был распилен, загрязнение исчезло. Таким образом, можно сделать вывод, что волны обеспечили очистку призабойной зоны скважины от загрязнения глинистыми частицами бурового раствора. Этот же эффект был подтвержден замерами проницаемости образцов, которые были сделаны до распила образцов. Сделан вывод о том, что проницаемость очищенного образца более чем в три раза выше, чем у загрязненного.

ЗАМЕНА СТАЛЬНЫХ ТРУБ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫМИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ СКВАЖИН СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

REPLACEMENT OF STEEL PIPES BY POLYETHYLENE DURING SPECIAL PURPOSE WELL CONSTRUCTION

Р.Ю. Сухоруков, к.т.н., зам. дир.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Учитывая большую экологическую нагрузку от многотоннажных жидких отходов современных производств на окружающую среду определенную привлекательность приобретают технологии их складирования в природных ловушках отработанных месторождений нефти и газа.

Для реализации таких технологий необходимо строительство специальных скважин, обсаженных коррозионно-стойкими колоннами, например из высокопрочного полиэтилена.

По сравнению со стальными трубами пластмассовые имеют существенные преимущества: высокую коррозионную стойкость к агрессивным средам, низкие потери на трение при транспортировке по ним жидкостей и газов, относительная легкость в сравнении со стальными трубами, сравнительно малая жесткость, что позволяет применять различные упрощенные технологические схемы спуска обсадных колонн в скважины специального назначения.

В работе рассмотрены основные свойства полимерных труб: усталостные свойства, релаксация напряжения, химическая стойкость пластмассы и эластомеров.

На основании проведенных испытаний в более чем 370 различных средах с более чем 15 различными по свойствам образцами полимерных материалов сделано заключение, что полиэтилен жесткий наиболее подходящий материал для изготовления обсадных колонн.

Обобщая изложенное можно заключить, что трубы из полиэтилена необходимо применять для складирования коррозионно- и эрозивно-активных многотоннажных отходов химических и атомных производств с целью их захоронения в специально подготовленных изолированных подземных хранилищах.

СПОСОБ РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНОЙ ОТОРОЧКИ НЕФТЕГАЗОВОЙ ЗАЛЕЖИ METHOD OF OIL RESERVOIR OIL RIM DEVELOPMENT

Д.В. Апулин¹, м.н.с., **В.Ю. Артамонов**², к.т.н., с.н.с., **С.М. Петров**³, ген. дир., **Р.И. Резяпов**⁴, инж.

1. ООО «ТюменНИИгипрогаз»

2. Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А.

Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

3. ОАО «Самаранефтегаз»

4. ООО «РН-УфанИПИНефть»

Предложен способ разработки нефтяной оторочки, предусматривающий организацию поддержания давления внутриконтурным заводнением в сочетании с закачкой газа выше начальной отметки газо-нефтяного контакта.

Проведенный анализ пятилетнего периода эксплуатации одного из нефтегазоконденсатных месторождений Тюменской области с тонкой нефтяной оторочкой и обширной подгазовой зоной, объем которой, в условных единицах, более чем в шесть раз превышает запасы конденсата и в десять раз запасы нефти показал, что разработка месторождения при истощении пластовой энергии только газоконденсатных частей залежи отрицательно скажется на последующем извлечении запасов нефти.

Это вызвало необходимость пересмотра основных решений по системе разработки и совершенствования стратегии развития добычи нефти на месторождении. На основе трехмерной геологазогидродинамической модели выполнены расчеты технологических показателей разработки по трем вариантам:

- вариант 1, предусматривает разработку газоконденсатных и нефтяных частей залежей в режиме истощения пластовой энергии при добурировании дополнительных газоконденсатных скважин;
- вариант 2, характеризуется разработкой газоконденсатных частей залежей в режиме истощения пластовой энергии, а нефтяных частей с поддержанием пластовой энергии при внутриконтурном заводнении;
- вариант 3, предусматривает поддержание пластового давления в нефтяной части залежи, с помощью внутриконтурного заводнения и организацию закачки газа в прилегающие к контуру нефтеносности газоконденсатные скважины.

В третьем варианте для повышения степени выработки запасов углеводородной продукции помимо внутриконтурного заводнения, предложено организовать поддержание пластового давления в газовой части залежи, непосредственно примыкающей к нефтяной оторочке. С этой целью 10 уже пробуренных газоконденсатных скважин

переводятся под нагнетание части отсепарированного количества газа в объемах 1.0-1.3 млрд. м³/год в приконтурную часть оторочки. Количество добываемых и нагнетательных скважин со вскрытием нефтяной оторочки, система их размещения аналогична предыдущему варианту. Результаты расчетов представленные на графиках рисунка 5, показали, что организация сайклинг-процесса в газоконденсатной части пласта в совокупности с поддержанием давления в нефтяной оторочке способствовали наиболее полному вытеснению нефти к забоям добывающих скважин и оказали непосредственное влияние на увеличение конечного коэффициента нефтеотдачи, который изменился в большую сторону по сравнению с предыдущим вариантом, и за тот же период разработки достиг 0,319 доли ед. (таблица 1). За расчетный период нефтяными скважинами отобрано 11014 тыс.т нефти при сохранении начальных дебитов на уровне 52 т/сут соответственно.

На основе проведенной работы сделан вывод о том, что при условиях оптимального размещения нефтяных скважин, вскрытии нефтенасыщенного пласта горизонтальным забоем, интенсификации добычи газоконденсатными и нефтяными скважинами существенно повышается экономическая эффективность разработки нефтегазоконденсатного месторождения с применением сайклинг-процесса.

Проведение предлагаемых мероприятий по поддержанию пластового давления позволяет, за счет предотвращения дальнейшего снижения давления на контуре с нефтяной оторочкой, не только увеличить конечные коэффициенты извлечения нефти, но и повысить конденсатоотдачу пластов.

РАЗРАБОТКА НОВЫХ МЕТОДОВ КОЛЬМАТАЦИИ И УПРОЧНЕНИЯ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ ПЛАСТОВ-КОЛЛЕКТОРОВ

DEVELOPMENT OF NEW METHODS OF WELL BOTTOMHOLE RESERVOIR STRENGTHENING

В.Ю. Артамонов¹, к.т.н., с.н.с., Ю.С. Кузнецов¹, д.т.н., зам. дир., Д.Р. Султанов², асп.

1. Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)
2. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Основной причиной снижения продуктивности пластов-коллекторов нефти и газа является глубокое проникновение фильтрата бурового раствора, формирование зоны проникновения (ЗП) с существенно более низкой фазовой проницаемостью по нефти, чем незатронутая часть пласта. Этот неблагоприятный процесс особенно активно протекает при вскрытии интервалов геологического разреза с низкими градиентами гидроразрыва. В этих интервалах при спуске бурового инструмента в стенках ствола скважины могут образовываться вертикальные трещины гидроразрыва относительно небольшой протяженности, которые, тем не менее, существенно увеличивают площадь фильтрации бурового раствора, приводят к расширению зоны проникновения и значительно ухудшению условий для качественного цементирования, последующего освоения и эксплуатации нефтяных и газовых скважин.

В последние годы за рубежом при бурении скважин все большее распространение получает технология «wellbore strengthening» - упрочнения стенок скважины и повышения градиента гидроразрыва. Это достигается, главным образом, за счет применения буровых растворов с низкой фильтрацией и специальных закупоривающих добавок, которые внедряются в трещины в момент их образования, расклинивают их и, не проникая далеко вглубь трещины, увеличивают касательные напряжения в стенках скважины, увеличивая тем самым градиент гидроразрыва.

Технология кольматации стенок скважин, разработанная в России в 70-е и 80-е годы прошлого века (в том числе при непосредственном участии авторов), фактически позволила решить эти же задачи: повышения градиента гидроразрыва, снижения проницаемости призабойной зоны в кольматационном слое и повышения качества строительства скважин в целом. Существенное отличие российской технологии – применение специальных кольматирующих устройств, обеспечивающих гидродинамическое и гидромеханическое воздействие на глинистую корку и тонкий слой породы-коллектора в призабойной зоне скважины. От свойств этого тонкого кольматационного слоя в решающей степени зависит как повышение градиента гидроразрыва (wellbore strengthening), так и снижение размеров ЗП и в целом: качество и долговечность скважины как сооружения, и реализация ее эксплуатационного потенциала.

В настоящее время нами осуществляется развитие этой технологии в двух главных направлениях: в качественном усовершенствовании гидродинамических методов обработки ствола скважины и в придании необходимых физико-химических свойств тем буровым растворам, с помощью которых производится обработка ствола и формируется кольматационный слой в поровом пространстве пласта-коллектора. И в первом, и во втором случае разработка новых методов кольматации и упрочнения призабойной зоны пластов-коллекторов основывается на фундаментальных принципах волновой механики, разработанных академиком Р.Ф.Ганиевым и его школой.

УПРАВЛЯЕМАЯ ВОЛНОВАЯ КОЛЬМАТАЦИЯ КАК СПОСОБ УПРОЧНЕНИЯ СТЕНОК СКВАЖИНЫ

CONTROLLABLE WAVE COLMATATION AS A WELLBORE STRENGTHENING

В.Ю. Артамонов¹, к.т.н., с.н.с., **В.Н. Игнатьев**², к.т.н., ген. дир., **И.И. Макарова**³, асп., **Д.Р. Султанов**³, асп.

1. Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)
2. Управление служебными зданиями ОАО «Газпром»
3. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Особенностью любой технологии строительства открытого забоя является обязательное применение щадящей кольматации для сохранения естественной проницаемости продуктивных пластов. На основании теоретического обоснования эффективности и целесообразности применения технологии искусственной кольматации приствольного участка проницаемых пластов, школами профессоров Мавлютова М.Р., Кузнецова Ю.С., Полякова В.Н. и других было установлено, что для снижения фильтрационных процессов между скважиной и пластом эффективно использовать метод искусственной кольматации и во всех случаях необходимо стремиться к уменьшению толщины фильтрационной корки.

Управление процессом кольматации обеспечивается специально созданным устройством, получившем название гидроэлеватор НГ-ЗК.

Совмещение гидроэлеватора с кольматором позволило решить проблему упрочнения открытого ствола скважины и первичного вскрытия продуктивных горизонтов без нарушения их естественных фильтрационно-емкостных свойств.

Промысловые испытания показали высокую эффективность и целесообразность применения этого устройства при вскрытии продуктивных горизонтов.

Сравнительные испытания показали увеличение на 23% проходки на долото и механической скорости бурения на 34%. Кроме повышения показателей работы долот к достоинствам данной конструкции следует отнести способность стабилизировать наклонно направленный ствол, простота и легкость изготовления, технологичность применения и высокая износостойкость.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ ПЕРЕТОКОВ В НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИНАХ

ENVIRONMENTAL RISK OF OVERFLOWS IN OIL AND GAS WELLS

В.Ю. Артамонов¹, к.т.н., с.н.с., **И.И. Агадуллин**², ген. дир., **А.С. Васильев**¹, н.с., **В.И. Урманцев**¹, д.т.н., г.н.с.

1. Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)
2. ЗАО «Энергия Иж»

Предприятия нефтяной и газовой отрасли, являясь субъектом-природопользователем, неизбежно оказывают техногенное влияние на окружающую среду. Исследованиями влияния топливно-энергетического комплекса на окружающую природу показано, что нефтяная и газовая отрасли занимают соответственно четвертое и пятое место по тяжести техногенного воздействия.

Проблема охраны недр при неуклонном стремлении повышения нефтегазоотдачи пластов имеет большое самостоятельное значение для развития общества. Запасы углеводородов в недрах конечны и сравнительно небольшие, потребности в нефти и газе постоянно увеличиваются. Это обуславливает самое пристальное внимание к проблемам рационального использования природных ресурсов и повышению экологической и промышленной безопасности объектов на всех стадиях производственного цикла, начиная с момента строительства промышленных объектов, извлечения сырья и заканчивая реализацией готовой продукции.

Одним из основных условий безопасной эксплуатации объектов добычи и хранения углеводородного сырья является обеспечение герметичности заколонного и межколонного пространства скважин. Анализ ситуации основных нефтегазодобывающих регионов показывает, что число скважин, в которых фиксируются межколонные проявления, весьма велико. Как правило, число таких скважин зависит не только от условий конкретного месторождения, оно возрастает по мере увеличения срока его эксплуатации. Межколонные проявления обуславливают: растворение

или перееотложение цементирующих фаз естественных и искусственных флюидопоров, коррозионное воздействие на состояние элементов подземного оборудования, неконтролируемый выход пластового флюида на «дневную» поверхность или его миграция в другие пласты, истощение месторождений.

На примере Бованенковского и Харасавэйского месторождений показано формирование локальных углеводородных скоплений в верхней надпродуктивной части разреза на глубинах от 15...30 до 260...270 м - надсеноманские непромышленные «залежи». Проведенные ими исследования углеводородных газов (УВГ), геохимия и изотопный состав углеводорода метана, позволили определить их природу. Причем авторами выделено два типа областей загрязнения, различающихся глубиной источника генерации техногенных УВГ.

В первом случае концентрации техногенных углеводородов прослеживаются до глубины первых метров и ниже слоя сезонотальных пород - все показания понижаются до фоновых. Это свидетельствует о том, что загрязнение поверхностных отложений и верхней части криолитозоны происходит сверху - за счет попадания в зону опробования нефтепродуктов, разлитых на поверхности.

Во втором случае концентрации техногенных УВГ возрастают с глубиной, по мере приближения к предполагаемому источнику загрязнения - разведочным или добывающим скважинам. Исходя из этого, можно предположить, что формирование областей техногенного загрязнения данного типа является результатом нарушения сплошности эксплуатационной колонны с последующими утечками УВГ в местах дефектов и возможным их перетоком по межколонному или затрубному пространству скважин.

ИЗОЛЯЦИЯ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ПЛАСТОВ ПРИ БУРЕНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СКВАЖИН

WATER-SATURATED FORMATIONS ISOLATION IN DRILLING AND WELL OPERATION

И.И. Макарова¹, асп., **Ю.С. Кузнецов²**, д.т.н., зам. дир., **С.Р. Ганиев²**, к.т.н., с.н.с., **С.М. Петров³**, ген. дир.

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

2. Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

3.ОАО «Самаранефтегаз»

Решение проблемы ограничения водопритоков предполагает наличие дифференцированной информации о водопритоках в нефтяные скважины с учетом строения залежи, знания динамики состояния околоскважинных изменений при прорыве подошвенных или краевых вод по конусу и др.

Эффективность технологий ограничения водопритоков и повышения продуктивности скважин по нефти определяется тем, насколько выбранный механизм их реализации соответствует механизму порождения водопроявлений.

Разработана рабочая гипотеза, где одним из главных является требование по созданию такой технологии первичного вскрытия, которая позволила бы изолировать водопритоки по промытым зонам продуктивных пластов и в дальнейшем обеспечить возможность направленного воздействия на призабойную и удаленную зоны пласта с целью увеличения добычных возможностей нефтяных скважин.

Основной послужила теория физической адсорбции и один из главных ее постулатов, что молекулы адсорбируются немедленно после того, как они достигают поверхности адсорбента, что важно в условиях бурящейся скважины.

В результате гидрофобные радикалы молекулы обращаются в сторону адсорбента, т.е. породы, а полярные группы молекулы обращаются в сторону воды, в результате чего увеличивается количество связанной воды и изменяется ее фазовая проницаемость.

Обработка призабойной зоны пласта при бурении и эксплуатации скважин гидрофобными реагентами, в частности кремнийорганическими МДК «Кварц» приводит к гидрофобизации стенок породы и вызывает сдерживающий эффект на процессы водопроницаемости и повышает проницаемость призабойной зоны пласта (ПЗП) по нефти. Гидрофобизация пласта способствует процессам капиллярного всасывания нефти и облегчает ее фильтрацию.

Среди обработанных 65 добывающих скважин имеются скважины с аномально высоким приростом добычи нефти. 5 скважин с суммарным дебитом нефти до обработки 7,5 т/сутки после обработки работала с дебитом (в период максимальной эффективности) 81 т/сутки.

Таким образом, результаты лабораторных исследований и промышленных испытаний подтверждают теоретические предпосылки по эффективности применению гидрофобизирующих добавок при бурении и эксплуатации нефтедобывающих скважин.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ЗАКОЛОННОГО ПРОСТРАНСТВА СКВАЖИН

LEAKPROOFNESS ENSURENCE OF WELL BOTTOMHOLE ZONE

И.И. Макарова¹, асп., **Р.Ю. Кузнецов**², д.т.н., дир., **А.Ф. Аржанов**³, д.т.н., ген. дир., **О.Р. Резяпов**⁴, ст. техн.

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)
2. ООО «ВолгоУралНИПИгаз»
3. ЗАО «Роснефтебазэкспорт»
4. «Оренбургская буровая компания»

Условия, способствующие проникновению флюида в затрубное пространство, несмотря на большое количество работ в этой области, изучены недостаточно. Наиболее опасным является прорыв газа, поэтому анализ следует сосредоточить в этом направлении. Всесторонний анализ материалов по основным месторождениям показал, что на пример, газопроявления начинают возникать после цементирования через 3-48 часов.

В практике бурения были случаи, когда газопроявления отмечаются через более поздний срок, когда цементный камень уже сформировался.

В общем случае, все авторы отмечают следующие возможные пути продвижения газа в затрубном пространстве скважин:

1. По каналам, образованным вследствие негерметичности резьбовых соединений;
2. По каналам из-за негерметичности соединений частей колонной головки;
3. По нарушениям целостности обсадных колонн;
4. По каналам, возникшим в самом цементном камне при его твердении;
5. По каналам, на 1штатных зонах цементного камня.

Были случаи, когда через затрубное пространство скважин в сутки проникали сотни м³ воды и газа. Это указывает на наличие значительных каналов в затрубном пространстве.

Известны случаи, когда даже при соблюдении всех требований, которые выработала практика к цементам и процессу цементирования, в скважинах происходили затрубные проявления. В результате возник ряд гипотез, в которых делались попытки объяснить причины движения пластовых флюидов, хотя причина одна – гидравлическая связь флюидонасыщенных пластов с открытым стволом скважины, всё остальное – следствие этой причины

В докладе приведена технология, специальные материалы и технология, обеспечивающие герметичность заколонного пространства нефтяных и газовых скважин.

ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ ПРОДУКТИВНОГО ПЛАСТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ВОЛНОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

TECHNOLOGY OF RESERVOIR BOTTOMHOLE PURIFICATION USING WAVE TECHNOLOGIES

В.В. Маслов¹, к.т.н., ген. дир., **В.Н. Сонин**², к.т.н., нач. отд., **Д.Р. Султанов**³, асп., **И.И. Макарова**³, асп.

1. ЗАО «Сервисный центр Буровые технологии»
2. ОАО «Газпром»
3. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Несмотря на достаточно высокий уровень современных технологий заканчивания скважин, вопрос снижения продуктивности нефтяных и газовых пластов вследствие отрицательного воздействия буровых технологических жидкостей при вскрытии является актуальным и, следовательно, актуальным остается вопрос очистки призабойной зоны пластов при освоении скважин для получения потенциально возможных значений нефте- и газоотдачи.

Энергетически выгодным при этом становится использование технологий, основанных на резонансных эффектах теории нелинейных колебаний. Очистка призабойной зоны в данной технологии достигается за счет эффектов управляемого воздействия волновым генератором, включенным в компоновку низа насосно-компрессорной или гибкой трубы.

Из теории нелинейной волновой механики многофазных систем, в частности эффекта односторонне направленных движений в волновом поле известно, что можно подобрать такие характеристики волнового поля, при реализации которых могут возникнуть существенные фильтрационные потоки из матрицы пласта в сторону дренажных каналов, градиент давления которых на 2 порядка выше, чем градиенты, создаваемые при существующих режимах вытеснения. С учетом теоретических представлений, разработана технология очистки призабойной зоны пласта.

Для этого способа разработаны и запатентованы техническое устройство и технология его применения, которые проходят испытания на скважинах ОАО «Самаранефтегаз». Применение данной технологии очистки позволяет увеличить проницаемость, добиться практически полной очистки призабойной зоны, повысить дебит скважины.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ НАДДОЛОТНОГО УСТРОЙСТВА С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ БУРЕНИИ

CONSTRUCTION MODIFICATIONS ABOVE-BIT DEVICES TO INCREASE TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS OF IN DRILLING

В.В. Маслов¹, к.т.н., ген. дир., **Ю.С. Кузнецов**², д.т.н., зам. дир., **Ю.П. Скворцов**², к.т.н., с.н.с., **Д.Р. Султанов**³, асп.

1. ЗАО «Сервисный центр Буровые технологии»

2. Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

3. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Многими исследователями как отечественными, так и зарубежными, установлена зависимость скорости бурения скважин от дифференциального давления промывочной жидкости.

Снижение дифференциального давления до известных пределов может быть осуществлено уменьшением плотности промывочной жидкости (снизится гидростатическое давление) и уменьшением количества прокачиваемой жидкости.

Расчеты показывают, что бурение часто ведется при $R_{диф} = 4 - 5$ Мпа, и это давление постоянно увеличивается по мере углубления скважины, т.е. бурение ведется практически в той области зависимости показателей бурения от дифференциального давления, когда какие-либо вариации с уменьшением плотности и расхода промывочной жидкости не оказывают существенного влияния на показатели работы долот. Кроме того, большая плотность промывочной жидкости и большой расход являются неизбежными для поддержания устойчивости ствола скважины, предотвращения нефтегазоводопрооявления, для обеспечения работы забойного двигателя. Поэтому авторами была поставлена одна из задач, которая могла бы решить вопрос о снижении дифференциального давления не по всему вскрытому пласту, а непосредственно в зоне работы долота. На основании вышеуказанной проблемы авторами была создана и опробована на месторождениях Оренбуржья, Татарии, Башкирии и Нефтеюганского района конструкция гидроэлеватора НГ-3, которая отвечает всем вышеперечисленным требованиям.

Наддолотный гидроэлеватор представляет собой устройство, позволяющее снизить дифференциальное давление на забое бурящейся скважины, тем самым резко улучшить условия очистки забоя от выбуренной породы. С этой целью в юбке гидроэлеватора, который устанавливается над долотом, смонтированы четыре диффузора, а на корпусе, методом сварного шва, установлены четыре гидроузла, которые ориентированы по вертикальному направлению к диффузорам, и имеют форму незамкнутых цилиндров. Калибрующая поверхность юбки выполнена из твердосплавного материала «экопур» по всей образующей цилиндра. Юбка гидроэлеватора делит затрубное пространство на две зоны, причем эффективность работы устройства напрямую зависит от плотности прилегания поверхностей юбки гидроэлеватора и стенок скважины. В процессе бурения промывочная жидкость проходит через струйные насосы гидроэлеватора, создавая определенное разрежение в зоне работы долота, что приводит к кратному повышению механической скорости углубления забоя. Промысловые испытания показывают эффективность и целесообразность применения этого устройства при вскрытии продуктивных горизонтов.

РАЗРАБОТКА НЕФТЯНЫХ ОТОРОЧЕК СКВАЖИНАМИ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ ОКОНЧАНИЕМ

DEVELOPMENT OF WELL OIL RIMS WITH HORIZONTAL END

С.М. Петров¹, ген. дир., **Д.В. Апулин**², м.н.с., **В.Ю. Артамонов**³, к.т.н., с.н.с., **Р.И. Резяпов**⁴, инж.

1. ОАО «Самаранефтегаз»

2. ООО «ТюменНИИгипрогаз»

3. Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А.

Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

4. ООО «РН-УфаниПИНефть»

Предложен способ разработки нефтяных оторочек газоконденсатных скважин Собинского месторождения, предусматривающий организацию поддержания давления внутриконтурным заводнением в нагнетательных скважинах с горизонтальным окончанием.

Для обоснования коэффициентов извлечения нефти пласта Собинского нефтегазоконденсатного месторождения были выполнены расчеты по пяти вариантам, отличающихся плотностями сеток скважин, конструкцией забоев, методами воздействия на пласт. В первом варианте разработку нефтяных оторочек осуществляли без поддержания пластового давления. Во втором варианте, при сохранении способа разработки, организация добычи нефти

осуществлялась по разряженной сетке скважин. В третьем варианте разработка нефтяных оторочек осуществлялась при реализации системы поддержания пластового давления закачкой воды по площадной семиточечной схеме, сформированной на основе размещения наклонно-направленных скважин с вертикальным вскрытием пласта, аналогично первому варианту. В четвертом варианте, разработка нефтяных оторочек осуществлялась по разряженной сетке, аналогично варианту три. Добыча нефти проводилась системами горизонтальных скважин с реализацией внутриконтурного заводнения. В варианте пяти, в отличие от четвертого, для повышения эффективности разработки нефтяной оторочки, осуществлялась замена нагнетательных скважин с вертикальным окончанием на горизонтальные. Длина горизонтального участка в нагнетательных скважинах, также как и в добывающих составляла 400 метров. Проведение ГРП в добывающих и нагнетательных скважинах не проводилось.

Полученные, на основе технико-экономического анализа результаты расчетов показали, что на участке нефтяной оторочки, ни одна из рассмотренных систем не обеспечила эффективной выработки запасов нефти. Наиболее привлекательным оказался вариант №5.

Таким образом, полученные, на основе технико-экономического анализа результаты, позволили рекомендовать для дальнейшей реализации систему разработки нефтяной оторочки с поддержанием пластового давления закачкой воды в скважинах с горизонтальным окончанием.

СТРУЙНО-ВОЛНОВОЙ КОЛЬМАТАТОР И МАТЕРИАЛ «КВАРЦ» В ТЕХНОЛОГИЯХ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ

JET-WAVE COLMATATOR AND MATERIAL "QUARTZ" IN OIL RECOVERY ENHANCEMENT TECHNOLOGIES

Д.Р. Султанов¹, асп., Ю.С. Кузнецов², д.т.н., зам. дир., О.Р. Ганиев², к.т.н., с.н.с., С.М. Петров³, ген. дир.

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)
2. Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)
3. ОАО «Самаранефтегаз»

Исследования по вытеснению остаточной нефти из продуктивных пластов показывают, что основным механизмом ее удержания является капиллярная нефть. В соответствии с фундаментальными исследованиями для вытеснения капиллярно удержанной нефти необходимо создание нестабильности на поверхности фронта глобулы, что может быть достигнуто за счет изменения капиллярного давления, величина которого определяется уравнением Лапласа.

Анализ уравнения Лапласа для глобулы нефти в единичной поре показывает, что падение давления вдоль поры зависит от геометрии поры, межфазного натяжения и фильности породы.

В породе, из которой состоят пласты, краевой угол смачивания не превышает 1000. Вода, смачивая поры, создает на границе раздела фаз капиллярное давление, удерживающее в них нефть. В процессе эксплуатации скважин вода постепенно накапливается в призабойной зоне, блокируя приток нефти.

Если поверхность породы коллектора обработать материалом "Кварц" с краевым углом смачивания 1720, то капиллярное давление изменит свой знак на обратный и будет способствовать вытеснению воды из капилляра.

С целью повышения качества вскрытия продуктивных горизонтов на площадях, разбуриваемых НГДУ «Азнакаевскнефть», была разработана технология первичного вскрытия, сочетающая бурение с одновременной обработкой ствола скважины струйно-волновым кольмататором с добавкой гидрофобного реагента «Кварц».

Основной объем работ был проведен на добывающих скважинах с различными коллекторскими свойствами пластов, различной обводненностью и дебитами продукции. Практически все работы проведены при ремонте уже простаивающих скважин, т.е. попутно при плановых ремонтах. Достигнутые результаты подтверждают теоретические и лабораторные исследования по эффективному применению реагента "Кварц".

Для скважин, которые при эксплуатации будут подготавливаться под глубокую обработку кремнийорганическим гидрофобным материалом «Кварц», рекомендуется на этапе первичного вскрытия обработать проникаемую поверхность продуктивных горизонтов 0,1 % суспензией порошка "Кварц" в органическом растворителе (ШФЛУ, дистилляте, керосине, бензине, нефти). Для достижения максимального эффекта необходимо проводить обработку пласта реагентом через струйно-волновой кольмататор НГ – 3К. В результате образуется низкопроницаемый кольматационный экран, препятствующий дальнейшей гидродинамической связи пласта со скважиной, что повышает герметичность заколонного пространства, качество разобщения водо- и нефтенасыщенных пластов, а в конечном итоге увеличивает безводный период эксплуатации скважин.

ТЕХНОЛОГИЯ «ЩАДЯЩЕЙ» КОЛЬМАТАЦИИ В ПРОЦЕССЕ УГЛУБЛЕНИЯ ЗАБОЯ

TECHNOLOGY OF SPARING BOREHOLE STRENGTHENING IN BOTTOMHOLE DEEPING PROCESS

Д.Р. Султанов¹, асп., В.Ю. Артамонов², к.т.н., с.н.с., А.С. Васильев², н.с.

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)
2. Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

Особенностью любой технологии строительства открытого забоя является обязательное применение щадящей кольматации для сохранения естественной проницаемости продуктивных пластов. На основании теоретического обоснования эффективности и целесообразности применения технологии искусственной кольматации приствольного участка проницаемых пластов, школами профессоров Мавлютова М.Р., Кузнецова Ю.С., Полякова В.Н. и других было установлено, что для снижения фильтрационных процессов между скважиной и пластом эффективно использовать метод искусственной кольматации и во всех случаях необходимо стремиться к уменьшению толщины фильтрационной корки. И конечно было бы ошибочным полагать, что на толщину фильтрационной корки воздействует только показатели фильтрации бурового раствора. Анализируя известную формулу, связывающую объем фильтрата с показателями качества бурового раствора, убеждаемся, что с приближением концентрации твердых частиц в буровом растворе к концентрации твердых частиц в корке, толщина фильтрационной корки при прочих равных условиях уменьшается, так как с выравниванием концентраций твердых частиц в корке и буровом растворе скорость фильтрации стремится к нулю:

$$V_{\phi} = A \sqrt{2k_{np} \left(\frac{C_{\kappa}}{C_p} \right) \Delta P} \frac{t}{\mu} \quad (1)$$

где V_{ϕ} – объем фильтрата;

A – площадь фильтра;

k_{np} – проницаемость фильтрационной корки;

C_{κ} – объемная доля твердых частиц в корке;

C_p – объемная доля твердых частиц в буровом растворе;

ΔP – перепад давления на фильтре;

t – время фильтрации;

μ – вязкость фильтрата.

Как видно из приведенной формулы, толщина фильтрационной корки существенно зависит от дифференциального давления в скважине, проницаемости пород и вязкости фильтрата бурового раствора. Для того чтобы уменьшить толщину фильтрационной корки, необходимо в первую очередь снизить дифференциальное давление в скважине. При сбалансированном давлении в скважине, когда дифференциальное давление на забое равно нулю, фильтрационная корка на забое не образуется.

На базе гидроэлеватора НГ-3 конструкция гидроэлеватора, со встроенным кольмататором, которая получила название гидроэлеватор НГ-3К.

Совмещение гидроэлеватора с кольмататором позволило решить проблему первичного вскрытия продуктивных горизонтов без нарушения их естественных фильтрационно-емкостных свойств.

Промысловые испытания показали эффективность и целесообразность применения этого устройства (НГ-3К) при вскрытии продуктивных горизонтов. В таблице приведены результаты испытания наддолготного гидроэлеватора НГ-3К на скважине 1269П Восточно-Сургутского месторождения. Сделано 7 долблений в интервале 2646-2968 м, долота 3-215,9-СГВ-2, турбобур ТСШ-195. Суммарная проходка составила – 322 м, суммарное время бурения – 33,5 час. Средняя проходка на долото составила 46 м. Средняя механическая скорость составила 9,61 м/час. Проведено сопоставление с результатами бурения скважин в идентичных условиях и в сопоставимых интервалах.

№№ скв.	Интервал бурения	Кол-во долот	Суммар. время бурения	Средняя проходка на долото	Средняя мех. скорость
2866	2 7 6 4 - 2 9 2 7 163	4	17,5	40,75	9,31
2846	2 7 5 2 - 2 8 7 6 124	4	16,0	31,0	7,75
2901	2 7 6 0 - 2 8 9 6 136	3	15,0	45,33	9,06
2912	2 7 6 7 - 2 9 7 8 211	6	40,0	35,16	5,27
Итого средние показатели		17	88,5	37,29	7,16

Сопоставляя полученные по скважине № 1269П со средними данными по перечисленным выше скважинам получено: увеличение проходки на долото 23,35 %; увеличение механической скорости бурения – 34 %; средняя стойкость долот по рассмотренным скважинам составила 5,2 часа по скважине № 1269П составила 4,8 часа. Результаты геофизических исследований показали по кривой кавернометрии в интервале 2832-2848 на отсутствие глинистой корки, а в интервале 2828-2832 наблюдается глинистая корка толщиной 1-4 мм, в то время как интерпретация кавернометрии соседних скважин показывает в этом же интервале толщину глинистой корки 15-20 мм. Кроме повышения показателей работы долот к достоинствам данной конструкции гидроэлеватора следует отнести способность стабилизировать наклонно направленный ствол, простота и легкость изготовления, технологичность применения и высокая износостойкость.

СЕКЦИЯ 3

ОСНОВЫ ВОЛНОВОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

BASICS OF WAVE FUNCTIONAL DIAGNOSTICS OF CARDIOVASCULAR SYSTEM

Академик **Р.Ф. Ганиев**¹, директор, **С.А. Бойцов**², д.м.н. директор, **Д.Л. Ревизников**³, д.ф.-м.н., г.н.с., **А.Н. Рогоза**⁴, д.б.н. в.н.с., **Л.Е. Украинский**³, д.т.н., директор, **М.М. Лукьянов**, к.м.н.

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)
2. Государственный научно-исследовательский центр профилактической медицины
3. Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)
4. Институт кардиологии им. А.Л. Мясникова РКНПК МЗ РФ

Последние годы ознаменовались внедрением в научно-исследовательскую и практическую работу кардиологических учреждений современных методов анализа пульсовых волн давления в сердечно-сосудистой системе с целью повышения точности диагностики доклинических (начальных) поражений сердечно-сосудистой системы. Широкое распространение получили зарубежные приборы, предназначенные для «прогнозирования» динамики давления в камерах сердца, аорте и основных ее ветвях, основанные на линейных моделях. Однако практическое использование традиционных средств получения и «линейного» анализа сфигмограмм фактически привело, по мнению ведущих специалистов, к «кризису доверия», когда остаются необъяснимыми ряд экспериментальных фактов.

В НИЦ НВМТ РАН создана математическая теория, позволившая разработать оригинальные алгоритмы анализа пульсовых волн, основанная на обработке двух сигналов с разных сосудов.

Она позволяет определять все характерные точки пульсовых волн, измерять скорость их распространения, по которой можно судить об упруго-демпфирующих свойствах сосудов. Кроме того, она позволяет определять волновые характеристики пульсовых волн не только на периферии сердечно-сосудистой системы, но и вблизи сердцу (в аорте)

Разрабатываемая в НИЦ НВМТ РАН аппаратура нового поколения основана на метрологически обеспеченных сфигмодатчиках с низким уровнем шума, адекватных нелинейных моделях сосудистого русла, «сопряженных» с соответствующей моделью левого желудочка и позволяет проводить «биомеханически обоснованную» интерпретацию получаемых при клиническом обследовании результатов двухканальной сфигмографии. Предварительные клинические испытания макетных образцов дали положительные результаты.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ПУЛЬСОВЫХ ЯВЛЕНИЙ В АРТЕРИАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

QUANTITATIVE ANALYSIS OF PULSE PHENOMENA IN THE ARTERIAL SYSTEM

Д.Л. Ревизников¹, д.ф.-м.н., А.Н. Рогоза², д.б.н., Ю.В. Сластуженский¹, И.Г. Устенко¹, н.с.,

1. Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)
2. Российский кардиологический научно-производственный комплекс МЗРФ

Настоящая работа проводится в рамках реализуемой в НЦ НВМТ РАН программы создания методов сфигмографии высокого разрешения. В докладе представлены как методы прямого численного моделирования гемодинамики артериальной системы, так и математические методы обработки результатов измерений профиля пульсовой волны в различных сосудах. Разработанная математическая модель дает возможность получить детальную пространственно-временную картину течения крови в различных артериях с учетом таких эффектов, как нестационарный импульсный характер поступления крови от сердца, упругость оболочек сосудов, отражение пульсовой волны от бифуркаций и терминальных сосудов. Обработка данных измерений позволяет осуществить формирование осредненной периферийной пульсовой волны, синтез и контурный анализ центральной пульсовой волны, декомпозицию центральной пульсовой волны на прямую и обратную волны и вычисление времени пробега пульсовой волны. Комплексное применение высокоточной регистрирующей аппаратуры и разработанного математического аппарата является основой для создания эффективной диагностической базы нового поколения.

РАЗРАБОТКА ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА АППАРАТА «АНАЛИЗАТОР ПУЛЬСА» ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СЕРДЕЧНО - СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА НА ПРИНЦИПАХ НЕЛИНЕЙНОЙ ВОЛНОВОЙ МЕХАНИКИ

THE DEVELOPMENT OF PILOT SAMPLE OF PULSE ANALYSER DEVICE FOR DIAGNOSIS OF HUMAN CARDIOVASCULAR SYSTEM ON THE PRINCIPLES OF NON-LINEAR WAVE MECHANICS.

Л.Е. Украинский, д.т.н., директор, В.П. Касилов, к.т.н., с.н.с., Д.Л. Ревизников, д.ф.-м.н., И.Г. Устенко, н.с. Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

Разработан функционального диагностического комплекс с неинвазивным съемом информации о пульсовых явлениях в магистральных артериях на основе апланационной тонометрии и анализа полученных данных методами нелинейных волновых процессов. Эта аппаратура позволяет экспресс-методом (за 3-5 минут) провести обследование сердечно-сосудистой системы человека и оценить не только электрическую активность сердца, но и его насосную функцию, гидродинамическую картину его работы, а также проверить эластичность магистральных сосудов.

Аналогов, выпускаемых в РФ, в настоящее время нет. Существуют зарубежные аналоги: «Сфигмокор»-Австралия, «Комлиор»-Франция, «Вазера»- Япония.

От зарубежных аналогов разрабатываемый диагностический комплекс отличается:

- высокочувствительным оптоэлектронным датчиком оригинальной конструкции, разработанным в ИМАШ РАН;
- многоканальным модулем сбора данных и обработки сигналов с возможностью подключения электрокардиографа и тонометра;
- возможностью прямого измерения скорости распространения пульсовой волны;
- улучшенным функциональным обеспечением, а именно комплексным анализом пульсовых явлений в различных сегментах артериального русла;
- оригинальными алгоритмами анализа сигнала пульсовой волны с использованием методов нелинейной волновой механики;
- существенно более низкой стоимостью.

Технические характеристики прибора

Интерфейс	USB
Разрядность АЦП	12 bit
Число каналов	4 (2 оптических + 1 ЭКГ + 1 доп.)
Частота опроса на канал	250 Гц
Доп.возможности	Педаль управления записью сигнала

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ АНТРОПОМОРФНЫХ БИОПРОТЕЗОВ РУК И НОГ

CONCEPT OF CREATION OF ALGORITHMS OF MANAGEMENT OF ANTHROPOMORPHOUS BIOARTIFICIAL LIMBS OF HANDS AND FEET

Е.И. Воробьев, д.т.н., г.н.с. **А.К. Скворчевский**, д.т.н., зав. лаб.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Предложены математические модели структур антропоморфных протезов рук и ног, с различным числом степеней свободы (3,5,15)

Особенностью предлагаемых моделей является использование приводов, протезов, типа "искусственная мышца" Для построения алгоритмов управления протезом при выполнении различных бытовых и производственных движений, производится разделение движений на переносные, ориентирующие, и захват объекта.

Характеристики приводов принимаются нелинейными, приближающимися к характеристикам естественных мышц человека (модель Хилла).

Построение алгоритмов управления производится на основе концепции обратных задач динамики. Даны примеры построения кинематических и динамических алгоритмов управления антропоморфными протезами с "искусственными мышцами", построенными на основе электро- гидравлического эффекта.

ТОЧЕЧНЫЕ МОДЕЛИ ГАМИЛЬТОНОВЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В БИОМЕХАНИКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБРАЗОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

IMAGE BASED POINT-CLOUD MODEL OF THE HAMILTONIAN DYNAMIC SYSTEM IN BIOMEDICINE

А.И. Надарейшвили, к.ф.-м.н., с.н.с., **М.Д. Перминов**, д.т.н., зав. отд., **В.А. Петушков**, д.т.н., зав. лаб.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Генерация высококачественных расчетных сеток для таких сложных биологических объектов, как, например, кровеносные сосуды, клапана сердца и особенно при моделировании их динамического поведения с большими (конечными) деформациями ткани и локальными изменениями геометрии вследствие деградации свойств, связана с большой вычислительной трудоемкостью. Требуется последовательная адаптация сетки в процессе решения с учетом выбранных степени подробности и качества аппроксимаций решения. С этой точки зрения, предлагаемые точечные аппроксимации геометрии и решения изучаемых объектов наиболее оптимальны за счет гибкости их применения.

В без сеточном методе строится приближение по соседними узлами, которые не имеют между собой никакой топологической связи и, следовательно, нет никакой потребности в построении сетки. Область, занимаемая средой, представляется множеством (облаком) дискретных точек, которое называется точечной моделью. Такую аппроксимацию геометрии можно получить, имея, например, образы электромагнитного резонанса объекта.

Основной задачей в данной работе является анализ нелинейного гиперупругого динамического отклика биологических объектов с использованием реальных анатомических геометрических моделей, полученных на основе компьютерной томографии.

Постановка задачи основана на Гамильтоновом описании динамических систем в биомеханике, упругим гистерезисом которых в большинстве случаев можно пренебречь. Использование Гамильтоновой системы уравнений вместо Ньютоновой и симплектических интеграторов решения на временном слое значительно упрощает вычислительные процессы, гарантирует их устойчивость и позволяет эффективно применять современные компьютерные технологии.

В связи с этим предлагается новый метод моделирования, основанный на Гамильтоновом описании динамики сплошных сред с использованием изображений компьютерной томографии, который эффективно сочетает существенные преимущества и особенности без сеточных методов Галеркина и дискретных градиентных методов. Эффективность предлагаемого подхода подтверждена примерами решения ряда модельных задач. Построены динамические модели сердца с искусственными или родными аортальными клапанами, которые могут быть очень полезными в понимании сложной динамики клапана и в создании будущих поколений клапанов искусственного сердца.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ ЧЕЛОВЕКА

STUDY OF WAVE INFLUENCES ON HUMAN REHABILITATION FUNCTIONS

О.В. Шмырков, к.т.н., зав. лаб., **С.В. Петухов**, д.ф.-м.н., зав. лаб., **А.С. Корнеев**, к.т.н., с.н.с., **Л.В. Хазина**, к.м.н., н.с. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

В филиале ИМАШ РАН НЦНВМТ РАН разработаны гидроволновые стимуляторы, которые обеспечивают волново-воздействием на кожный покров человека. Речь идет о циклическом вакуум-прессующем воздействии на кожный покров человека, при котором вакуум периодически создается с частотой в 100-3000 Гц за счет разрыва сплошности воды в центре исходящей струи и образования там паро-воздушной смеси. Это принципиально отличает данные гидростимуляторы от сертифицированных в Минздраве РФ традиционных гидромассажных устройств, в которых с помощью водной струи обеспечивается давящее давление переменной величины, флуктуирующей вокруг значения атмосферного давления, без создания фазы вакуума (фазы «присасывающего», отрицательного давления). В настоящее время в России не известны сертифицированные устройства с такими функциональными свойствами. Представляется, что данная уникальная особенность этих гидроволновых массажеров способна обеспечить полезный физико-терапевтический эффект, поскольку наряду с гидротерапией вакуум-терапия также известна издревле как эффективное средство терапии при многих заболеваниях.

Актуальность этих гидроволновых стимуляторов определена, в частности, тем, что в настоящее время российский рынок устройств гидротерапии заполнен зарубежной техникой. Российской Правительством указывается на необходимость изменения этого не нормального положения за счет разработки и массового выпуска отечественной сертифицированной техники для гидротерапии. Гидротерапия относится к числу древнейших методов медицины и средств омоложения и долголетия. В ней используется большое разнообразие режимов водных процедур и лекарственного состава ванн (содовые, радоновые, йодобромные, углекислые, сероводородные, на лечебных травах и пр.). Согласно эволюционной теории живые организмы вышли на сушу из воды. Поэтому, попадая в воду, организм человека переходит в особое физиологическое состояние, особенности которого зависят от состава воды и действующих при этом физико-химических факторов. В частности, в этом состоянии меняются характеристики его кожного покрова, включая проницаемость кожи для проникновения лекарств внутрь организма.

В докладе представлены функциональные характеристики названных гидроволновых стимуляторов и состояние медико-биологических исследований, которые проводятся совместно сотрудниками ИМАШ РАН и Федерального научно-клинического центра специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий Федерального медико-биологического агентства.

Актуальность данного направления работ дополнительно подтверждается представленным в докладе обширным сводом данных об истории применения гидроволновой и вакуумной терапии, включая работы Н.И.Пирогова, В.А.Кравченко, А.В.Коробкова, В.И.Кулаженко, Ю. А. Давыдова, А. Б. Ларичева, И.А.Веллера, Д. С. Горбачева, Д. С. Горбачева, А. Н. Егорова, У Вей Синя и др. в общей хирургии, стоматологии, офтальмологии, интенсификации ввода лекарственных веществ в организм и других областях.

Доклад включает также освещение физиотерапевтического и косметологического использования газовых микропузырьков, генерируемых уникальным гидроволновым диспергатором. Миниатюрные размеры этих газовых пузырьков в 50-100 микрон обеспечивают особую их устойчивость, в силу чего данные пузырьки практически нигде не уходят из воды, обволакивая тело человека в ванне микропузырьковой «шубой». При этом человек испытывает ощущение всплывания. Эта «шуба» может состоять из микропузырьков кислорода, углекислого газа или других газообразных составов, способных дать лечебный эффект. По существу речь идет о новом методе физиотерапии – методе газовой микропузырьковой шубы.

АНДРОИДНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ

ANDROID PIPELINES

И.С. Явелов, к.т.н., в.н.с., **М.Я. Израйлович**, д.т.н., г.н.с., **А.В. Рочагов**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Созданная природой сердечно-сосудистая система человека (и животных) является самой совершенной многофункциональной системой для перекачки жидкости. С минимальными затратами энергии она в течение длительного периода перекачивает огромное количество крови. Средний ударный объем (выброс крови за 1 удар сердца) составляет 75мл за один кардицикл. Средняя частота сердечных сокращений — 60 уд/мин. Таким образом, производительность системы (минутный объем) составляет 3,9 л/мин. За всю жизнь сердце человека перекачивает объем, приблизительно равный 202176000 литров крови. Производительность, долговечность и надежность такой системы

намного выше существующих промышленных систем для перекачки жидкостей и газов.

Чтобы повысить параметры существующих систем (производительность и долговечность) предлагается использовать принципы нелинейной волновой биомеханики сердечно-сосудистой системы, а именно: поршневые насосы, обеспечивающие импульсные режимы перекачки в сочетании с волновыми свойствами трубопроводов. При этом гидравлическое сопротивление трубопроводов и потери по длине можно снизить до минимума, а так же уменьшить число подкачивающих станций.

Кроме того, наличие в системе перекачки жидкости пульсирующей составляющей давления, позволяет активно управлять мощностью импульсных потребителей за счет низкочастотной модуляции процесса с основной несущей частотой импульсного насоса, и системы обратных динамических связей с конкретными регионами сети. Это обеспечивает адресацию доставки жидкости и максимальный КПД системы.

Принципы адресной регуляции потока крови в сердечно-сосудистой системе человека подробно рассмотрены в работе /1/. На этой основе предлагается создавать высокоэффективные технические системы перекачки сред, обладающие повышенным КПД (теплообменники и системы подачи сред) и способностью к динамическому управлению потоками за счет обратных связей и автоматических импульсных заслонок. Предложена силовая установка-компрессор, способная реализовать импульсный режим высокого давления и высокий КПД /2/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Явелов И.С., Гончаренко В.И., Израилович М.Я., Катанов Д.Ш. К вопросу об адресной доставке крови. // Функциональная диагностика, 2012г. В печати.
2. Явелов И.С., Сухоруков Р.Ю., Раков Д.Л., Явелов О.И. Силовая установка. Заявка на патент РФ № 2012120819 от 22.05.2012г.

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ И ВИБРОСИГНАЛОВ СЕРДЦА

IBER-OPTICAL SENSORS OF PULSE WAVE AND VIBRO-SIGNALS OF HEART

И.С. Явелов, к.т.н., в.н.с., **А.В. Рочагов**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

В ИМАШ РАН разработаны новые волоконно-оптические датчики кардиомеханосигналов, а именно датчики пульсовых волн (ПВ) и вибросигналов сердца. Датчики ПВ с механической трансмиссией имеют осевую или радиальную конструкцию по признаку расположения жгута световодов относительно корпуса. Поэтому они могут удерживаться рукой (осевые), либо крепиться под гибкую шлейку (радиальные). Последние значительно удобнее и выгодно отличают эти разработки от датчиков других производителей, т.к. пригодны для длительных съемок и имеют сигналы, свободные от артефактов, вносимых рукой оператора. Созданы также датчики с воздушной трансмиссией на основе головки фонендоскопа. Они чрезвычайно чувствительны, т.к. работают в зоне резонанса, но, соответственно, дифференцируют сигнал и требуют усилий для его восстановления, если это необходимо. Упомянутые датчики представлены на рис.1. Они позволяют исследовать пульсовые волны и лежат в основе сфигмографии высокого разрешения /1/. Оптофонендоскоп является устройством для исследования вибросигналов сердца в широкой полосе пропускания аппаратуры, поэтому он пригоден для работы как в области инфразвука, так и в области звука. По своим свойствам он заменяет апекс-кардиограф и электронный фонендоскоп. Датчики пульсовой волны прошли стендовые испытания на площадке ИМАШ РАН и сравнительные клинические испытания на территории РК НПК Росздрава. Испытания показали их удовлетворительные качества в сравнении с разработкой австралийской компании «Сфигмор».

ЛИТЕРАТУРА

1. Явелов И.С., Рогоза А.Н., Рочагов А.В. Волоконно – оптические датчики кардиомеханосигналов (КМС). // Функциональная диагностика. 2009, №2, с.74-81.

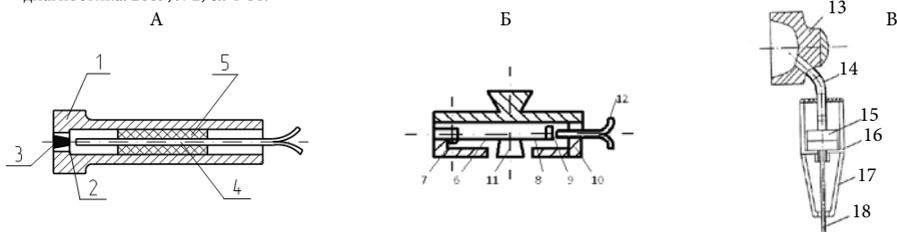


Рис. 1 Типы датчиков кардиомеханосигналов. а) Мембранного типа с осевым расположением световодов; б) Консольного типа с радиальным расположением световодов; в) Волоконно – оптический оптофон – фонендоскоп (стетоскоп).

ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЛНООБРАЗНОГО ДВИЖЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

STUDY OF WAVE-LIKE MOTION FOR ADVANCED TRANSPORT SYSTEMS

Ю. Торбек, д.т.н., зав.отд., **Д.Л. Раков**, к.т.н., с.н.с.

1. Авиакосмический институт Берлинского технического университета (Берлин, Германия)
2. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Современный период развития науки и техники характеризуется усложнением создаваемых технических средств, резким увеличением стоимости их разработки, производства, эксплуатации, а также быстрым моральным старением и снижением возможности одновременного существования нескольких изделий близкого назначения. В связи с этим особое значение приобретает решение задачи создания техники, воплощающей новейшие научно-технические достижения и открытия, имеющей высокий технический уровень. Огромное число факторов конструктивного, технологического, эксплуатационного и экономического характера, влияющих на процесс создания новой техники, предопределили необходимость использования системного анализа и синтеза при проектировании технических систем обладающих новыми характеристиками и возможностями.

В докладе рассматривается применение универсального программного комплекса Lane для расчета характеристик волнообразного движения создаваемых летательных аппаратов различных классов и назначения. В основе разработанных алгоритмов лежат моделирование уравнений движения аппаратов с учетом начальных условий и накладываемых на них ограничений.

Доказывается, что волнообразное движение происходит с меньшими затратами энергии, что позволяет получить существенную экономию топлива. и соответственно увеличить экологичность создаваемых транспортных систем.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО АКУСТИЧЕСКОМУ СТЕЛСУ

LABORATORY EXPERIMENT ON ACOUSTIC STEALTH

Ю.И. Бобровницкий, д.ф.-м.н., зав. отд., **К.Д.Морозов**, к.т.н., в.н.с., **Т.М. Томилина**, к.т.н., зав. лаб., **Б.Н. Бахтин**, н.с., **А.С. Гребенников**, с.н.с., **А.С. Жданов**, с.н.с., **М.П. Коротков**, с.н.с., **Ю.А. Фигатнер**, н.с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Тезисы. Импедансное решение задачи об акустическом стелсе [Доклады РАН, 2012, т.442, №1, с.41-44] основано на придании поверхности защищаемого тела определенных импедансных свойств, обеспечивающих обтекание тела падающей звуковой волной без рассеяния.

В докладе приводятся результаты лабораторного эксперимента, в котором таким способом получено существенное (на порядок) снижение рассеянного поля нескольких тел различной геометрии в воздухе. Предписанные теорией импедансные характеристики тел достигались с помощью активных элементов (электродинамических преобразователей), помещенных на их поверхности. Обсуждаются другие особенности экспериментальной установки физические результаты эксперимента. Полученная в эксперименте эффективность снижения рассеянной компоненты поля составила 18 дБ.

МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОЙ АДВЕКЦИИ

MODEL OF DYNAMICAL ADVECTION

А.В. Борисов, д.ф.-м.н., С.М. Рамоданов, д.ф.-м.н.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Под *задачей адвекции* традиционно понимается изучение движения в жидкости лёгких частиц (примесей), пренебрежительно малых размеров и массы. Предполагается, что частица приобретает скорость окружающего потока, и потому уравнения движения частицы могут быть записаны в виде

$$\dot{\mathbf{r}} = \mathbf{v}(\mathbf{r}, t), \quad \mathbf{r} \in \mathbb{R}^n \quad (1)$$

где \mathbf{r} - координата частицы, $\mathbf{v}(\mathbf{r}, t)$ - скорость жидкости, которая считается известной. В частном случае плоскопараллельного ($n = 2$) течения несжимаемой жидкости уравнения (1) представляют собой гамильтонову систему с полутора степенями свободы:

$$\dot{x} = \frac{\partial \psi(x, y, t)}{\partial y}, \quad \dot{y} = -\frac{\partial \psi(x, y, t)}{\partial x}, \quad (2)$$

где $\psi(x, y, t)$ - функция тока, а $\mathbf{r} = (x, y)$ - координаты частицы.

Термин *адвекция*, обозначающий явление смешивания и перемешивания, известен достаточно давно. Однако указание на необходимость изучения именно хаотических режимов, описываемых (1), (2) (а не поиск интегрируемых случаев), приведшее к созданию и развитию концепции *хаотической адвекции*, было дано Х. Арефом, среди трудов которого по этой тематике, отметим основополагающую работу [1], в которой термин *хаотическая адвекция* и был впервые введён. Исследование хаотической адвекции имеет большое значение для задач перемешивания жидкостей (в микро и планетарных масштабах), теории плазмы, разработки жидкостных устройств для обработки материалов.

Недостатком подхода к изучению движения примесей на основе уравнений (1), (2) является предположение о несущественности массы, увлекаемой потоком частицы. В настоящей работе, основываясь на результатах [2,3] представлены уравнения движения частицы ненулевой массы под действием нескольких точечных вихрей, которые могут служить простейшими моделями перемешивающих устройств. Динамику этих частиц мы и называем *динамической адвекцией*.

Таким образом, сформулируем наш основной результат в виде теоремы.

Теорема. Движения малой массивной частицы (массой a радиусом R и циркулирующей вокруг нее жидкости Γ^*) с координатами (x_0, y_0) под действием n точечных вихрей (движение которых $\mathbf{r}_i(t)$ предполагается известным) описывается гамильтоновой системой

$$\dot{x}_0 = \frac{\partial H}{\partial p_x}, \quad \dot{p}_x = -\frac{\partial H}{\partial x}, \quad \dot{y}_0 = \frac{\partial H}{\partial p_y}, \quad \dot{p}_y = -\frac{\partial H}{\partial y}, \quad (3)$$

где гамильтониан задается соотношением

$$H = \frac{1}{2a} p_x^2 + p_y^2 - \frac{\Gamma^*}{2a} p_x y_0 - p_y x_0 + \frac{\Gamma^{*2}}{8a} x_0^2 + y_0^2 - \\ - \frac{R^2}{4\pi} \sum_{i=1}^n \frac{\Gamma_i^2}{|\mathbf{r}_0 - \mathbf{r}_i|} - \frac{\Gamma^*}{2\pi} \sum_{i=1}^n \Gamma_i \ln |\mathbf{r}_0 - \mathbf{r}_i| - \frac{R^2}{\pi} \sum_{i < j} \Gamma_i \Gamma_j \frac{[\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_0 \times \mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i]^2}{|\mathbf{r}_0 - \mathbf{r}_i|^2 |\mathbf{r}_0 - \mathbf{r}_j|^2 |\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i|^2}.$$

В общем случае гамильтониан явно зависит от времени, поэтому уравнения (3) описывают систему с двумя с половиной степенями свободы, в то время как в случае обычной адвекции мы имеем дело с системой с полутора степенями свободы. В плане приложений, можно сказать, что обычная адвекция описывает поведение растворимых или мелкодисперсных примесей, а динамическая - более крупнозернистых и нерастворимых.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Aref H., *Stirring by chaotic advection* // J. Fluid Mech. 1984, V. 143, p. 1--21.
2. Ramodanov S. M., *Motion of a circular cylinder and N point vortices in a perfect fluid* // Regul. Chaotic Dyn., 2002, V. 7, № 3, p. 291--298.
3. Borisov A. V., Mamaev I. S., Ramodanov S. M., *Dynamics of two interacting circular cylinders in perfect fluid* // Discrete and Continuous Dynamics Systems, 2007, V. 19, № 2, p. 235--253.

КОЛЕБАНИЯ В СИСТЕМЕ «МЕХАНИЗМЫ-КОРПУС-СРЕДА» OSCILLATION IN THE SISTEM «MECHINERY-BONDY-ENVIRONMENT»

О.И. Косарев, д.т.н., зам. дир.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Цель работы – разработка расчетных методов, направленных на обеспечение безопасности морских подвижных объектов за счет снижения их шумности. В настоящее время отсутствуют методы, так называемого, сквозного расчета колебаний системы: механизмы (источники вибраций) – корпус объекта – далее гидроакустическое поле. Данная работа направлена на разработку сквозного метода, дающего возможность на стадии проектирования объекта оценивать принимаемые конструкторские решения по конечному проявлению вибраций в дальнем поле. В этом заключается новизна проводимых исследований.

1. Колебания зубчатых механизмов

История исследования динамики зубчатых передач насчитывает более 100 лет. В 40-е годы в связи с развитием авиации основная проблема заключалась в обеспечении прочности редукторов. Проблема снижения вибраций и шума зубчатых передач особенно остро была поставлена в 60-е годы. Оказалось, что основным источником вибраций и подводного шума являются редуктора ГТЗА. С этим связано появление в ИМАШ и Отдела виброакустики (Петрусевич А.И., Генкин М.Д., Гринкевич В.К.).

Разработана единая теория возбуждения вибраций в цилиндрических зубчатых передачах (прямо зубых, косозубых, шевронных). Основу теории составляет обобщенная ФММ (физико-математическая модель) процесса возбуждения вибраций в зацеплении зубчатых передач, в которой:

Установлены закономерности действия всех вынуждающих факторов: погрешности шага зацепления, переменной жесткости зацепления, профильной погрешности, дискретного нагружения зубьев, перекоса зубьев в плоскости зацепления, отклонения хода винтовой линии, гармоник кинематической погрешности. Главное – все развитые старые и новые модели вибровозбуждения объединены в единую модель во временной области.

Получены аналитические выражения вынуждающих факторов (сил) во временной и частотной областях (в рядах Фурье).

Разработан метод математического моделирования динамических процессов в цилиндрических зубчатых передачах, включающий: а) обобщенную модель вибровозбуждения, б) динамическую модель зубчатой передачи, в) комплект модификаций уравнений движения зубчатых колес на периоде зацепления, г) логический алгоритм управления текущим выбором модификаций уравнений движения на участках периода зацепления, д) программное обеспечение. Проведена экспериментальная проверка теории на стендах и натурных условиях..

Разработаны методики и программы вибрационного расчета рядных и планетарных редукторов ГТЗА для их акустического проектирования. Методики составления динамических моделей зубчатых редукторов. Расчеты АЧХ вынужденных колебаний, форм колебаний, динамических нагрузок. Проведены экспериментальные проверки методики расчета в стендовых и натурных условиях. Рекомендации внедрены на КТЗ.

2. Колебания модели корпуса, представляемого конечной цилиндрической оболочкой в жидкости

Проблема. Отсутствует точное решение задачи об излучении конечной цилиндрической оболочки в жидкости (есть решения для сферической оболочки, бесконечной цилиндрической оболочки и цилиндрической оболочки с краевыми условиями Навье).

Разработана ФММ колебаний и ГА излучения корпуса объекта (численно-аналитический метод).

Предложен способ определения «мокрых корней» (численно-аналитический метод).

Дисперсионное уравнение, из которого определяются «мокрые корни», получается из интегрально-дифференциального уравнения свободных колебаний цилиндрической оболочки в жидкости. Это уравнение решается следующим образом. Численно определяется ядро функции $Qm(y)$ и аппроксимируется суммой экспонент $akehr(iy\beta k)$ и кусочно-непрерывной логарифмической функцией $Rm(y)$. Уравнение сводится к полиному высокого

порядка с комплексными элементами (например, для 4-х экспонент).

Найденные мокрые корни α_j , используются во всех последующих расчетах (вынужденных колебаний, излучения и дифракции).

Разработаны методики и программы расчета вынужденных колебаний составных оболочечных конструкций в жидкости, моделирующих корпус объекта. Построены динамические модели, получены уравнения, разработаны программы, проведены расчеты АЧХ.

Матричные уравнения колебаний оболочечной конструкции состоят из уравнений для набора оболочек, соединенных кольцами. Для произвольного k -го кольца

$$M_k Z_k = P_k - f_k^1 + f_k^2,$$

3. Гидроакустическое излучение корпуса АПЛ в дальнем поле

Разработаны методики и программы расчета первичного и вторичного гидроакустических полей в дальней зоне (численно-аналитический метод).

Используется формула Кирхгофа (Гюйгенса, Грина). Используется подход Авербуха (предельный переход с приближением Фраунгофера вместо метода перевала). Дополнительно учитывается дифракционное поле.

Теоретический результат. Получена формула расчета гидроакустического излучения в дальнем поле

$$P_{(N)} = -\frac{e^{-i(kR - \frac{\pi n}{2})}}{4\pi R} \pi E_m \left[-v \sin \theta J'_m(\mu) \int_{-\infty}^{\infty} (p_0 + p_{sw} - p_{st}) e^{ikx \cos \theta} dx + \alpha J_m(\mu) \int_0^l \frac{\partial p}{\partial x} e^{ikx \cos \theta} dx \right]$$

Прикладной результат. Возможность суммарного расчета первичного и вторичного гидроакустических полей.

Внедрение. Эффективность.

Методика расчета вторичного поля использована в ИПФ РАН (Н. Новгород) при разработке системы НЧГЛ в качестве компьютерной модели расчета силы цели

1. Повышается точность расчета вторичного поля вследствие учета упругих колебаний корпуса, что наиболее существенно для резонансов.

2. Проявляются преимущества аналитического метода расчета по сравнению с МКЭ.

4. Гашение вторичного поля

Проблема обеспечения акустической невидимости объектов в мелком море от средств НЧГЛ приобретает наибольшую актуальность. Проблема комплексная. Необходимы новые технологии в машиностроении и радиоэлектронике.

Вторичное поле можно погасить только активными методами.

Получены теоретические предпосылки возможности активного гашения вторичного поля средствами, расположенными на корпусе объекта, с обязательным разделением падающего и рассеянного полей.

Силовой (вибраторами)	Излучателями	Комбинированный (вибраторы + излучатели)
--------------------------	--------------	---

Пассивные покрытия

Из решения задачи дифракции (рассеяния) на цилиндрической оболочке с покрытием следует

$$p_3(r) = p_0 \frac{Z_{sv}}{Z_1} \left[\frac{Z_1 - (Z + Z_3)}{(Z + Z_3) - Z_s} \right]$$

Рассеянное поле равно нулю при условии равенства Z_1 сумме импедансов покрытия Z_3 и оболочки Z . Отсюда следует, что нельзя определять импеданс прозрачного покрытия в отрыве от тела, т.е. без учета импеданса самого тела.

Метаматериалы

Модное направление, обсуждаемое на уровне рекламной информации в Интернете. Отдельные результаты получены в оптике и радиофизике для волн ультракороткого диапазона (см). Эффект создается в результате аномального отражения или преломления лучей (или волн) в материале. Для защиты от НЧГЛ они не пригодны, т.к. например, на частоте 100 Гц длина звуковой волны 15м. Толщина покрывного материала должна быть больше длины волны, что для реальных объектов (диаметр 10м, длина 100м) не осуществимо.

Из зарубежного опыта известно, что на ПЛА США SSN 774 «Виржиния» (серия 2008г.-2012г.) установлена Система активного управления гидроакустическим полем и вибрацией корпуса, выполнена в виде конформной антенны, многофункционального «интеллектуального» покрытия на основе пьезокомпозитов и микро электромеханических устройств. Размер покрытия 10х30 м, [5].

КОЛЕБАНИЯ КОНЕЧНОЙ СВОБОДНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ В ЖИДКОСТИ

OSCILLATION OF THE FREE END CYLINDRICAL SHELL

О.И. Косарев д.т.н, зам. дир., **Г.В. Тарханов** д.т.н., г.н.с., **Н.М. Остапшин** к.т.н. с.н.с., **И.А. Бедный** к.т.н., в.н.с., **А.Н. Себякина** н.с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Рассматривается цилиндрическая оболочка, помещенная в безграничную жидкость. Колебания оболочки вызывают колебания жидкости. В результате на оболочку со стороны жидкости действует давление p_s .

В теории колебаний цилиндрических оболочек отсутствует точное решение задач о колебаниях и излучении конечной свободной цилиндрической оболочки в жидкости. Для решения этих задач необходимо уметь определять «мокрые» корни дисперсионного уравнения.

Предложен приближенный способ получения дисперсионного уравнения и его «мокрых» корней для конечной цилиндрической оболочки в жидкости.

Дисперсионное уравнение получается из интегрально-дифференциального уравнения свободных колебаний цилиндрической оболочки в жидкости

$$\begin{bmatrix} L_{11} + \omega_*^2 & L_{12} & L_{13} \\ -L_{12} & L_{22} + \omega_*^2 & L_{23} \\ -L_{13} & L_{23} & L_{33} + \omega_*^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} U \\ V \\ W \end{Bmatrix} = \frac{r}{q} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ p_s \end{Bmatrix}, \quad (1)$$

где вектор $\{u, v, w\}$ продольные, касательные и радиальные перемещения.

Элементы матрицы L_{ij} - являются аналитическими функциями параметров оболочки и корней, r, h, ρ - радиус, толщина, плотность оболочки,

$$q = \frac{Eh}{(1 - \mu^2) \cdot r}, \quad \omega_*^2 = \frac{\omega^2 r^2 \rho_* (1 - \mu^2)}{E}.$$

Для конечной цилиндрической оболочки перемещения
 $u = U \cos(m\varphi) e^{i\alpha z}, \quad v = V \sin(m\varphi) e^{i\alpha z}, \quad w = W \cos(m\varphi) e^{i\alpha z},$

$$U = \sum_{j=1}^8 C_{jm} \frac{\Delta_{jm}^{(2)}}{\Delta_{jm}^{(1)}} e^{i\alpha_{jm} z_0},$$

$$V = \sum_{j=1}^8 C_{jm} \frac{\Delta_{jm}^{(3)}}{\Delta_{jm}^{(1)}} e^{i\alpha_{jm} z_0}$$

$$W = \sum_{j=1}^8 C_{jm} e^{i\alpha_j m z_0} \quad (2)$$

где α_{jm} подлежащие определению корни дисперсионного уравнения, C_{jm} искомые коэффициенты, определяемые краевыми условиями оболочки.

Давление поля, излучаемого конечной цилиндрической оболочкой

$$p_s = \frac{\omega^2 \rho_0}{2\pi} \int_0^L \int_{-\infty}^{\infty} W \frac{H_m(r\sqrt{k^2 - \gamma^2})}{\sqrt{k^2 - \gamma^2} H'_m(a\sqrt{k^2 - \gamma^2})} e^{i\gamma(z-z_0)} d\gamma dz_0 \quad (3)$$

Задача заключается в решении уравнения (1) относительно мокрых корней α , при перемещениях (2) с учетом выражения (3) для каждой частоты колебаний и окружной гармоники m .

С целью решения уравнения (1) выражение (3) представляется в виде

$$p_s(y) = \frac{\omega^2 \rho_0 r}{\pi} \int_0^{\ell} w(\xi) Q_m(y - \xi) d\xi,$$

где разностное ядро интеграла

$$Q_m(y) = \int_0^{\infty} \frac{H_m^2(\sqrt{t^2 - \eta^2}) \cos(\eta y)}{\sqrt{t^2 - \eta^2} (H_m^2)'(\sqrt{t^2 - \eta^2})} d\eta.$$

Это уравнение решается следующим образом. Численно определяется ядро функция $Q_m(y)$ и аппроксимируется суммой экспонент $a_k \exp(iy\beta_k)$ и кусочно-непрерывной логарифмической функцией $R_m(y)$

$$Q_m(y) = R_m(y) + \sum_{k=1}^{\nu} a_k e^{iy\beta_k}.$$

В результате проделанных вычислений, интегрирования и преобразований получаем дисперсионное уравнение для определения мокрых корней α

$$\left[\frac{\Delta_0(\alpha)}{\Delta^1(\alpha)} - \omega_*^2 \aleph \left(B_R - 2i \sum_k \frac{a_k \beta_k}{\alpha^2 - \beta_k^2} \right) \right] = 0. \quad (4)$$

$$\frac{\omega^2 \rho_0 r^2}{\pi q} = \omega_*^2 \aleph, \quad \aleph = \frac{\rho_0 r}{\pi h \rho_*}$$

Уравнение (4) сводится к полиному высокого порядка относительно корней α_j с комплексными элементами. Например, для четырех экспонент ($v=4$)

$$\frac{W8 \cdot \alpha^8 + W6 \cdot \alpha^6 + W4 \cdot \alpha^4 + W2 \cdot \alpha^2 + W0}{D4 \cdot \alpha^4 + D2 \cdot \alpha^2 + D0} - \chi_{BR} + 2i\chi \frac{C6 \cdot \alpha^6 + C4 \cdot \alpha^4 + C2 \cdot \alpha^2 + C0}{Z8 \cdot \alpha^8 + Z6 \cdot \alpha^6 + Z4 \cdot \alpha^4 + Z2 \cdot \alpha^2 + Z0} = 0$$

Найденные «мокрые» корни α_j , используются во всех последующих расчетах:

в расчетах вынужденных колебаний составных оболочечных конструкций в жидкости, моделирующих корпус морских подвижных объектов, а также в расчетах их первичных и вторичных гидроакустических полей.

Проведены расчетные исследования, показывающие влияние длины оболочки на распределение давления по ее длине согласно (3), характер изменения «мокрых» корней в зависимости от частоты колебаний, влияние «мокрых» корней на амплитудно - частотные характеристики (АЧХ) вынужденных колебаний оболочки.

МОДИФИЦИРОВАННАЯ ФОРМУЛА АМПЛИТУД ВИБРАЦИЙ ЯКОРЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВИБРОВЗБУДИТЕЛЯ С ОСЦИЛИРУЮЩЕЙ НАГРУЗКОЙ MODIFIED FORMULA FOR THE AMPLITUDE OF THE VI-BRATION ARMATURE OF THE ELECTROMAGNETIC EXCITER WITH OSCILLATING LOAD

член-корр. НАН Украины **А.Е. Божко**, д.т.н., зав. отд., **З.А. Иванова**, к.т.н., с.н.с., **К.Б. Мягкохлеб**, к.т.н., с.н.с. Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины (Харьков, Украина)

В данном докладе представлены модифицированные выражения амплитуд колебаний якоря электромагнитного вибровозбудителя (ЭМВ) с учетом влияния на колебания якоря осциллирующей вибронагрузки и реактивной массы. Полученные выражения вносят новые признаки в динамику ЭМВ и позволяют повысить точность расчета элементов ЭМВ.

Электромагнитные вибровозбудители (ЭМВ) находят широкое применение в различных технологических системах, в вибрационных испытательных стендах [1]. При этом нагрузкой подвижной платформы (якоря) ЭМВ могут быть как жестко крепящиеся к ней массы, так и осциллирующие, представляющие собой колебательные звенья (КС). Для улучшения влияния вибраций ЭМВ на фундамент в конструкции ЭМВ имеется реактивная масса (РМ). В общем случае в ЭМВ с РМ и КС вибрирует множество деталей ЭМВ, но самое главное – в проектировании ЭМВ необходимо знать параметры вибрации якоря (Я).

В данной работе с учетом вибраций РМ и КС построим формулы амплитуд колебаний якоря, отличающиеся от ранее использованных формул при расчетах. Для вывода предлагаемых формул представим электромагнитомеханическую схему ЭМВ и запишем дифференциальные уравнения, относящиеся к ЭМВ. Такая схема изображена на рис. 1, где М – магнитопровод; Я – якорь; О – объект; РМ – реактивная масса; ПРо, ПРЯ, ПРр – пружины; До, Дя, Др – демпферы; К – корпус; Фн – фундамент; δ – воздушный зазор; ОМ – электрическая обмотка; U – задающее напряжение; хо, хя, хр – перемещения О, Я и РМ соответственно.

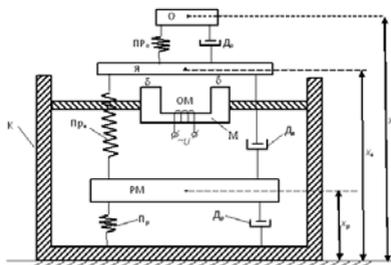


Рис. 1. Схема ЭМВ

Уравнения ЭМВ следующие

$$\left. \begin{aligned} m_o \ddot{x}_o + b_o \dot{x}_o + c_o x_o &= b_o \dot{x}_я + c_o x_я; \\ m_я \ddot{x}_я + (b_o + b_я) \dot{x}_я + (c_o + c_я) x_я &= F + b_o \dot{x}_o + c_o x_o + b_я \dot{x}_p + c_я x_p; \\ m_p \ddot{x}_p + (b_я + b_p) \dot{x}_p + (c_я + c_p) x_p &= b_я \dot{x}_я + c_я x_я; \\ U = ri + L \frac{di}{dt}; \quad W_e &= \frac{1}{2} Li^2; \\ F = \frac{dW_e}{d\delta_x} = \frac{U^2}{2\delta_x \omega^2 L} \quad \text{при } \omega L \gg r \text{ и } F = \frac{i^2 L}{2\delta_x} \quad \text{при } r \gg \omega L; \\ \dot{x} &= \frac{dx}{dt}, \quad \ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2}; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $m_o, m_я, m_p$ - массы О, Я, РМ соответственно; $b_o, b_я, b_p$ - коэффициенты диссипации; $c_o, c_я, c_p$ - коэффициенты жесткости ПР, ПР_я, ПР_р; $x_o, x_я, x_p$ - перемещения $m_o, m_я, m_p$; i - электрический ток в ОМ; r - активное сопротивление в цепи ОМ; L - индуктивность ОМ; ω - круговая частота ($\omega = 2\pi f$, f - частота [Гц]); W_e - электрическая энергия ЭМВ; δ_x - воздушный зазор, зависящий от колебаний x_o ; t - время.

В соответствии с (1) и известной формулой амплитуды колебаний КС с одной степенью свободы [2] выражение для амплитуды колебаний $x_{яa}$ данного ЭМВ будет таким

$$x_{яa} = \frac{F_a}{m_я \sqrt{(4\omega^2 - \omega_{oя}^2)^2 + \left[\frac{2(b_o + b_я)}{m_я} \right]^2}} \quad (2)$$

где $\omega_{oя}$ - собственная частота колебаний $m_я$; F_a - амплитуда суммарного тягового усилия, действующего на якорь Я.

В зависимости от вида источника задающего сигнала (напряжения U или тока i) тяговое усилие будет

$$F_U = \frac{U^2}{2\delta_x \omega^2 L} \quad \text{или} \quad F_i = \frac{i^2 L}{2\delta_x} \quad . \quad \text{В этих формулах величина } \delta_x \text{ является функцией от } x_o,$$

что, в свою очередь, изменяет вид выражения (2). Покажем это модифицирование.

Напряжение $U = U_a \sin \omega t$ в источнике напряжения и ток $i = I_a \sin \omega t$ в источнике тока. В этих выражениях U_a и I_a - амплитуды. Тогда

$$\left. \begin{aligned} F_U &= \frac{U_a^2 \sin^2 \omega t}{2\delta_x \omega^2 L} = \frac{U_a^2}{4\delta_x \omega^2 L} (1 - \cos 2\omega t); \\ F_i &= \frac{LI_a^2 \sin^2 \omega t}{2\delta_x} = \frac{I_a^2 L}{4\delta_x} (1 - \cos 2\omega t) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Как видно из (3), тяговые усилия F_U и F_i включают в себя постоянные составляющие $\frac{U_a^2}{4\delta_x \omega^2 L}$, $\frac{I_a^2 L}{4\delta_x}$ и переменные составляющие $\frac{-U_a^2 \cos 2\omega t}{4\delta_x \omega^2 L}$, $\frac{-I_a^2 L \cos 2\omega t}{4\delta_x}$ соответственно.

На основании второго уравнения из (1) постоянные составляющие имеют вид

$$x_{я0U} = \frac{1}{c_0 + c_я} \left(\frac{U_a^2}{4\delta_{x0} \omega^2 L} + c_0 x_{00U} + c_я x_{p0U} \right) \quad (4)$$

$$x_{я0i} = \frac{1}{c_0 + c_я} \left(\frac{I_a^2 L}{4\delta_{x0}} + c_0 x_{00i} + c_я x_{p0i} \right) \quad (5)$$

В (4) и (5) x_{00U} , x_{p0U} , x_{00i} , x_{p0i} - постоянные составляющие в x_0 и x_p от действия $x_{я0U}$ и $x_{я0i}$ соответственно

$$x_{00U} = x_{я0U}; \quad x_{00i} = x_{я0i}; \quad x_{p0U} = \frac{c_я x_{я0U}}{c_я + c_p}; \quad x_{p0i} = \frac{c_я x_{я0i}}{c_я + c_p} \quad (6)$$

При этом заметим, что составляющие $x_{я0U}$ и $x_{я0i}$ направлены в сторону полюсов М, то есть притягивают Я к М и поэтому с их учетом воздушный зазор δ уменьшается и становится соответственно

$$\delta_{x0U} = \delta - x_{я0U}; \quad \delta_{x0i} = \delta - x_{я0i} \quad (7)$$

Подставляя (6), (7) в (4) и (5), получим уравнения

$$x_{я0U}^2 + \delta x_{я0U} - \frac{U_a^2}{4\omega^2 LC} = 0; \quad x_{я0i}^2 + \delta x_{я0i} - \frac{I_a^2 L}{4C} = 0$$

корни которых

$$x_{я0U,2} = -\frac{\delta}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 + \frac{U_a^2}{4\omega^2 LC}}; \quad x_{я0i,2} = -\frac{\delta}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 + \frac{I_a^2 L}{4C}}$$

С учетом положительности оставшегося воздушного зазора принимаем

$$x_{я0U} = -\frac{\delta}{2} + \sqrt{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 + \frac{U_a^2}{4\omega^2 LC}}; \quad x_{я0i} = -\frac{\delta}{2} + \sqrt{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 + \frac{I_a^2 L}{4C}}$$

где $c = c_{я} \left(\frac{c_{я}}{c_{я} + c_p} - 1 \right)$.

Переменные составляющие тяговых усилий F_U и F_i создают колебания $x_{яU}$ и $x_{яi}$ в зазорах $\delta_{я0U}$ и $\delta_{я0i}$ соответственно. В этом случае воздушный зазор $\delta_{я0U}$ и $\delta_{я0i}$ изменяется по закону

$$\left. \begin{aligned} \delta_{xU} &= \delta - x_{я0U} \mp x_{яaU} \cos 2\omega t; \\ \delta_{xi} &= \delta - x_{я0i} \mp x_{яai} \cos 2\omega t \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

В (8) $x_{яaU}$ и $x_{яai}$ предварительно выражаются соотношениями

$$x_{яaU} = \left[\frac{U_a^2}{4\omega^2 L(\delta - x_{я0U} \pm x_{яaU})} + (2b_0\omega + c_0)x_{0aU} + (2b_{я}\omega + c_{я})x_{paU} \right] \times \\ \times \left[m_{я} \sqrt{(4\omega^2 - \omega_{0я}^2)^2 + 4\left(\frac{b_{я} + b_p}{m_{я}}\omega\right)^2} \right]^{-1} \quad (9)$$

$$x_{яai} = \left[\frac{I_a^2 L}{4(\delta - x_{я0i} \pm x_{яai})} + (2b_0\omega + c_0)x_{0ai} + (2b_{я}\omega + c_{я})x_{pai} \right] \times \\ \times \left[m_{я} \sqrt{(4\omega^2 - \omega_{0я}^2)^2 + 4\left(\frac{b_{я} + b_p}{m_{я}}\omega\right)^2} \right]^{-1} \quad (10)$$

Амплитуды x_{0ak} и x_{pak} , $k = U, i$ определяются выражениями [2]

$$x_{0ak} = \frac{(2b_0\omega + c_0)x_{\text{яак}}}{m_0 \sqrt{(4\omega^2 - \omega_{00}^2)^2 + \left(\frac{2b_0\omega}{m_0}\right)^2}}, \quad (11)$$

$$x_{\text{пак}} = \frac{(2b_{\text{я}}\omega + c_{\text{я}})x_{\text{яак}}}{m_p \sqrt{(4\omega^2 - \omega_{0p}^2)^2 + \left(\frac{2\omega(b_{\text{я}} + b_p)}{m_p}\right)^2}}, \quad (12)$$

где ω_{00}, ω_{0p} – собственные частоты О и РМ соответственно.

Подставляя (11) в (9), (12) в (10), получим следующие уравнения

$$x_{\text{яаU}} = \frac{U_a^2}{4\beta_{\text{я}}\omega^2 L(\delta_{x0U} \pm x_{\text{яаU}})} + \left(\frac{\alpha_0^2}{\beta_0} + \frac{\alpha_{\text{я}}^2}{\beta_p}\right) \frac{x_{\text{яаU}}}{\beta_{\text{я}}}, \quad (13)$$

$$x_{\text{яаi}} = \frac{I_a^2 L}{4\beta_{\text{я}}(\delta_{x0i} \pm x_{\text{яаi}})} + \left(\frac{\alpha_0^2}{\beta_0} + \frac{\alpha_{\text{я}}^2}{\beta_p}\right) \frac{x_{\text{яаi}}}{\beta_{\text{я}}}, \quad (14)$$

$$\text{где } \beta_{\text{я}} = m_{\text{я}} \sqrt{(4\omega^2 - \omega_{0\text{я}}^2)^2 + \left(\frac{2(b_0 + b_{\text{я}})\omega}{m_{\text{я}}}\right)^2};$$

$$\beta_0 = m_0 \sqrt{(4\omega^2 - \omega_{00}^2)^2 + \left(\frac{2b_0\omega}{m_0}\right)^2};$$

$$\beta_p = m_p \sqrt{(4\omega^2 - \omega_{0p}^2)^2 + \left(\frac{2(b_{\text{я}} + b_p)\omega}{m_p}\right)^2};$$

$$\alpha_0 = 2b_0\omega + c_0; \quad \alpha_{\text{я}} = 2b_{\text{я}}\omega + c_{\text{я}};$$

$$\delta_{x0U} = \delta - x_{\text{я0U}}; \quad \delta_{x0i} = \delta - x_{\text{я0i}}.$$

Уравнения (13) и (14) относительно $x_{\text{яаU}}$ и $x_{\text{яаi}}$ имеют вид (в выражениях

$\delta_{x0U} \pm x_{\text{яаU}}$ и $\delta_{x0i} \pm x_{\text{яаi}}$ возьмем знак «-», что соответствует уменьшению воздушного зазора, но не до нуля).

$$x_{\text{яаU}}^2 \left(\frac{\beta}{\beta_{\text{я}}} - 1\right) - x_{\text{яаU}} \delta_{x0U} \left(\frac{\beta}{\beta_{\text{я}}} - 1\right) - \frac{U_a^2}{4\beta_{\text{я}}\omega^2 L} = 0; \quad (15)$$

$$x_{\text{я}ai}^2 \left(\frac{\beta}{\beta_{\text{я}}} - 1 \right) - x_{\text{я}ai} \delta_{x0i} \left(\frac{\beta}{\beta_{\text{я}}} - 1 \right) - \frac{I_a^2 L}{4\beta_{\text{я}}} = 0, \quad (16)$$

где
$$\beta = \frac{\alpha_0^2}{\beta_0} + \frac{\alpha_{\text{я}}^2}{\beta_{\text{п}}}.$$

Корни (15) и (16) равны

$$x_{\text{я}aU1,2} = \frac{\delta_{x0U}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\delta_{x0U}}{2} \right)^2 + \frac{U_a^2}{4\omega^2 L(\beta - \beta_{\text{я}})}}; \quad (17)$$

$$x_{\text{я}ai1,2} = \frac{\delta_{x0i}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\delta_{x0i}}{2} \right)^2 + \frac{I_a^2 L}{4(\beta - \beta_{\text{я}})}}; \quad (18)$$

Так как при колебаниях якоря амплитуды $x_{\text{я}aU}$ и $x_{\text{я}ai}$ не должны превышать

δ_{x0U} и δ_{x0i} соответственно, то их (17) и (18) выбираем корни со знаком «-» перед радикалами.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Вибрации в технике. В 6-ти т. / Под ред. д.т.н., проф. Э.Э. Лавендела. – М.: Машиностроение, 1981. – Т. 4. – 510 с.
2. Божко А.Е., Голуб Н.М. Динамико-энергетические связи колебательных систем. Киев: Наук. думка, 1980. – 188 с.

ОСОБЕННОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ КЛАССИЧЕСКОГО ФЛАТТЕРА ДЛЯ ЛОПАТОК РОТОРА ТУРБОКОМПРЕССОРА АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

DETAILS OF APPEARANCE AND DEVELOPMENT OF THE CLASSICAL FLUTTER FOR TURBOCOMPRESSOR ROTOR BLADES OF AIRCRAFT ENGINES

О.Б. Балакшин, д.т.н., зав. лаб., **Б.Г. Кухаренко**, к.ф.-м.н., в.н.с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

В конце 70-х годов проблеме классического флаттера лопаток ротора посвящены теоретические исследования академика Ганиева Р.Ф., в которых рассматриваются синхронные колебания лопаток ротора при флаттере с учетом их нелинейности [1,2]. Эта проблема сохраняет свою актуальность в связи с трудностями теоретического прогнозирования флаттера лопаток ротора в реальном турбокомпрессоре авиационного двигателя, например, из-за необходимости адаптации динамической модели с ростом числа оборотов ротора. Причина экспериментальных исследований флаттера для лопаток ротора турбокомпрессора состоит в необходимости учета сложности и многомерности этого явления и его зависимости от особенностей конструкции ротора. Стоимость разработки и производства роторов и их экспериментальных исследований такова, что они доступны лишь ведущим корпорациям авиационного двигателестроения.

В настоящем докладе представлены особенности возникновения классического флаттера лопаток ротора в реальных турбокомпрессорах авиационных двигателей на основе спектрального анализа экспериментальных данных ЦИАМ [3]. Особое внимание уделяется исследованию процесса синхронизации колебаний для всех или части лопаток ротора турбокомпрессора и временной эволюции флаттера [4]. Ротор турбокомпрессора обладает круговой симметрией, что составляет основу синхронных колебаний решетки лопаток. Анализ флаттера лопаток турбокомпрессоров использует модель круговых синхронных колебаний лопаток, в которой соседние лопатки ротора колеблются с одинаковой частотой, но с постоянным сдвигом фаз, обеспечивающим периодичность коллективных колебаний лопаток на колесе ротора [1,2]. Число узлов круговой моды синхронных колебаний для лопаток ротора определяет аэродинамическое демпфирование на крутильной или изгибной частоте лопатки, которое оценивается на основе спектрального анализа записей колебаний для лопаток ротора турбокомпрессоров.

В компрессоре низкого давления процесс синхронизации колебаний при крутильном флаттере обеспечивает

приблизительное равенство крутильных частот только для лопаток, имеющих близкие собственные частоты. Однако при увеличении частоты вращения ротора процесс синхронизации одинаково уменьшает частоты крутильных колебаний всех лопаток. При этом лопатка, не участвующая в процессе синхронизации колебаний остальных лопаток ротора, испытывает наибольшие нагрузки. Исследован компрессор, у которого колебания лопаток ротора начинаются на крутильной частоте, а синхронизация и флаттер происходят на частоте изгибных колебаний, увеличивающейся при увеличении частоты вращения ротора. Таким образом, экспериментально подтверждена точная синхронизация колебаний лопаток ротора турбокомпрессоров при наступлении флаттера, предсказанная в [1,2].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ганиев Р.Ф., Фазуллин Ф.Ф. К вопросам синхронизации механических систем, обладающих круговой симметрией // ДАН УССР. Серия А. 1976. № 11. С.92–97.
2. Ганиев Р.Ф., Ковальчук П.С. Динамика систем твердых и упругих тел. М.: Машиностроение. 1980. 208 С.
3. Балакшин О.Б., Кухаренко Б.Г. Спектральный анализ флаттера лопаток турбокомпрессора. Доклады Академии наук. 2007. Т.417. № 5. С. 627–630.
4. Ганиев Р.Ф., Балакшин О.Б., Кухаренко Б.Г. Синхронизация и флаттер лопаток ротора турбокомпрессоров // Доклады Академии наук. 2009. Т.427. № 2. С.179–182.

ОЦЕНКА ТЕРМОПРОЧНОСТИ, ВИБРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ И РЕСУРСА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ

ESTIMATION OF THERMOSTRENGTH, VIBRATING CONDITION AND RESOURCE OF POWER ASSEMBLIES

Н.Г. Шульженко, д.т.н., зав. отд., **П.П. Гонтаровский**, к.т.н., с.н.с. **Б.Ф. Зайцев**, д.т.н., в.н.с. **Ю.И. Матюхин**, к.т.н., с.н.с., **Ю.Г. Ефремов**, к.т.н., с.н.с.

Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины (Харьков, Украина)

Обоснование возможности продления эксплуатации энергетического оборудования и обеспечение его надежной работы представляет актуальную проблему энергетики. Основу ее решения составляет разработка и применение технологий диагностирования термонапряженного состояния основных частей энергоблоков, в том числе роторов и корпусов турбин, и создание автоматизированных систем непрерывного контроля и диагностики технического состояния и оценки их остаточного ресурса.

В последние годы турбоагрегаты (ТА) согласно требованиям энергорынка эксплуатируются на переменных и переходных режимах, которые не являются для них проектными и обычно выполняются с отклонениями от предусмотренного проектом процесса. Такие режимы существенно ускоряют срабатывание ресурса ТА и особенно валопровода, который при этом испытывает пиковые нагрузки, вызывающие накопление необратимых деформаций и появление трещин. В высокотемпературных зонах роторов и корпусных деталей цилиндров высокого давления (ЦВД) и цилиндров среднего давления (ЦСД) паровых турбин появление трещин в основном связано с накоплением повреждений, обусловленных процессами ползучести и малоциклового усталости (МЦУ). Наиболее интенсивно повреждения от МЦУ накапливаются в тепловых канавках роторов, а повреждения от ползучести – на поверхности осевого канала. Достоверность их определения во многом зависит от точности учета истории изменения напряженно-деформированного состояния (НДС). Создание методик, позволяющих решать эти задачи с учетом определяющих факторов, представляет практически важную задачу исследований.

В Институте проблем машиностроения НАН Украины разработаны методы, средства и соответствующее математическое обеспечение расчетов, контроля, мониторинга и диагностирования термонапряженного состояния и оценки ресурса элементов и узлов энергомаши.

В данной работе излагаются вопросы методического и программного обеспечения, расчетов тепловых полей, диагностирования термонапряженного состояния с учетом накопления повреждений от ползучести и МЦУ, анализа трещиностойкости и оценки ресурса элементов паровых турбин, а также вопросы вибродиагностики турбоагрегата, которые решались в последние годы отделом вибрационных и термочастотных исследований. Учитывая, что ресурс паровых турбин определяется высокотемпературными роторами, результаты расчетных исследований приведены в основном для этих элементов турбин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Задачи термочастотности, вибродиагностики и ресурса энергоагрегатов (модели, методы, результаты исследований): монография / Н.Г. Шульженко, П.П. Гонтаровский, Б.Ф. Зайцев. – Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG, 2011. – 370 с. – Напечатано в России.
2. Задачи контактного взаимодействия элементов конструкций / А.Н. Подгорный, П.П. Гонтаровский, Б.Н. Киркач, Ю.И. Матюхин, Г.Л. Хавин. – Киев: Наук. думка, 1989. – 232 с.
3. Применение полуаналитического метода конечных элементов для решения трехмерных задач термомеханики в цилиндрических координатах / Н.Г. Шульженко, П.П. Гонтаровский, Т.В. Протасова // Вісник НТУ «ХПІ», 2004. – № 20. – С. 151–160.
4. Оценка длительной прочности роторов паровых турбин на основе анализа рассеянных повреждений / Н.Г. Шульженко, П.П. Гонтаровский, Ю.И. Матюхин // Проблемы машиностроения, 2007. – 10, № 4. – С. 71–81.

5. Оценка живучести высокотемпературных элементов турбомашин с трещинами / Н.Г. Шульженко, П.П. Гонтаровский, И.И. Мележик // Вестник НТУ «ХПИ», 2004. – № 19. – С. 153–160.
6. Напряженное состояние замкового соединения лопаток газовой турбины в рамках термодетальной задачи / Н.Г. Гармаш, В.П. Гонтаровский // Проблемы машиностроения, 2001. – 4, № 3-4. – С. 12–16.
7. Шульженко Н.Г., Гонтаровский П.П., Матюхин Ю.И. Развитие расчетных моделей роторов турбомашин для оценки их термонапряженного и вибрационного состояния // Вибрации в технике и технологиях, 2001. – № 4 (20). – С. 66–69.
8. Методика оперативної оцінки пошкодженості матеріалу ротора турбіни при циклічному навантаженні і повзучості / М.Г. Шульженко, Ю.І. Матюхін, Н.Г. Гармаш, О.В. Пожидаєв, В.П. Гонтаровський // Пробл. машиностроєння. – 2011. – № 5, т. 14. – С. 46–52.
9. Расчетные методики определения поврежденности и ресурса высокотемпературных узлов паровых турбин / Н.Г. Шульженко, П.П. Гонтаровский, Ю.И. Матюхин // Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій. – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Карпенка НАН України, 2009. – С. 877–882.
10. Визначення розрахункового ресурсу та оцінка живучості роторів і корпусних деталей турбін. Методичні вказівки: СОУ-Н МВБ 40.1–21677681– 52:2011 / М.Г. Шульженко [та ін.]. – К.: ОЕП «ГРІФРЕ»: М-во енергетики та вугільної промисловості України, 2011. – 42 с.
11. Визначення теплового та термонапруженого станів ротора турбіни в лічильнику ресурсу / М.Г. Шульженко, П.П. Гонтаровський, В.П. Гонтаровський, М.В. Лихвар, Н.Г. Гармаш // Пробл. машиностроєння. – 2011. – Т. 14, № 4. – С. 52 – 60.
12. Шульженко Н.Г., Гонтаровский П.П., Матюхин Ю.И., Гармаш Н.Г. Анализ термонапряженного состояния ротора турбины К-300-240 ХТЗ для различных пусковых режимов // Проблемы машиностроения, 2007. – 10, № 1. – С. 83–90.
13. Шульженко Н.Г., Гонтаровский П.П., Голошапов В.Н., Пожидаєв А.В., Козлоков А.Ю. Расчетный ресурс высокотемпературных роторов турбины Т-250/300-240. Ч. I. Методика оценки ресурса // Энергетика та електрифікація. – 2011. – № 1(329). – С. 41–46.
14. Шульженко Н.Г., Гонтаровский П.П., Голошапов В.Н., Пожидаєв А.В., Козлоков А.Ю. Расчетный ресурс высокотемпературных роторов турбины Т-250/300-240. Ч. II. Оценка поврежденности и остаточного ресурса // Энергетика та електрифікація. – 2011. – № 2(330). – С. 42–49.
15. Шульженко Н.Г., Гонтаровский П.П., Голошапов В.Н., Пожидаєв А.В., Козлоков А.Ю. Расчетный ресурс высокотемпературных роторов турбины Т-250/300-240. Ч. III. Влияние темпов изменения нагрузки на переходных режимах. Обобщение результатов расчета // Энергетика та електрифікація. – 2011. – № 3. – С. 13–18.
16. Шульженко Н.Г., Матюхин Ю.И., Гонтаровский В.П. О длительной прочности высокотемпературной зоны осевого канала роторов паровых турбин // Пробл. машиностроєння, 2002. – 5, № 1. – С. 9 – 16.
17. Шульженко Н.Г., Гонтаровский П.П., Матюхин Ю.И., Гармаш Н.Г. Расчетная оценка длительной прочности дисков ротора паровой турбины // Пробл. прочності. – 2010. – № 4. – С. 77–86.
18. Шульженко Н.Г., Гонтаровский П.П., Матюхин Ю.И., Гармаш Н.Г. Моделирование кинетики трехмерных термомеханических полей в элементах турбомашин // Вибрации в технике и технологиях, 2004. – № 6 (38). – С. 26–30.
19. Шульженко Н.Г., Гонтаровский П.П., Протасова Т.В. Искривление роторов турбомашин при окружной неоднородности свойств материала // Надежность и долговечность машин и сооружений: Международный научно-технический сборник. – Киев: Институт проблем прочності НАН України, 2008. – № 31 – С. 170–177.
20. Влияние тепловых канавок на деформацию цельнокованого ротора при местных неосесимметричных перегревах / Н.Г. Шульженко, П.П. Гонтаровский, Т.В. Протасова // Пробл. машиностроєння, 2006. – 9, № 4. – С. 84–89.
21. Оценка трещиностойкости многоопорных замковых соединений лопаток газовых турбин / Н.Г. Шульженко, П.П. Гонтаровский, И.И. Мележик // Проблемы прочності, 2008. – № 5. – С. 89 – 95.
22. Шульженко Н.Г., Гонтаровский П.П., Матюхин Ю.И., Гармаш Н.Г. Анализ формоизменения высокотемпературной части корпуса турбины после длительной эксплуатации // Пробл. машиностроєння, 2008. – 11, № 3. – С. 15–23.
23. Напряженно-деформированное состояние и контактные явления в опирании диафрагмы паровой турбины / Б.Ф. Зайцев, Н.Г. Шульженко, А.В. Асаенко // Пробл. машиностроєння, 2006. – 9, № 3. – С. 35–45.
24. Оценка прочності сварной диафрагмы паровой турбины в трехмерной постановке / Н.Г. Шульженко, Б.Ф. Зайцев, А.В. Асаенко // Надійність і довговічність машин і споруд, 2006. – Вип. 27. – С. 174–180.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ВНУТРЕННИМИ (СКРЫТЫМИ) СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

ENERGY CHARACTERISTICS OF MECHANICAL OSCILLATORY SYSTEMS WITH INTERNAL (HIDDEN) DEGREES OF FREEDOM

Ю.И. Бобровницкий, д.ф.-м.н., зав. отделом

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Для произвольной линейной механической колебательной системы, часть степеней свободы которой являются внутренними и недоступными для прямых измерений, получены общие формулы, позволяющие рассчитать кинетическую и потенциальную энергии, коэффициент потерь и все другие энергетические характеристики системы, используя параметры, относящиеся только к доступным степеням свободы.

Вывод формул основан на использовании некоторых новых свойств т.н. матричного дополнения Шура. Полученные формулы применены для вычисления энергетических характеристик элементов акустических метаматериалов через их эффективные инерционно-жесткостные параметры. Особое внимание уделено случаю отрицательных значений этих параметров. Исходя из неотрицательности кинетической и потенциальной энергий механических структур, сформулированы ограничения на характер частотных зависимостей эффективных параметров. Результаты подтверждены компьютерным моделированием и экспериментом.

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

COMPREHENSIVE EVALUATION METHOD OF DYNAMIC STATE OF TECHNICAL SYSTEMS

Р.С. Ахметханов, д.т.н., зав. лаб.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

В процессе функционирования техническое состояние конструкций, деталей, подвергающихся непрерывным разрушающим воздействиям, непрерывно ухудшается. Это обусловлено результатом воздействия технологических и внешних нагрузок и ряда других факторов, которые носят случайный характер. Данные факторы ведут к возникновению и протеканию различного вида повреждений (износа, физического старения, поломок и др.) элементов конструкций, деталей машин и оборудования. Достигнув критического уровня, накопленные в результате процесса эксплуатации, повреждения приводят к нарушению работоспособного состояния оборудования, выработке ресурса, и как следствие, к ее отказу. В системах с высокой энергонасыщенностью отказ может привести к авариям со значительным ущербом. В связи с этим возникает необходимость в проведении большого объема исследований, связанных с изучением условий образования предельных состояний и отказов технических систем по критериям прочности, ресурса, надежности и живучести на разных стадиях возникновения и развития аварий и катастроф. Важное место при оценке состояния системы имеет и вибродиагностика. Методы вибродиагностики технических систем в значительной степени зависят от области частот анализируемой вибрации.

Сложность диагностики технических систем определяется и нелинейными свойствами материалов, конструктивных элементов и т.д. Нелинейные свойства материалов, узлов и сочленений деталей (трение) приводят даже в случае малых нелинейностей к новым эффектам.

Существуют различные методы вибродиагностики: диагностирование по спектру огибающей вибросигнала, диагностирование по спектру виброскорости, сравнение мощности сигнала в частотных диапазонах, диагностирование по соотношению общего уровня и пиков в вибросигнале и т.д.

Метод сравнения мощности сигнала в частотных диапазонах достаточно прост и понятен – выбрав необходимые диапазоны частот, нужно просто сравнить мощности сигнала с заданным уровнем мощности заведомо исправного технического объекта. В соответствии с данным методом рассмотрим возможность применения вейвлет-анализа, теории фракталов и нечетких множеств для анализа мощности сигнала в различных частотных диапазонах.

Вейвлет-анализ позволяет определить частотный спектр и максимальные значения энергий временного ряда $x(t)$ по поверхности $C(a, b)$, где a – параметр, характеризующий частоту f , b – сдвиг по времени t_r . Для анализа используется распределение частотного состава в момент времени t , определяемое максимальными коэффициентами вейвлет-преобразования $(C(ai, b))_{\max}$. Частотный спектр, его распределение и число частот определяется по первой производной

$$\frac{d(C(a, b))}{da} = 0 \quad i=1, 2 \dots n_i,$$

т.е. определением локальных максимальных значений коэффициентов $C(ai, bj)$ (рис.1). В найденных точках $a=a_i$ определяются значения коэффициентов (a_i, b_j) , которые определяют уровень энергии сигнала E_i на данной частоте f . Если полученные данные поместить на плоскость $f0E$, то получим распределение точек с различными значениями частот f и энергий E_i . Полученное распределение точек следует разделить на классы – провести кластеризацию.

Для этого используется теория нечетких множеств. На основе нечеткой алгебры строятся различные алгоритмы анализа диагностических данных. Одним из подходов в применении нечеткой алгебры является кластеризация данных. Для обработки данных полученных при вейвлет-преобразовании проводится фазификация (превращение четких значений в нечеткие числа), далее используются определенные алгоритмы обработки нечетких чисел, полученный результат дефазифицируется (превращается в четкое число). На основании полученного четкого числа, как правило, и принимается решение.

На рис. 2 приведены результаты кластеризации данных полученных вейвлет-преобразованием. Как отмечалось ранее, двухмерный массив точек строился по двум координатам: частота f и величина коэффициента $C(a, b)$. Число исследуемых кластеров ND выбирается из анализа размерности фазового пространства D . В данном примере размерность фазового пространства была определена величиной $D=6.5$. Полученные данные показывают различное распределение кластеров (значительное отличие по кластеру номер 7). Данное различие в расположении кластеров показывает на отличительные характеристики в динамическом отклике, которые и позволяют

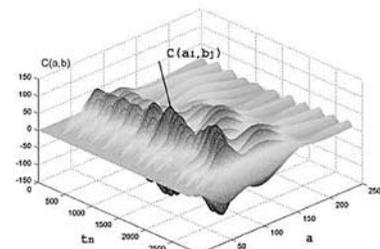


Рис. 1. Трехмерное изображение вейвлет-преобразования и максимальных значений коэффициентов $C(ai, bj)$

проводить диагностику динамического состояния системы. Каждому кластеру соответствуют данные, определяющие число входящих в кластер значений частот и их плотность распределения.

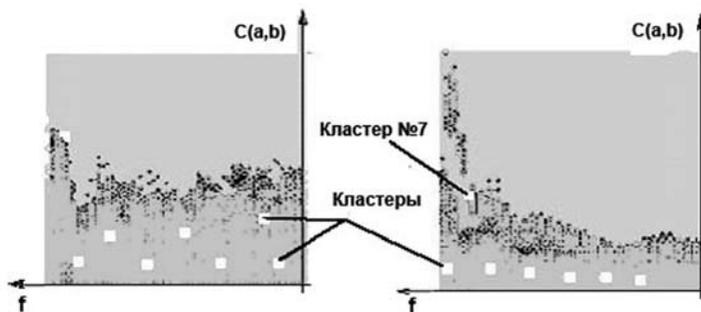


Рис. 2. Кластеризация данных $C(a,b)$ для временного ряда описывающего подшипник центробежного насоса: подшипник без повреждений; б - подшипник с повреждением

Определяющей величиной динамического состояния системы может быть критерий, определенный по характеристикам кластеров. Например, комплексный критерий D_k – вектор из компонент, определяющих расстояние между кластерами. На основе различий между значениями комплексного критерия, соответствующего начальному D_{k0} и текущему состоянию системы D_{kt} , может быть определена вероятность отказа $P(t)$.

Таким образом, алгоритм определения динамического состояния технического объекта представляет собой следующую последовательность:

$$x(t) \rightarrow D \rightarrow C(a,b) \rightarrow C(a,b)_{\max} \rightarrow KA(N_D) \rightarrow D_{kt} \rightarrow P(t).$$

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 10-08-00989а.

ДИНАМИКА КОНСТРУКЦИЙ АЭРОГИДРОУПРУГИХ СИСТЕМ DYNAMICS OF AEROHYDROELASTIC SYSTEM CONSTRUCTIONS

С.М. Каплунов, д.т.н., зав. лаб., Н.Г. Вальес, к.т.н., с.н.с., Т.Н. Фесенко, к.т.н., с.н.с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

В развитие общего оригинального подхода к решению задач динамики и прочности конструкций различных аэрогидроупругих систем с преобладающим поперечным турбулентным потоком среды при Re до 106 авторами предлагается рассмотрение решений ряда наиболее важных задач в обеспечение надежной эксплуатации современных мощных энергетических и транспортных установок и систем.

Комплекс решаемых задач включает анализ устойчивости конструкций, групповых линейных и нелинейных колебаний трубных пучков в жидкости, моделирование установившихся и переходных режимов для стержневых и балочных конструкций, моделирование механизмов возбуждения колебаний конструкций потоком жидкости, включая особенно опасные режимы автоколебаний, а также связанное развитие исследований и анализа виброконтактных процессов взаимодействующих в жидкой среде элементов конструкций с решением задач оптимального выбора комбинаций их конструкционных параметров в обеспечение повышения вибропрочности и долговечности.

Потеря устойчивости и возникновение опасной (аварийной) ситуации характерна для таких объектов, как трубные пучки, надземные или подводные участки газонефтепроводов, а также мосты и пешеходные переходы в поперечном потоке среды. В первом случае задача успешно сведена к анализу устойчивости невозмущенного состояния упругих элементов и получению необходимого и достаточного условия устойчивости в виде специальной программы.

В ряде случаев при исследовании динамики многокомпонентных конструкций гидроупругих систем с использованием алгоритма численного определения матриц гидродинамической связи стало возможным заменить исключительно сложный и дорогостоящий физический эксперимент численным.

Особое место в данном направлении исследований занимает группа задач по определению и анализу аэродинамических нагрузок от скоростных поездов, поскольку в данном случае поток является нестационарным и воздействие его – относительно кратковременным.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ТРАНСПОРТНЫХ ОБЪЕКТАХ

VIBROACOUSTIC PROCESSES VISUALIZATION IN POWER AND TRANSPORTATION OBJECTS

Е.В. Шахматов¹, д.т.н., А.А. Иголкин², к.т.н., зав. лаб. А.И. Сафин¹, инж., Г.М. Макарьянц¹, к.т.н. доцент,

1. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)» (Самара)

2. Институт акустики машин при СГАУ

В последние годы значительное внимание уделяется совершенствованию виброакустических характеристик агрегатов, узлов и приборов транспортных средств и энергетических объектов. Улучшение виброакустических характеристик агрегатов и узлов в конечном итоге приводит к улучшению потребительских качеств и увеличению конкурентных преимуществ объектов.

В работе рассмотрены бесконтактные методы визуализации виброакустических характеристик элементов энергетических и транспортных объектов. В основу этих методов положено измерение параметров вибрации методом трехкомпонентной сканирующей лазерной виброметрии и локализации источников шума методом beamforming (от англ. "формирование луча") и методом интенсивметрии. Для этих целей использовано современное оборудование сканирующий виброметр Polytec PSV-400, акустическая камера Norsonic Nor 148, и зонд-интенсиметр GRAS 50AI. Авторы проводили данные исследования на различных объектах изделий машиностроения, в частности, на каталитическом коллекторе ДВС, сотовой конструкции панели космического аппарата [1], лопатке ГТД.

На рисунке 1 показаны результаты визуализации виброакустических полей на примере каталитического коллектора.

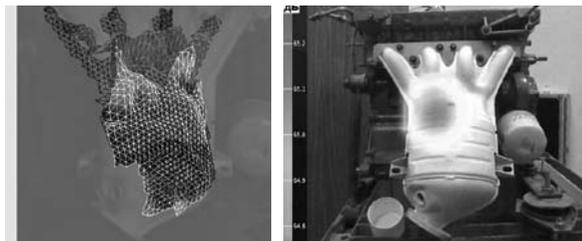


Рисунок 1 – Сравнение результатов полученных при помощи лазерной виброметрии и методом Beamforming на одной частоте

авторами разработаны мероприятия, которые позволили снизить величину виброускорения и узлов системы [2], авторами разработаны мероприятия, которые позволили снизить величину виброускорения и узлов системы [2], в качестве мероприятия использован вибродемпфирующий слой из упругопористого материала «металлорезина» [3].

Применение вибродемпфирующей прокладки позволило снизить величину виброускорения в частотном диапазоне от 100 до 5000 Гц. При этом акустическая эффективность достигает 8 дБА за счет увеличения демпфирующих свойств конструкции. Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации НШ-3029.2012.8.

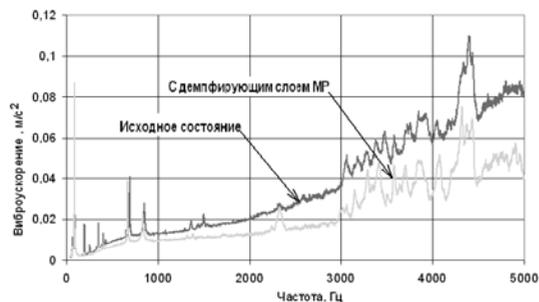


Рисунок 2. Сравнение спектров виброускорений усреднённых по поверхности катколлектора в исходном состоянии и с демпфирующим слоем из МР.

Полученные результаты имеют ясную физическую трактовку и не противоречат друг другу. Так, на одной и той же частоте участок катколлектора с наибольшими амплитудами виброускорения соответствует наиболее интенсивному источнику на картине локализации источника шума.

Следует отметить, что, получая похожие результаты при локализации источников шума использование Norsonic менее трудоёмко.

Помня о том, что конечной целью, как правило, является снижение виброакустической активности агрегатов и узлов системы [2],

ЛИТЕРАТУРА:

1. Сафин А.И. Использование трехкомпонентного сканирующего лазерного вибрметра для решения задач виброакустики [Текст] Сборник трудов 3-го международного экологического конгресса «ELPIT» 2011.-121-126 с.
2. Шахматов Е.В. Комплексное решение проблем виброакустики изделий машиностроения и аэрокосмической техники [Текст] LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH&CO.KG 2012. - 81 с.
3. Изжуров Е.А. Исследование акустических характеристик материала МР [Текст]/ Иголкин А.А., Цзян Хунюань, Ю Гоучи – Самара: Вестник СГАУ, 2006, 165-169 с.

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ШУМА ЦЕНТРАЛЬНОГО КАНАЛА ГАСИТЕЛЯ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ

NUMERICAL SIMULATION OF HYDRODYNAMIC NOISE GENESIS IN CENTRAL DUCT OF PRESSURE RIPPLES DAMPER

Г.М. Макарьянц, к.т.н., доцент кафедры, С.А. Гафуров, асп., И.А. Зубрилин, асп., А.Н. Крючков, д.т.н., доцент кафедры, Е.В. Шахматов, д.т.н., ректор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)» (СГАУ)

Снижение шума и вибрации гидроарматуры современных систем управления является приоритетной задачей при их проектировании и доводке. Формирование акустического поля гидроагрегата состоит из следующих этапов. Движение рабочей жидкости в проточной части элемента системы управления вызывает образование турбулентных пульсаций давления в пограничном слое. Турбулентные пульсации за счёт силового воздействия на стенки агрегата и поток рабочей среды вызывает вибрацию структуры и гидродинамический шум (ГДШ) в жидкости. Далее акустическое возмущение распространяется по структурному и жидкостному трактам трубопроводной системы, наблюдается взаимное влияние вибрации и ГДШ. В итоге происходит излучение акустической энергии в окружающее пространство. Для контроля ГДШ используются специализированные гидростенды, имитирующие рабочие расходы и давления испытываемых агрегатов. Стенд (рис. 1) условно делится на участок подготовки рабочей жидкости, включающий в себя насосную станцию и гидрозапорную арматуру, и измерительный участок.

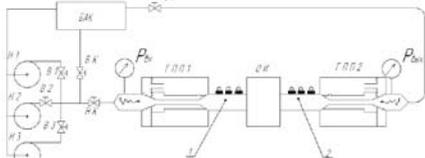


Рисунок 1 - Принципиальная схема стенда
Н1, Н2, Н3- блок насосов, БК –байпасный клапан, НК- напорный клапан, СК- сливной клапан, ГПП1- входной гаситель пульсаций потока, ГПП2 –выходной гаситель пульсаций потока, В1,В2,В3- вентили переключения насосов, ОИ –объект испытаний, 1-входной измерительный участок, 2- выходной измерительный участок

Существующие уровни стендовых помех позволяют уверенно контролировать вибрацию и воздушный шум. Для контроля ГДШ арматуры необходимо снизить имеющиеся уровни гидродинамических помех. Для этих целей были разработаны гасители колебаний рабочей жидкости, размещённые на входе и выходе измерительного участка.

Структура гасителя состоит из двух контуров (рис. 2). Первый выполнен по схеме гасителя с постоянным волновым сопротивлением. Его задачей является расширение частотного диапазона эффективной работы устройства. Второй представляет собой резонансный контур, увеличивающий затухание на низких частотах колебаний. Эффективность работы первого контура зависит от диаметра (индуктивных свойств) центрального канала.

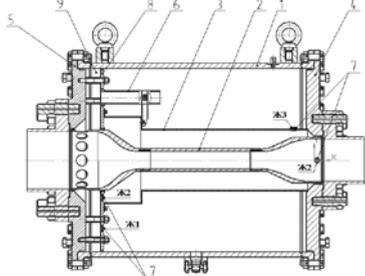
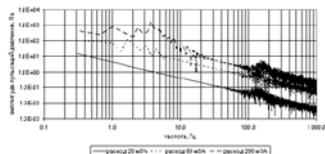


Рисунок 2 - Принципиальная схема гасителя с проектными размерами основных элементов
1 – ёмкость резонансного контура, 2 – центральный канал, 3 – ёмкость контура постоянного активного сопротивления, 4, 5 – присоединительные фланцы, 6 – индуктивность резонансного контура, 7 – жиклеры, 8, 9 – соединительная полость

В ходе экспериментальной доработки гасителя колебаний была показана его низкая эффективность на режимах с большими расходами. Была предложена гипотеза, согласно которой низкая эффективность гасителя связана с интенсивной вихревой составляющей потока в диффузоре центрального канала. Проверка гипотезы проводилась с использованием численной модели течения в центральном канале гасителя.

Для замыкания уравнений, описывающих течение рабочей жидкости, использовались SST и LES модели турбулентности. Их выбор обусловлен необходимостью точного описания пристеночных течений в канале и необходимостью учёта развитых турбулентных слоёв. Рабочая жидкость – вода. Граничные условия расчётной области на входе – расход жидкости, на выходе – статическое давление. Использовалась упорядоченная гексаэдральная сетка, состоящая из 1 500 000 элементов. Расчет проводился в нестационарной постановке. Были получены результаты для 3-х режимов течения в центральном канале (рис. 3): расход менялся в пределах от 20 до 200 м³/ч, статическое давление оставалось постоянным и равным 4,0 МПа.



Численный расчет показал, что практически на всех исследованных режимах присутствуют отрывные течения, что приводит к повышению ГДШ в выходном сечении гасителя. Минимальные отрывы присутствуют только на пониженных режимах, соответствующих минимальным значениям расхода и давления. С возрастанием одного из этих параметров отрывы интенсифицируются. Таким образом, для минимизации отрывных течений на повышенных режимах необходима оптимизация геометрии диффузора проточной части канала

СФЕРОРОБОТ SPHEROB: КОНЦЕПЦИЯ, МОДЕЛЬ, ЭКСПЕРИМЕНТЫ

SPHEROROBOT SPHEROB: CONCEPT, MODEL, EXPERIMENTS.

В.Е. Павловский, д.ф.-м.н., г.н.с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук.

Одним из вариантов "нетрадиционных" робототехнических средств передвижения является сфероробот [1-6]. Эти аппараты в силу своей герметичной конструкции могут использоваться для исследования или контроля зон с неблагоприятной и даже агрессивной средой, например мест аварий, или зон интереса на других планетах. В задачах сбора информации, контроля окружающей среды, сферическая форма робота даёт ему ряд преимуществ перед другими аппаратами. В отличие от иных моделей, у робота-шара нет ни невозможных направлений движения (он omnimобилен), ни мест сопряжения узлов или частей, куда могли бы попасть загрязняющие/мешающие движению объекты, жидкости, газы из внешней среды.

Такой робот будет полезен при повышении техногенной безопасности мобильных систем или дорожных ситуаций. Можно представить варианты, когда система роботов-шаров ведет в качестве "наблюдающих патрульных" охрану или контроль парковок, периметров объектов типа хранилищ, и т.п., контролирует в узловых местах трубопроводные системы, и целый ряд других вариантов аналогичных приложений. Роботы при этом могут двигаться по произвольным (плоским) траекториям или в неблагоприятных погодных условиях, отслеживая и контролируя ситуацию. Если управляемые шары использовать как колеса транспортного средства, оно становится omnimобильным.

Имеется также вариант с использованием сферороботов в качестве "гидов" в современных инновационных технических музеях (такие предложения имеются). Подобные конструкции могут также служить наглядным примером для обучения принципам теоретической механики (такое направление развивается, в частности, в Италии). Таким образом, диапазон применения сферороботов является достаточно широким.

Коллективом разработчиков в Институте машиноведения им.А.А.Благонравова РАН совместно с Удмуртским государственным университетом, Ижевск, механико-математическим факультетом МГУ, Институтом прикладной математики им.М.В.Келдыша РАН, Москва, ЗАО "Ровер", Санкт-Петербург, разработан первый в России сфероробот - робот-шар SphEROB. Разработка выполнена в рамках гранта Минобрнауки РФ по привлечению ведущих ученых к работам в ВУЗах России.

Цель проекта. Упомянутый проект – это исследовательский проект по автономным роботам-шарам, по отработке их автоматической системы управления с элементами Искусственного Интеллекта.

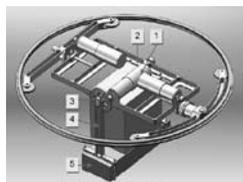


Рис.1. Общий вид SphEROB.
1 - PCB платка, 2 - рама, 3 - дифференциальная передача, 4 - колеса, 5 - АКБ.



Рис.2. Сфероробот SphEROB.

Конструкция. Роботы-шары используют различные системы приводов, наиболее интересными из них представляются те, которые используют специальные внутренние механизмы. Здесь наиболее часто используются механизмы, обеспечивающие смещение центра масс внутри робота, это системы типа маятников или системы с подвижными массами. В российском сферороботе SphEROB использован маятниковый механизм.

Конструкция SphEROB показана на рис.1. Робот-шар имеет три раздельно управляемые степени свободы, две из которых задают отклонение маятника от экваториальной плоскости шара, третья служит для поворота приводной системы шара

в экваториальной плоскости. Маятник конструктивно образован системой управления робота (ее блоками, собранными в специальный моноблок) и аккумуляторной батареей АБ.

На рис.2 показан внешний вид SphEROB.

Основные технические данные шара SphEROB таковы: диаметр 400 мм, масса 5 кг,

- система управления микропроцессорная 4-канальная, штатно задействованы 3 канала, один зарезервирован, система включает встраиваемый бортовой компьютер INTEL-платформы, габариты всего моноблока управления 95x90x90 мм,

- связь с внешним консольным компьютером по WiFi-линии, возможна связь по ИК каналу,

- сенсоры: первая очередь – встроенные сенсоры углов и угловых скоростей поворота приводов степеней свободы робота, вторая очередь – сенсоры инерциальной навигации, третья очередь – система технического зрения,

- программное обеспечение – оригинальная авторская управляющая система со следящими и терминальными управляющими системами, система искусственного интеллекта для синтеза поведения робота.

В настоящее время для робота реализовано полное дистанционное управление по радиолинии. Он также способен полностью автоматически двигаться по отрезкам прямых, составляющих ломаную линию. На очереди – криволинейные траектории, планирование сложного движения, эксперименты со зрением. В ИМАШ РАН в настоящее время совместно с соисполнителями ведутся интенсивные эксперименты по проекту SphEROB.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электронный пещыпс <http://www.rotundus.se/>, <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/1898342.stm>, <http://www.robotliving.com/robot-news/solar-robot-ball/>, <http://vimeo.com/>, <http://www.slashgear.com/project-413-makes-xkcd-robot-hamster-a-reality-video-1465950/>, <http://rovercompany.ru>

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПАРОВЫХ И ГАЗОВЫХ ТУРБИНАХ

NUMERICAL ANALYSIS OF DYNAMICAL PROCESSES IN STEAM AND GAS TURBINES

Ю.С. Воробьев, д.т.н., зав. отд., **М.В. Чернобрыкво**, к.т.н., с.н.с., **В.Н. Романенко**, гл. инж.-иссл.,
Н.Ю. Овчарова, асп.

Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, Харьков.

Рассматриваются особенности динамических механических процессов в лопаточном аппарате и элементах корпусов турбомашин. Современные тенденции совершенствования турбомашин связаны с ростом параметров потока рабочего газа. Лопаточный аппарат при этом испытывает воздействие все более высоких интенсивностей динамических нагрузок и температурных полей. Это вызывает необходимость использования рабочих лопаток газовых турбин из жаропрочных монокристаллических сплавов с внутренним охлаждением.

В работе проведен анализ конструктивных особенностей, свойств материала и повреждений на спектр частот, форм и распределение интенсивностей напряжений при колебаниях лопаточного аппарата паровых и газовых турбин. Используются трехмерные модели и метод конечных элементов. Рассматриваются колебания монокристаллических лопаток со сложной системой охлаждающих каналов в виде вихревой матрицы. Учитывается анизотропия монокристаллического материала и влияние температурных полей. Проводится анализ влияния изменения ориентации кристаллографических осей на спектр собственных частот колебаний лопаток. Исследуется влияние указанных факторов на формы колебаний и распределений интенсивности вибрационных напряжений. Показано появление зон локализации напряжений на внутренней поверхности охлаждающих каналов и вокруг отверстий для выхода газа. Результаты испытаний лопаток подтверждают данные численного анализа.

Рассматривается также поведение цилиндрических элементов корпусов турбин под действием локальной ударной нагрузки. В современных газотурбинных двигателях возможно попадание в газоздушный тракт посторонних предметов, которые создают ударные воздействия на корпус. Еще большую опасность представляют фрагменты разрушения лопаточного аппарата, включая части лопаток над замком. Пластические деформации и разрушения части корпуса представляют большую опасность для работающего двигателя. Это вызывает актуальность анализа динамического напряженно-деформированного состояния элементов корпусов при локальных ударных воздействиях.

Разработаны трехмерные модели и проведен анализ скоростного упругопластического деформирования цилиндрических элементов корпусов турбомашин при локальных ударных нагрузках. Особенности динамического напряженно-деформированного состояния заключается в локализации наибольших напряжений в ограниченной зоне удара. Показаны особенности распределения полей перемещений и интенсивностей напряжений при различных скоростях нагружения.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ (СВП) В ТРУБОПРОВОДАХ

PRESENT STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF WAVE PROCESSES STABILIZATION (SWP) SYSTEMS IN PIPELINES

Академик **Р.Ф. Ганиев**¹, директор, **Л.Е. Украинский**², д.т.н., директор, **Г.В. Москвитин**¹, д.т.н., зав. лаб.

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

2. Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук «Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН» (Москва)

В докладе представлен обзор литературы по отечественным и иностранным источникам. Рассматривается проблема стабилизации волновых процессов (СВП) в магистральных трубопроводах, подвергающихся динамическим нагрузкам, как при нормальном режиме эксплуатации, так и в экстремальных, аварийных ситуациях. Нестабильность движущихся потоков затрудняет эксплуатацию, снижает пропускную способность, эффективность, ресурс.

При этом в докладе рассматриваются не только технические и инженерные аспекты данной проблемы, но и обсуждаются различные научные подходы и математические модели для адекватного описания сложных явлений взаимодействия твердых тел, жидкости и газа в рамках нелинейной волновой механики.

Результат представленной работы позволяет выполнить оценку современного состояния и перспектив развития систем стабилизации волновых процессов в трубопроводах не только в пределах отдельно взятой страны, но и в других промышленно развитых странах, имеющих на своей территории магистральные и технологические трубопроводы для транспортировки нефти, нефтепродуктов, газа, сжиженного газа и др. углеводородного сырья.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТАБИЛИЗАТОРОВ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ (СВП)

SOME RESULTS OF NUMERICAL RESEARCH OF STRESSED-DEFORMED STATE OF THE WAVE PROCESSES STABILIZERS (SWP)

Г.В. Москвитин, д.т.н., зав. лаб., **А.В. Балашова**, н.с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Работа, результаты которой представлены в настоящем докладе, проводилась в рамках Программы фундаментальных научных исследований Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН «Фундаментальные проблемы создания волновых и вибрационных машин и технологий». Координатор Программы академик Р.Ф. Ганиев.

В соответствии с Проектом 9 указанной Программы «Повышение эффективности волновых стабилизаторов трубопроводов на базе комплекса расчетно-экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния, прочности и ресурса» выполнено численное исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) стальной упругой камеры эллиптического сечения с полиуретановым наполнителем, нагруженной внешним давлением. Приняты реальные величины давления, размеры и характеристики материалов. Получены количественные оценки параметров НДС в опасных областях.

Представленная работа является частью комплекса расчетно-экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния, прочности и ресурса и представляет результат численного исследования, выполненного с целью получения основных закономерностей распределения полей деформаций и напряжений в конструкции СВП в зависимости от конструктивных и эксплуатационных параметров данных изделий.

СНИЖЕНИЕ УРОВНЕЙ ВИБРАЦИЙ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ НА ОБОРОТНЫХ ЧАСТОТАХ

VIBRATION LEVEL REDUCTION OF THE GEARINGS ON THE SPEEDS OF ROTATION

В.И. Апархов, к.т.н., в.н.с., **М.А. Глушкова**, к.т.н., с.н.с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Предъявляемые в настоящее время жесткие требования к низкочастотным вибрациям мощных энергетических установок требуют дополнительной разработки методов снижения их виброактивности, наиболее эффективным из которых является снижение эффективности источников вибраций. Наряду с общими вопросами снижения виброактивности зубчатых передач, известными в литературе, в докладе уделяется основное внимание снижению уровней вибраций с оборотными частотами спутников планетарных передач.

ИЗОМОРФНЫЙ МЕХАНИЗМ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ КАК ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РОБОТ

ISOMORPHIC PARALLEL SATRUCTURE MECHANISM AS TECNOLOGICAL ROBOT

В.А. Глазунов, д.т.н, **С.В. Левин**, к.т.н, с.н.с., **Шалюхин К.А.**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Механизмы параллельной структуры воспринимают нагрузку подобно пространственным фермам, что обуславливает интерес к ним с точки зрения использования их как технологических роботов. В частности, имеют место проекты по использованию устройств подобного рода, основанных на структуре Гауфа (Рис. 1) - эту схему часто называют гексаподом [1]. Недостатками этой схемы являются непостоянство передаточных отношений между перемещениями приводов и перемещениями рабочего органа а также взаимосвязанность скоростей и перемещений в двигателях.

Для устранения этого недостатка была предложена схема, которую иногда называют изогляйдом [2]. В этой схеме имеют место три кинематические цепи, в каждой из которых содержится линейный привод и три вращательных шарнира. В Институте машиноведения им. А.А. Благонравова РАН был реализован действующий образец этого устройства (Рис. 2). Достоинствами этого устройства являются постоянство передаточных отношений между перемеще-

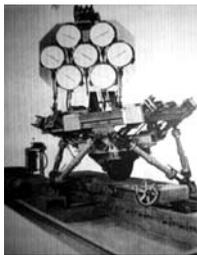


Рис. 1



Рис. 2

ЛИТЕРАТУРА

1. Gough V.E. Contribution to Discussion of Papers on Research in Automobile Stability, Control and in Tyre Performance. / Pr. Autom. Div. Inst. Mech. Eng. 1956/57, pp 392-396.
2. Kong X., Gosselin C. Type Synthesis of Parallel Mechanisms. Springer 2007, 275 p.

ЭЛЕКТРОННАЯ ОРТОГОНАЛИЗАЦИЯ ВЕКТОРОВ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ТРЁХКОМПОНЕНТНОГО ДАТЧИКА ВИБРАЦИИ С ЕДИНЫМ ИНЕРЦИОННЫМ ЭЛЕМЕНТОМ

NEW WAY TO ELECTRONICALLY ELIMINATE TRANSVERSAL SENSITIVITY IN 3D VIBRATION TRANSDUCER WITH ONE MASS ELEMENT

А.С. Жданов, с.н.с

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Рассматривается новый способ повышения точности измерения пространственной вибрации. Известно, что точность измерения многомерной вибрации промышленными трёхкомпонентными датчиками ограничена принципиальными недостатками их конструкции. По сути дела такие датчики представляют собой три однокомпонентных датчика, установленные на трёх гранях куба. При этом у такого датчика отсутствует единая измерительная точка, что снижает точность измерения высокочастотной вибрации. Кроме того, наличие существенной поперечной чувствительности также приводит к снижению точности. Обе указанные причины неустранимы в рамках существующей технологии производства промышленных трёхкомпонентных датчиков. Описана конструкция трёхкомпонентного пьезодатчика с единым инерционным элементом и косугольной системой измерительных осей. Датчик измеряет вибрацию физически в одной точке. Он работает совместно специально разработанным согласующим преусилителем, который осуществляет электронную ортогонализацию и нормализацию векторов чувствительности. Поперечная чувствительность может быть снижена до величин менее 0.1 %, что ограничено лишь точностными характеристиками калибровочной установки.

ФАЗОВАЯ КАЛИБРОВКА МИКРОФОННЫХ ТРАКТОВ

PHASE CALIBRATION OF MICROPHONE UNITS

К.Д. Морозов, к.т.н., в.н.с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

В ряде задач при исследовании акустических полей, в частности при измерении акустического импеданса, требуется точное измерение фазы. В связи с этим возникает необходимость фазовой калибровки микрофонных трактов. До недавнего времени этой проблеме не уделялось должного внимания. Поэтому в настоящей работе предложено и создано устройство для определения фазы между измеренным давлением и электрическим сигналом на выходе микрофонного тракта, разработан и собрана схема экспериментальной установки.

Устройство представляет малый цилиндрический объем с тонкой гибкой торцевой стенкой, возбуждаемой электродинамическим вибратором и на которой пьезоакселерометром измеряется ускорение. Показано, что в довольно широком диапазоне частот ускорение стенки и давление в объеме синфазны, так что при измерении фазы давление может быть заменено ускорением, измерение которого проще.

Исследовано влияние потерь на сдвиг фаз по частоте между давлением в цилиндре и ускорением его стенки и получены расчетные значения сдвига фаз в зависимости от коэффициента потерь. Оценены погрешности электронной схемы измерения. Суммарная погрешность в измерении фазового сдвига в тракте «давление – ускорение» не превышает нескольких градусов. Приводятся характеристики, конструкция, принципиальная схема фазового калибратора и некоторые результаты его практического применения.

ниями в приводах и перемещениями рабочего органа, а также полная кинематическая развязка между приводами. При этом данный механизм воспринимает нагрузку как пространственная ферма.

В дальнейшем планируется осуществить попытку использования данного механизма как основы перспективного технологического робота, который может применяться для обработки изделий сложной формы.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ НАУЧНЫХ ПРИБОРОВ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ НАГРУЗОК В КОСМОСЕ

DYNAMIC PROPERTIES OF STRUCTURES FOR MODERN SCIENCE INSTRUMENTS, WORKING UNDER EXTREME LOADS IN SPACE

Т.М. Томилина, к.т.н., зав.лаб., **Б.Н. Бахтин**, н.с., **А.С. Гребенников**, с.н.с., **М.М. Лактионов**, техник, **М.Л. Литвак**, д.ф.-м.н., н.с., **С.Н. Пономарева**, м.н.с., **А.Б. Санин**, к.ф.-м.н., н.с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

В докладе рассматриваются методы разработки и наземной отработки новых научных космических приборов, обеспечивающие надежность их конструкции при экстремальных динамических нагрузках.

Основным требованием при создании таких приборов является обеспечение прочности при минимальной массе и сохранении функциональных свойств прибора. В работе используются математическое и экспериментальное моделирование. В качестве вибро-механических характеристик конструкции рассматриваются спектральная плотность мощности PSDи спектр ударного отклика SRS.

Предлагаются пути реализации натуральных испытаний приборов по заданным внешним воздействиям - случайной вибрации и удару наспециализированных стендах.Обсуждается вариант без обратной связи.

Приводятся результаты вибро-ударныхиспытаний научных приборов, предназначенных для космических проектовРоскосмоса и иностранных космических агентств, в том числе по проектам LRO(прибор LEND, запуск 2009г.) иMSL (прибор DAN, запуск 2011г.),на стендах ИМАШ РАН и ИКИ РАН.

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЗБУЖДЕНИЯ АВТОКОЛЕБАНИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

THERMOMECHANICAL MODEL OF THE OCCURRENCE OF OSCILLATIONS IN METAL CUTTING

В.К. Асташев, д.т.н., зав. отд., **Г.К. Корендяев**, м.н.с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Повышение эксплуатационных свойств металлорежущих станков и качества обработки заготовок лезвийным инструментом немислимо без изучения динамических процессов, происходящих при металлообработке.

Существует множество теорий автоколебаний при обработке металлов резанием, однако, на сегодняшний день, нет единой точки зрения на природу этого явления. Сложность физических процессов, сопровождающих резание металлов, позволяет предположить, что возникновение и поддержание данных автоколебаний определяется не одним, а несколькими физическими явлениями, которые могут взаимодействовать между собой. В данной работе выдвинута гипотеза о термомеханической природе данных автоколебаний. Тепловые и механические процессы, протекающие при резании, неразрывно связаны друг с другом. Механические процессы, происходящие в зоне резания, приводят к интенсивному тепловыделению, что в свою очередь вызывает значительный рост температуры обрабатываемого изделия и инструмента. При колебаниях температуры, в зоне резания происходят структурные превращения, и как следствие, изменение механических свойств материала. Характер зависимости между механическими и тепловыми составляющими процесса резания позволяет предположить возможность появления в системе «резец-заготовка» термомеханических автоколебаний.

Для большинства металлов, обрабатываемых резанием, характерна падающая зависимость механических характеристик от температуры. Сила резания непосредственно зависит от предела прочности обрабатываемого материала и в первом приближении оказывается пропорциональной ему. Следовательно, зависимость «сила резания – температура» также имеет отрицательный угол наклона, что определяет потенциальную неустойчивость системы, и, как следствие, возможность возникновения в ней незатухающих автоколебаний.

На основании предложенной гипотезы была сформирована математическая модель процесса, имеющая вид системы дифференциальных уравнений, одно из которых является уравнением механических колебаний, а второе - уравнением теплового баланса. Исследование устойчивости частного решения данной системы уравнений, соответствующего установившемуся состоянию, показало возможность возбуждения незатухающих автоколебаний.

Необходимо отметить, что данная модель построена при определенных предположениях. Так предполагается, что нагрев при резании происходит равномерно в некотором объеме, обладающем определенной массой, а

передача тепла в среду происходит через границу резкого перепада температур. Из исследований температурных процессов, сопровождающих резание металлов, известно, что зона наивысших температур действительно располагается в достаточно узкой окрестности контакта реза и заготовки, а изменение температур при отводе тепла в среду происходит с достаточно высоким градиентом. Аналитическое решение уточненной модели этого процесса едва ли возможно. Поэтому дальнейшее изучение термомеханических автоколебаний производилось с помощью численных методов.

На 2 этапе была сформирована конечноэлементная модель процесса, позволяющая проверить справедливость предположения о термомеханической природе автоколебаний при резании, адекватность математической модели этого процесса, получить и исследовать режимы установившихся автоколебаний, провести анализ влияния свойств обрабатываемого материала, параметров технологической системы и режимов резания на характер и уровень вибрации при обработке металлов резанием. Найдены границы устойчивости, проведено исследование влияния автоколебаний на форму стружки, изучено влияние термомеханических свойств обрабатываемого материала на характер и интенсивность вибрации.

Характер полученных результатов согласуется с результатами натуральных экспериментов, что подтверждает адекватность полученных моделей. Сформированные модели могут служить для нахождения режимов резания, обеспечивающих минимальный уровень вибрации, а также при проектировании металлорежущего инструмента и оснастки. Понимание физического механизма возбуждения автоколебаний как взаимосвязанного термомеханического процесса позволяет прояснить физический смысл явлений, лежащих в основе наиболее распространенных моделей автоколебаний при резании.

СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВИБРОУДАРНОГО АВТОРЕЗОНАНСНОГО ТОЧЕНИЯ

PROPERTIES OF BLANKETS NANOSTRUCTURED AS A RESULT OF THE VIBROIMPACT AUTORESONANT TURNING

В.К. Асташев¹, д.т.н., зав. отд., **В.Л. Крупенин¹**, д.т.н., г.н.с., **В.Н. Перевезенцев²**, д.ф.-м.н., дир.

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)
2. Нижегородский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук

Проблема получения наноматериалов, предназначенных для различных областей техники, давно является предметом обсуждений. Было показано, что наноструктурирование поверхностного слоя металлических материалов может обеспечить повышение прочностных характеристик при одновременном увеличении их пластичности. Достижение подобного эффекта помимо формирования наноразмерных структур в поверхностном слое обеспечивается за счет создания так называемого барьерного подслоя, который представляет собой материал с полосовой дислокационной субструктурой, препятствующей проникновению дефектов с поверхности в объем нагружаемого материала.

Одним из методов создания наноструктурного состояния в поверхностном слое и обеспечения градиентного изменения характеристик прочности по глубине обработанного материала является авторезонансная виброударная ультразвуковая обработка (АРУЗО) поверхности. Например, было показано, что характерной особенностью структуры поверхностного слоя холоднокатаного титана, подвергнутого АРУЗО, является наличие полосовой дислокационной субструктуры в виде параллельных дислокационных субграниц. В работе использована ультразвуковая финишная обработка (УФО) для повышения эффективности ионного азотирования стали 40Х13, что связано с повышением интенсивности протекания диффузионных процессов при увеличении степени дефектности металлических сплавов. При этом были выявлены температурные режимы, обеспечивающие максимальное увеличение микротвердости в упрочненном поверхностном слое, а также показано, что предварительное безабразивное ультразвуковое выглаживание поверхности при последующем ионном азотировании оказывает влияние на увеличение толщины модифицированного слоя на глубину до 25-30 мкм. Кроме того, как правило, ультразвуковая (финишная) обработка сталей, сопровождается увеличением износостойкости обработанных поверхностей.

Среди механических свойств нанокластеров и наноструктур необходимо отметить высокую твердость и высокую пластичность. Прежде всего, твердость наноструктуры должна возрастать с уменьшением размера кластера. С другой стороны, при нанометровом размере большое значение имеет диффузионное скопление нанокристаллитов, и скорость деформации значительно возрастает. Таким образом, прочностные свойства наноматериала определяются соотношением между пределом текучести (прочностью) и скоростью деформации. Еще одним фактором увеличения скорости деформации следует считать возрастание коэффициента диффузии при уменьшении размера кластера.

Классические технологии ультразвуковой обработки материалов позволяют получать поверхностные и приповерхностные наноструктуры, но только виброударные авторезонансные технологии могут обеспечить стабильность структурированности и заданные свойства поверхности после обработки, получение нанокристаллических структур с определенными параметрами.

ВОЛНЫ И ВИБРОУДАРНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ДИСКРЕТНЫХ РЕШЕТЧАТЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

WAVES AND VIBROIMPACT PROCESSES IN DISCRETE LATTICE STRUCTURES

В.Л. Крупенин, д.т.н. г.н.с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Рассмотрены и описаны стоячие сильно нелинейные волны в решетчатых двумерных системах, образованных взаимно перпендикулярными струнами и системой точечных абсолютно твердых тел, предназначенных, например, для их соединения. Около указанных тел установлены одно- и (или) двусторонние ограничители хода, генерирующие в системах виброударные процессы. Приводятся операторные и интегральные уравнения движения и примеры построения некоторых типов периодических стоячих волн. В длинноволновом приближении вместо решеток, приходим к мембранам и пластинкам, а также от классических ударных пар переходим к системам с распределенными ударными элементами. Исследованы виброударные системы, в которых линейные части оказываются системами, как простой, так и сложной структуры, изучены фильтрующие свойства таких объектов, оказывающихся многомерными фильтрами низших частот. Рассмотрены виброударные процессы в решетчатых конструкциях, выполненных из материалов с релаксацией и другие задачи.

Наряду с этим, дается обзор динамики многомерных виброударных систем со многими степенями свободы в случае, когда вынужденные случайные колебания возбуждаются широкополосными процессами типа белых шумов. Методы расчета основаны на теории диффузионных марковских процессов. Рассматриваются линейные и решетчатые конструкции с одномерными и многомерными соударениями. Обсуждаются перспективы дальнейшего развития изучения данного класса задач и их принципиальных обобщений и приложений. В частности, изучены так называемые «стопки» - конструкции, состоящие из системы конечного числа решеток, устанавливаемых с зазорами друг относительно друга.

Рассмотрены также составные объекты, состоящие из центральной конструкции, представляющей собой, в частности, простую двумерную, решетчатую структуру и дополнительную оснастку (присоединенное оборудование), взаимодействующее, с центральной конструкцией посредством систематических соударений элементов систем. При этом гипотезы ударного взаимодействия могут выбираться как классическими (ньютоновскими), так и более реалистичными, учитывающими конечную продолжительность ударов. Модели таких конструкций могут быть исследованы с помощью аналитических (численно - аналитических) частотно-временных методов анализа виброударных процессов, применимых при переходе от дифференциальных к операторным уравнениям движения, а при описании периодических процессов - к менее общим интегральным уравнениям периодических режимов. Даются выводы определяющих соотношений; как и ранее, строятся системы операторных уравнений, а также приводится принципиальный пример.

Наконец рассмотрены конструкции с большим числом степеней свободы и выполненные при помощи решеток, узлы которых могут быть связаны между собой как при помощи струн, так и другими способами. Проводятся построения вибрационных полей в таких конструкциях в линейном приближении. Кроме того, изучены случаи наличия в системах ударных пар, вызывающих виброударные режимы движения. В этом случае анализ виброударных процессов производится при помощи частотно-временных методов. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 10-08-00500-а).

ДИСКРИМИНАНТНЫЙ АНАЛИЗ ВИБРАЦИЙ КАК СРЕДСТВО УПРЕЖДАЮЩЕГО ТЕХОБСЛУЖИВАНИЯ

VIBRATION DISCRIMINANT ANALYSIS AS A MEAN OF PREDICTIVE MAINTANENCE TECHNIQUE

А.Г. Соколова, к.т.н., зав. лаб., **Ф.Я. Балицкий**, к.т.н., с.н.с., **М.А. Иванова**, к.т.н., с.н.с., **Г.В. Долаберидзе**, н.с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Стандартный подход к вибромониторингу технического состояния машинного оборудования в настоящее время базируется на результатах измерения уровней вибрации (среднеквадратических значений виброскорости в определенных полосах частот) и сравнения их с предельно допустимыми значениями тревожной сигнализации. Как правило, в системах вибромониторинга машин при измерении вибрации на невращающихся элементах конструкции заложены алгоритмы контроля абсолютных амплитудных значений виброскорости в полосе частот 10-1000 Гц (или других фиксированных полосах частот) и первых двух-трех гармоник частоты вращения ротора. Эти алгоритмы не

предназначены для раннего обнаружения и отслеживания развития дефектов, а годны только для аварийной защиты при наличии значительных повреждений.

В докладе предлагается новый подход к вибромониторингу технического состояния машинного оборудования, базирующийся на результатах параллельного узкополосного дискриминантного анализа клипированных по амплитуде вибрационных сигналов. Новая технология обеспечивает локализацию (т.е. выявление частотных диапазонов максимальной изменчивости вибросигналов) источников повышенной вибросенситивности, обусловленной зарождением и развитием эксплуатационных повреждений. Приведены примеры практического использования метода для обнаружения повреждений (по данным измерения корпусной вибрации газотурбинных установок компрессорных газоперекачивающих станций), в частности, подшипников качения, деталей соплового и лопаточного аппарата компрессора и турбины газогенератора, неподдающихся обнаружению стандартными методами. Высокая чувствительность и помехоустойчивость S-дискриминанта как инструмента эффективной технологии вибромониторинга, способствуют обеспечению надёжности и эксплуатационной безопасности машинного оборудования.

СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ВИБРОДИАГНОСТИКИ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ

DATA ACQUISITION SYSTEM FOR SPINDLE UNIT ONLINE DIAGNOSTICS

А.М. Шитов, к.т.н., с.н.с. **И.М. Кондратьев**, к.т.н., м.н.с., **А.В. Орлов**, инж.-прогр.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Обследование станков на крупном машиностроительном заводе показало, что в производственной практике встречаются не только параметрические отказы шпиндельных узлов (ШУ), но и функциональные, когда шпиндель не вращается по причине разрушения подшипников качения в опорах. Если подшипники ШУ станков разрушаются, происходит остановка не только дефектного станка, но также всех объектов, связанных с ним технологическим процессом изготовления продукции. Стоимость такого простоя может быть очень высокой.

Одной из важных задач, позволяющих значительно уменьшить производственные затраты по обслуживанию станочного оборудования, является диагностирование на основе измерения вибраций шпиндельных узлов станков.

С этой целью разработана система сбора данных (ССД) для оперативной диагностики «ВК-ИИ» шпиндельных узлов станков с подшипниками качения. В составе системы используются микропроцессорный модуль, датчики вибраций и угловой скорости. Система отслеживает состояние шпиндельного узла, развитие дефектов подшипников и обеспечивает защиту шпиндельного узла от аварийного разрушения. В программном блоке системы «ВК-ИИ» реализованы методы диагностики подшипников по СКЗ виброскорости (общему уровню сигнала); по спектру виброскорости; по пикфактору - соотношению пик/фон сигнала; по спектру огибающей временного сигнала. Устройство содержит шину USB для обмена информацией с компьютером высшего ранга.

Макетный образец ССД, в котором реализованы методика диагностики и программы обработки вибрационных сигналов ШУ отлажен и проходит стадию лабораторных и цеховых испытаний с целью наполнения базы данных для оперативной диагностики ШУ и прогнозирования их ресурса.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРИ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКЕ ПЕРА ЛОПАТОК АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

INTELLECTUAL MANAGEMENT IN THE COURSE OF FINAL TREATMENT OF AERO-ENGINE BLADE SYLUS

В.Л. Афонин, д.т.н., зав. лаб.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

Из-за отсутствия стационарности геометрических параметров пера лопаток после выполнения предварительных операций, а также из-за высоких требований к геометрическим параметрам и качеству детали финишные операции выполняются, как правило, высококвалифицированными специалистами. Поэтому автоматизация финишных операций обработки пера лопаток требует создания технологических систем с элементами интеллектуального управления. Требуется создание таких систем управления, в которых для каждой лопатки назначается индивидуальный способ обработки, учитывающий колебания лопатки во время обработки, динамические свойства привода инструмента и манипуляторов перемещения обрабатываемого изделия и инструмента.

В докладе излагается структура технологических систем с элементами интеллектуального управления, излагаются результаты испытания встраиваемых оптических систем контроля геометрических параметров, качества поверхности обработки и вибраций при обработке. Приводится методика оперативной диагностики параметров всей технологической системы с целью выбора оптимального управления.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННО-ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

APPLICATION OF INTERFERENCE-OPTICAL METHODS TO STUDY OF THE NONLINEAR DYNAMIC PROCESSES

И.А. Разумовский, д.т.н., зав. лаб., **И.Н. Одинцев**, к.т.н.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (Москва)

В докладе содержится обзор современного состояния и перспектив развития экспериментальных методов, используемых для анализа нелинейных динамических процессов и виброповедения элементов машин: голографической и 'электронной цифровой спекл-интерферометрии (ЭЦСИ), цифровой голографии, метода корреляции цифровых изображений. Кратко изложены теоретические основы методов, выполнен анализ возможностей современного экспериментального оборудования, указаны особенности проведения экспериментальных исследований в лабораторных и натуральных условиях. Рассмотрены особенности практического применения компьютерных технологий, используемых для регистрации и обработки экспериментальной информации.

Приводятся примеры применения ряда методов для исследования волновых процессов, динамики систем, включая определение собственных частот, форм и декрементов колебаний в типовых элементах конструкций авиационной и энерготехники, диагностики технического состояния и процесса разрушения деталей машин. Изложены методические основы и результаты исследования виброхарактеристик элементов (пластин и трубных решёток), взаимодействующих с жидкими средами.

Научное издание

Международная научная конференция
«КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ В МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»

Материалы конференции
под ред. акад. **Р.Ф. Ганиева**

Оригинал-макет разработан ООО «Акцент-развите»
Корректурa ООО «Акцент-развите»
Дизайн ООО «Акцент-развите»

Подписано в печать 19.11.2012. Формат 148*210
Печать офсетная. Усл. печ. Л. 22, Уч.-изд. л. 44.
Тираж 150 экз. Заказ № 1591

Издательство «Институт компьютерных исследований»
<http://shop.rcd.rue-mail: mail@rcd.ru> тел./факс + 7 3412 500 295

Отпечатано в ООО «Акцент-развите»
в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета

