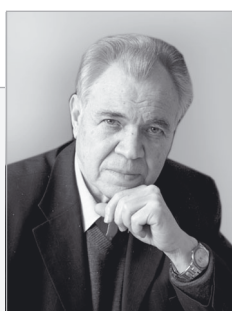


НЕЛИНЕЙНАЯ ВОЛНОВАЯ МЕХАНИКА – НАУЧНАЯ ОСНОВА ВОЛНОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. ВОЛНОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ И ЭФФЕКТЫ

Р. Ф. Ганиев



**ГАНИЕВ
Ривнер
Фазылович**

Академик Российской академии наук, профессор, доктор технических наук. Член Бюро Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН. Директор Института машиноведения им. А.А. Благоднарова РАН. Директор Научного центра нелинейной волновой механики и технологии РАН. Основные направления научной деятельности: нелинейная волновая механика и машиностроение, разработка теории резонансных явлений при нелинейных пространственных колебаниях твердых и деформируемых тел с приложениями к динамике машин. Им разработаны основы нового перспективного направления волновой технологии, высокоэффективной в различных отраслях промышленности. Выполнен ряд крупных фундаментальных и прикладных исследований в области динамики машин и аппаратов, в теории нелинейных колебаний, волновых и вибрационных процессов. Автор более 300 научных работ, в том числе 15 монографий, более чем 100 изобретений и патентов по теории колебаний многофазных систем, научным основам вибрационных и волновых технологических процессов. Главный редактор журнала «Машиностроение и инженерное образование».

Введение

Коллективом Научного центра нелинейной волновой механики РАН создана нелинейная волновая механика многофазных систем [1-6]. При этом установлены силы волновой природы (волновые силы), способные порождать такие мощные направленные относительные движения (или потоки) дисперсных фаз в многофазной системе, которые нереально получить традиционными способами. Параметры волновых потоков (скорости или соответствующие им перепады давлений) превосходят в несколько раз аналогичные параметры потоков, порождаемых традиционными способами. Некоторые конкретные примеры действия волновых сил и волновых механизмов движений с оценкой их величин показывают, что они в ряде случаев во много раз ($10-10^3$ раз) превосходят соответствующие силы и потоки, создаваемые традиционными методами. Волновые силы обуславливают волновые механизмы движений и стабилизаций, создающие самые различные формы движений и образований устойчивых структур в многофазной системе, радикальным образом меняющих ее динамическую картину и требующих формулирования базовых принципов нелинейной волновой механики – научной основы волновых технологий. Исходя из этих принципов был открыт целый ряд нелинейных волновых и колебательных явлений и эффектов, имеющих существенное прикладное значение.

© Р.Ф. Ганиев, 2009

Фундаментальные результаты в области нелинейной волновой механики

1. **Эффекты интенсивного волнового перемешивания и идеальной гомогенизации** (получение однородных тонкодисперсных структур, стабильных эмульсий и суспензий, равномерное распределение сухих и жидких малых добавок и т.п.), активации многофазных систем при существенно малых энергозатратах как в замкнутых объемах, так и в проточных системах (для маловязких, средневязких и высоковязких жидкостей и сухих смесей). Таким образом, может быть найдено, например, оптимальное движение бетономешалок, смешивающих устройств типа «пьяная бочка» и вообще любых смесителей, использующих пространственные движения, а также смесительные устройства с протекающей средой. Это дает возможность замены мешалок в различных реакторах на волновые смесители с целью существенной интенсификации процессов без застойных зон, а также для получения материалов и продуктов высокого качества, фактически недостижимых в традиционных установках. В результате существенно повышается производительность с одновременным уменьшением в 5–10 раз энергозатрат при полном отсутствии застойных зон. Получены критерии, позволяющие разрабатывать такого рода волновые машины, а в ряде случаев определить условия применимости традиционных устройств.

2. **Явления по волновой резонансной турбулизации и смешения многофазных сред** (смесь жидкостей, газов и твердых включений) с одновременным тонким диспергированием как твердой, так и газовой фазы в замкнутых объемах и проточных системах. В условиях нелинейных резонансных взаимодействий эти процессы протекают весьма быстро при малых энергозатратах с многократной (5–10 раз) интенсификацией процессов растворения газов. В частности, растворение кислорода (протекание окислительных процессов) происходит с энергозатратами в 10–30 раз меньше, чем в существующих установках. В настоящее время многие процессы химической технологии и нефтепереработки, протекающие при взаимодействии жидкой и газовой фаз, например, при получении высококачественного битума, в процессах очистки воды и промышленных выбросов (при очистке жидкостей барботажом воздуха, при озонировании и хлорировании, в процессах растворимо-

сти), несмотря на свою важность, не могут быть эффективно решены известными методами.

3. **Установлен ряд управляемых волновых режимов, сопровождающихся кавитационно-вихревыми процессами в проточных системах**, что позволяет получить высокоэффективное смешение, активацию и гомогенизацию с одновременным весьма тонким диспергированием многофазных систем от нескольких микрон до нанометров (жидких капель, твердых частиц, газовых пузырьков и т.п.) с их равномерным распределением в матрице. В ряде случаев происходит изменение физико-химических свойств обрабатываемых сред, например существенное уменьшение вязкости высоковязких жидкостей (от 2 до 10 раз) с изменением структуры обрабатываемых сред и других свойств.

4. **Эффекты волнового резонансного перемешивания, активации и создания оптимальных резонансных транспортных волновых режимов движений сыпучих сред** (сухих смесей, порошковых материалов).

5. **Явление по эффективному преобразованию энергии колебаний и волн в энергию мощных односторонне направленных течений жидких фаз в многофазных системах**, в том числе создание дополнительных потоков или увеличение скоростей существующих фильтрационных потоков в пористых средах (в $10-10^3$ раз) и дополнительных перепадов давлений порядка 30–100 атм/м в порах размером 1–10 мкм (в реальных условиях нефтяных пластов нагнетанием воды можно создавать перепады давления лишь ~0,3–0,4 атм/м).

Вышеупомянутые эффекты идеального смешения, гомогенизации и турбулизации, а также кавитационно-вихревые волновые процессы диспергирования и смешения, эффекты по созданию аномальных фильтрационных процессов (создание больших перепадов давлений или мощных потоков, на несколько порядков увеличение скоростей фильтраций) могут быть положены также в основу как получения нанокompозитов, так и заполнения нанопор.

Если рассматривать имеющиеся самые современные механические способы получения нанокompозитов, то, по-видимому, именно волновые способы могут оказаться наиболее эффективными.

6. **Явления по тонкому разделению многофазных систем на однородные составляющие** (например, нефти и масел от воды, газа, механи-

ческих примесей, различных жидкостей, газов и твердых частиц, и т.п.).

В основу этих явлений положены результаты, полученные в процессе разработки теории: волновые эффекты локализации (коагуляция дисперсных частиц, например, капель воды и механических примесей в масле, нефти и т.п.); волновые силы, увеличивающие гравитационные силы (только при правильном подборе параметров системы – формы сосуда, плотностей жидкости и разделяемых дисперсных капель, направления и характеристик вибраций и т.п.), а также эффекты волновой ламинаризации потоков. Все эти эффекты будут усиливать процессы разделения.

Следует отметить, что волновые силы могут как уменьшать, так и увеличивать гравитационные силы в зависимости от определенных критериев и различных параметров: параметров обрабатываемых сред, геометрии используемых устройств, характеристик вибраций и т.п. Таким образом, результаты, полученные в области нелинейной волновой механики, не только устанавливают условия реализации процессов для эффективного смешения или разделения, но и позволяют дать определенные критерии применимости ряда известных и традиционных подходов, например вибротехники, ультразвуковых методов и других процессов.

7. Эффекты по классификации сыпучих сред по размерам, основанные на резонансном взаимодействии колебаний сыпучих сред и деформируемых систем, позволяющие создавать классификаторы с меньшей забиваемостью рабочих частей и малыми энергозатратами.

8. Эффекты управляемой турбулизации и ламинаризации потоков. Новые принципы повышения бесшумности и эффективного гашения вибраций и гидроударов в конструкциях с жидкостью и газом, в том числе в трубопроводах. Установлены принципиальные возможности и критерии управляемой пассивной стабилизации и дестабилизации вязкой несжимаемой жидкости в пограничных слоях обтекаемых поверхностей и каналов с деформируемыми и перфорированными стенками. Показано, что при докритических числах Рейнольдса для течения Пуазейля в канале можно организовать турбулентное течение (подтверждено экспериментально). Эти результаты по стабилизации рекомендованы для повышения бесшумности конструкций с протекающей жидкостью

и в процессах сепарации смесей многофазных сред (на основе ламинаризации потоков), а эффект турбулизации – для интенсификации процессов перемешивания и тепломассообменных процессов.

9. В трубопроводах (с протекающей жидкостью) с податливыми покрытиями получены условия стабилизации (ламинаризации) и дестабилизации потоков, реализации автоколебательных режимов, обеспечивающих увеличение производительности трубопроводов.

Кроме того, эти результаты по стабилизации открывают принципиально новые возможности для снижения собственных шумов течений в трубопроводах и снижению их гидравлических сопротивлений, а также в процессах сепарации смесей в потоках, а эффект дестабилизации (турбулентности) – для интенсификации перемешивания и тепломассообменных процессов в энергетических объектах.

На основе результатов по стабилизации, уменьшению шума, вибраций и гидроударов предложены конструктивные варианты поверхностей, обтекаемых жидкостью и газом, различных стабилизаторов волновых процессов и гасителей вибраций, шума. Найдены способы борьбы с гидроударами, широкие экспериментальные исследования которых проходили как в лабораторных, так и в промышленных условиях применительно к разным отраслям техники: нефтяная промышленность, городское хозяйство, строительные сооружения и др.

Фундаментальные результаты в области волновой механохимии

Научные основы этой области знаний были заложены в Научном центре в последние годы. Так экспериментальным путем установлены следующие эффекты.

1. Уменьшение вязкости неньютоновских жидкостей, в частности, водоцементных растворов до 70%, повышение прочности цементного камня до 40–50%; многократное уменьшение вязкости сырья, в частности для получения цемента – в 12 раз.

2. Управляемое изменение физико-химических свойств воды, протекание тепломассообменных и каталитических процессов, скоростей химических реакций.

3. Активация различных сухих и жидких добавок при получении материалов (в частности, строительных материалов), в химической технологии и т.п.

Вышеупомянутые волновые явления и эффекты в области как нелинейной волновой механики, так и волновой механохимии не только подтверждены экспериментально, но и многие соответствующие им волновые процессы по обработке многофазных сред реализованы и изучены в волновых машинах и аппаратах, показаны их принципиальные возможности для применения в технологиях разных отраслей.

Фундаментальные результаты в области машиностроения

На основе полученных результатов в области нелинейной волновой механики разработаны научные основы волнового машиностроения, не имеющего аналогов в мировой практике, реализующего наукоемкие волновые технологии.

Волновые машины и аппараты составляют по существу волновое машиностроение – новое направление в машиностроении, охватывающее нефтедобывающую и нефтеперерабатывающую отрасли, нефтегазовую промышленность, химическую технологию, технологию производства строительных материалов, машиностроение, пищевую промышленность, экологичные технологии очистки воды и промышленных выбросов.

1. На базе специально созданной теории генерации нелинейных волн разработаны различные гидродинамические генераторы колебаний (без подвижных частей) (рис. 1) и резонансные комплексные электромеханические возбудители колебаний, суть которых заключается в сочетании электродинамического принципа возбуждения колебаний с механическим резонансом всей колебательной системы привода (самоуравновешенные, в ряде случаев безподшипниковые). Они и являются движителями при создании волновых машин и аппаратов. Эти движители позволяют разрабатывать различные типы волновых машин и аппаратов, применительно к различным отраслям техники, обладающие бесшумностью, высокой надежностью и малыми энергозатратами.

На основе математического моделирования и широкого круга экспериментальных исследований в лабораторных и промышленных условиях получены различные оптимальные режимы генераторов: волновые режимы, режимы разделения, мощные волновые режимы с кавитационно-вихревыми процессами для измельчения, тонкого диспергирования и идеального однородного смешения (пример спектра



Рис. 1. Различные типы гидродинамических генераторов без подвижных частей

пульсаций давления одного из генераторов колебаний показан на рис. 2). В ряде случаев они обладают широким диапазоном частот от десятков Гц до нескольких десятков кГц при довольно высоких амплитудах колебаний (25–30 атм даже при килогерцовых частотах порядка 5–7 кГц). Генераторы также могут быть комбинированными (сочетание нескольких конструктивных типов), в том числе работающими на разных средах, например, парогазовые. Они испытаны и широко внедрены в составе соответствующего оборудования в нефтегазовой промышленности и энергетике, в химической технологии, в производстве строительных материалов. Иногда возникает необходимость использования резонансных комплексных электромеханических генераторов. Возможны также и их комбинации

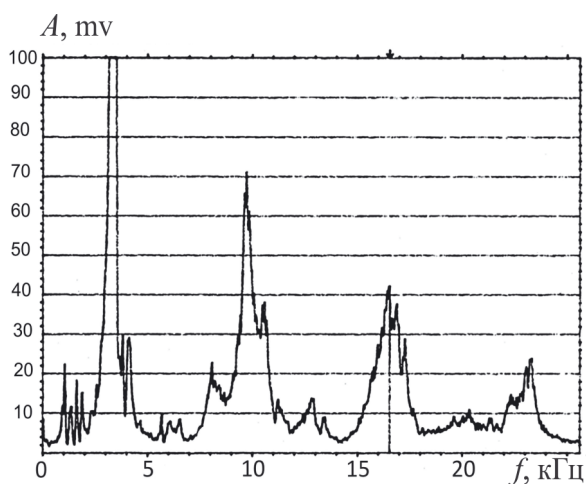


Рис. 2. Многочастотный спектр одного из генераторов колебаний (A – относительная амплитуда пульсаций давления на выходе из генератора колебаний в размерности, выдаваемой прибором, f – частота генерируемых колебаний)

с вышерассмотренными гидродинамическими генераторами колебаний и волн.

На основе математического моделирования определены не только режимы колебаний, но для некоторых случаев, например, в режимах смещения и гомогенизации получены оценки степени их максимального смещения (без застойных зон) с целью оптимизации процессов: показано, что волновое смещение многократно (в 5–20 раз) превосходит процессы смещения, выполненные другими методами, например, с помощью мешалок, вибротехнических средств, струйных аппаратов и др.

Направление разработки и использования генераторов волн имеет и важное самостоятельное значение, и в настоящее время достигнуто определенное совершенство как в теории, так и в конструктивных разработках различных вариантов и в их экспериментальных исследованиях не только в лабораторных условиях, но и в промышленности. В настоящее время они используются в ряде промышленных производств. Так, с помощью стенда, показанного на рис. 3, изучались гидродинамические процессы, протекающие в волновых генераторах, и их влияние на различные виды жидких составов.

2. На основе волновых технологий разработаны и испытаны различные виды типовых вол-

новых машин и аппаратов как лабораторных, так и промышленных образцов, создаваемых по модульному принципу.

Разработаны и испытаны специальные гидродинамические генераторы волн и волновые устройства для обработки призабойных зон нефтяных и нагнетательных скважин с целью повышения нефтегазоотдачи пластов, в том числе введением в резонанс целых пластов (диаметром порядка от 1-2 до 10-20 км). В настоящее время разработаны методы создания мощных волновых полей в скважинах.

Разработаны и испытаны аппараты для получения широкого спектра высококачественных уникальных материалов, в частности пенобетонов с многократным увеличением удельной прочности, по проточной технологии (рис. 4), различных сухих смесей, эмульсий, суспензий тонкой дисперсности и качественных однородных растворов высокой стабильности.

Созданы типовые аппараты для волновой активации различных материалов, в том числе сухих смесей и жидкостей (рис. 5).

Созданы волновые аппараты для интенсивного смещения и тонкого диспергирования газов и жидкостей от микрон до наноразмеров, которые имеют широкий спектр применений: получение нанокремнеземов, акриловых дисперсий,

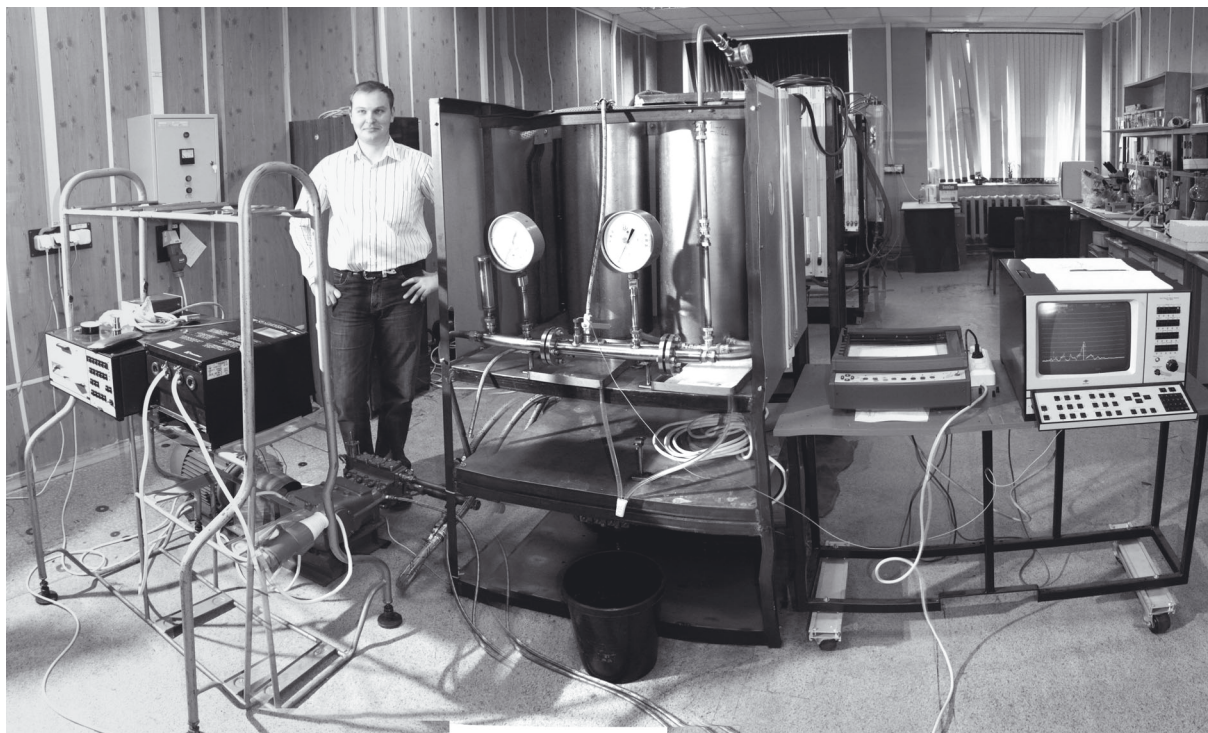


Рис. 3. Проточный гидродинамический стенд для исследования процессов, протекающих в волновых генераторах

производство красок и новых видов смешанных топлив, биологическая очистка сточных вод и обеззараживание водопроводной воды. Так, проводились исследования традиционной и волновой технологий аэрации воды, применяемой в очистных сооружениях. Сопоставить размеры газовых пузырьков, получаемых на пористом диске на основе порошка титана с диаметром пор 100 мкм и волновым диспергатором при одинаковых расходах газа, позволяют изображения на рис. 6.

Разработаны новые принципы волнового разделения различных смесей, на базе которых создается новый класс машин – разделителей.

Для промышленности разработаны и испытаны устройства для улучшения фильтрации

в пористых средах, в том числе в мембранных аппаратах, по очистке фильтров и т.п.

Также созданы и испытаны эффективные стабилизаторы и гасители колебаний, шума и гидроударов в конструкциях с жидкостью и трубопроводах (в нефтяной промышленности, жилищно-коммунальном хозяйстве (ЖКХ), энергетике и др.).

Предложены конструктивные принципы по ламинаризации и управлению турбулентностью в проточных системах, которые рекомендуются к использованию при создании объектов новой техники и технологических процессов.

3. Учебно-лабораторный и исследовательский комплекс занимает особое место. В нем представлены наиболее типовые лабораторные вол-

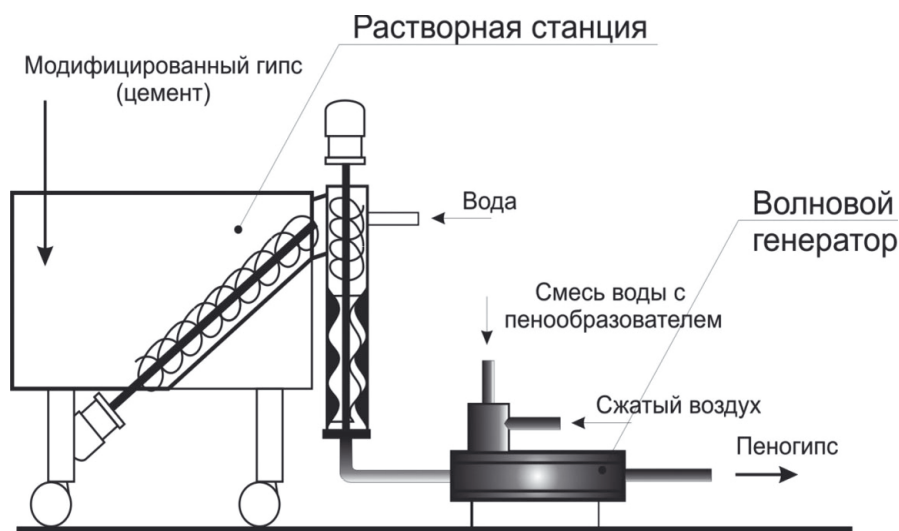


Рис. 4. Схема комплекса для производства пенобетона

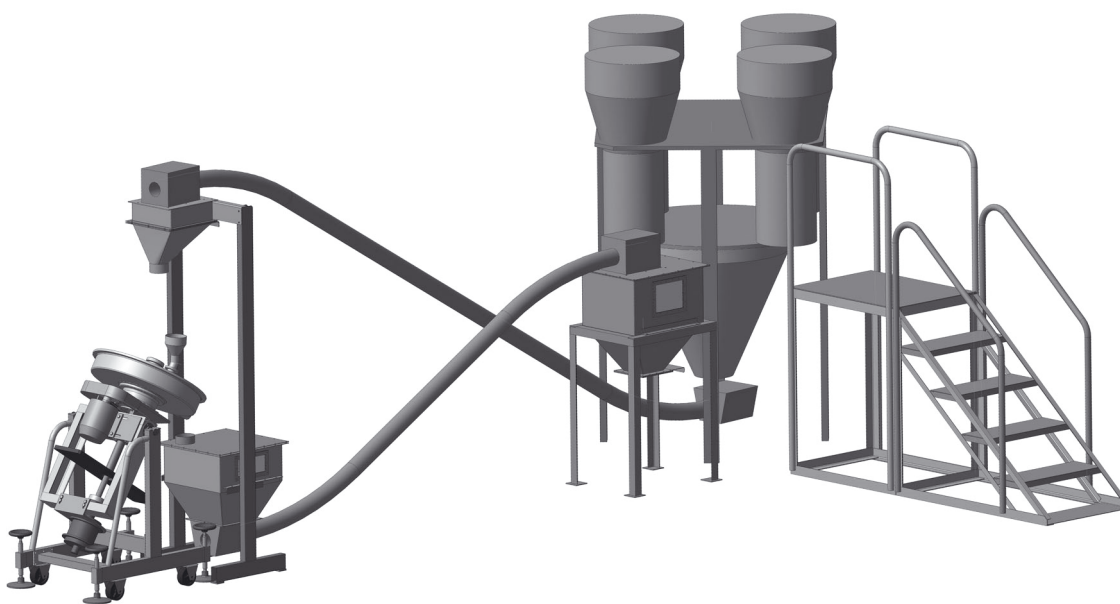


Рис. 5. Технологическая линия для приготовления сухих строительных смесей

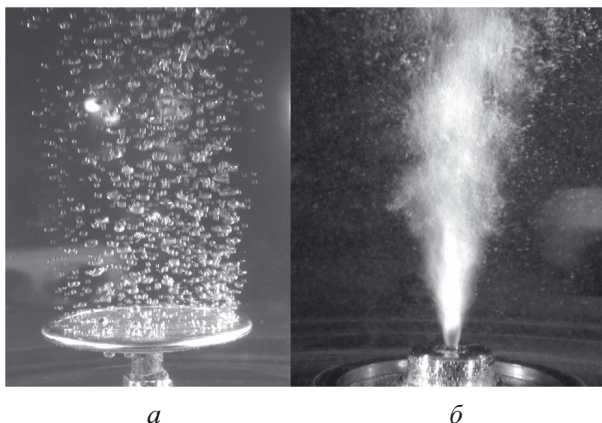


Рис. 6. Аэрация воды с помощью пористого диска на основе порошка титана (а) и с использованием волнового диспергатора (б)

новые образцы и стенды для изучения волновых процессов путем визуализации и использования современной измерительной аппаратуры. Со временем определенный комплекс лабораторного оборудования может быть рекомендован и для использования в программах обучения как физико-математических, так и технических дисциплин на кафедрах университетов, а также для переподготовки специалистов различных компаний. Разработаны волновые аппараты, позволяющие организовать различные интенсивные резонансные пространственные режимы по обработке многофазных систем и получить тонкодисперсные высокостабильные эмульсии, однородное смешение сухих смесей и др.

Прикладные результаты в области волновых машин и технологий

Полученные фундаментальные результаты в области волновой механики и машиностроения создали базу для разработки наукоемких технологий во многих отраслях техники: машиностроении, химической технологии, материаловедении, получении наноматериалов, производстве строительных материалов, экологических технологий в промышленности, нефтегазовой промышленности, агропромышленном комплексе, энергетике и др. Ряд из них разрабатывается и внедряется в практику.

1. **В области химической технологии, материаловедении, в том числе в получении наноматериалов, в производстве строительных материалов:** создание мини-заводов по производству нанокремнезема и высококачественных строительных материалов (рис. 7); создание машин и аппаратов для перемешивания, получения су-

спензий и дисперсий, красок, смазочных жидкостей для форм, активации, разделения смесей, классификации сыпучих сред, для получения высококачественных материалов и наноматериалов.

2. **В нефтегазовой промышленности:** повышение эффективности бурового оборудования, получение высококачественных тампонажных и буровых растворов, получение химических реагентов, повышение производительности нефтяных и газовых скважин и повышение нефтегазоотдачи пластов; в подготовке нефти и газа – отделение нефти от воды, механических примесей и газа.

Также получены оригинальные результаты для нефтепереработки и нефтехимии – ускорение тепломассообменных и каталитических процессов, химических реакций и т.д., повышение вибронадежности трубопроводных систем нефтегазового комплекса.

3. **В энергетике:** получение новых видов смешанных топлив (рис. 8) и их эффективное сжигание, предотвращение возникновения отложений.

4. **В технологиях очистки:** энергосберегающая технология насыщения газом жидкости при тонком диспергировании газа и многократном повышении растворимости в жидкости и их перемешивания с целью эффективной очистки жидкостей, эффективное использование отходов производства.

5. **В пищевой промышленности:** приготовление сухих диетических продуктов с содержанием различных микродобавок, равномерное распределение микродобавок, приготовление высокодисперсных устойчивых пищевых эмульсий для кондитерских и хлебобулочных производств, смазочных жидкостей для форм и т.п.

6. **В машиностроении:** создание машин и устройств для мойки и очистки поверхностей деталей машин и узлов, термической обработки деталей и повышения их прочности и ресурса,

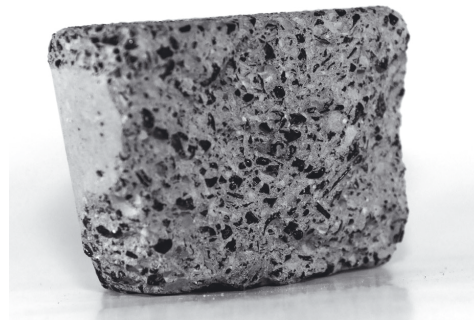


Рис. 7. Строительный материал с равномерным распределением промышленных отходов



Рис. 8. Тонкодисперсные (1–3 мкм) и стабильные водотопливные эмульсии (стабильность – месяцы и годы)

пропитки материалов, получения тонкодисперсных и стабильных смазочно-охлаждающих жидкостей, очистки масел от воды и механических примесей с целью повышения их качества в гидросистемах машин и др.

Одна из разработок машины, основанной на волновых принципах показана на рис. 9.

7. В области динамики конструкций, взаимодействующих с жидкостью и газом: разработка стабилизаторов волновых процессов; конструкций, обтекаемых жидкостью или газом; гасителей вибраций и шума, гидроударов в конструкциях с жидкостью, в том числе в трубопроводных системах, а также в нефтегазовом комплексе, машиностроении, ЖКХ, строительных сооружениях с целью снижения шума и гашения вибраций (повышения бесшумности и вибронадежности).

В данной статье приведены лишь основные направления использования волновых технологий. Возможное приложение волновых технологий гораздо шире и постоянно захватывает новые сферы.

Список литературы:

1. Ганиев Р.Ф., Украинский Л.Е. Нелинейная волновая механика и технологии. – М.: изд-во: НИЦ «РХД», 2008. – 192 с.

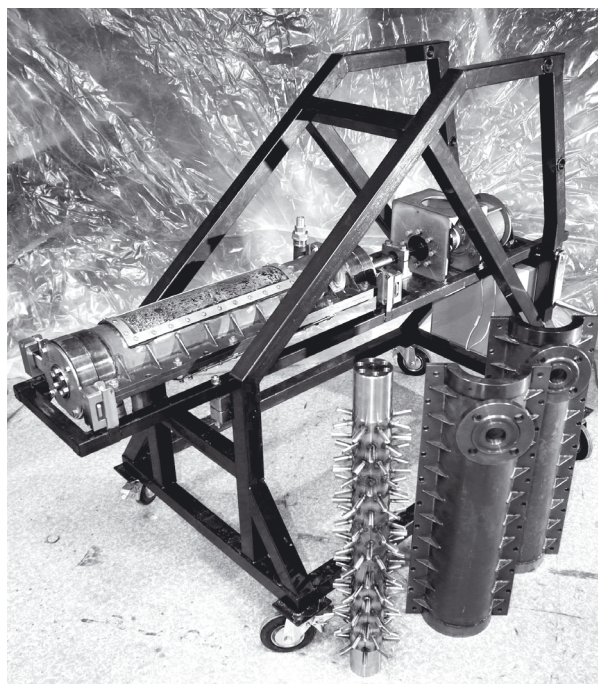


Рис. 9. Универсальный проточный смеситель-активатор жидких составов

2. Ганиев Р.Ф. Волновые машины и технологии. – М.: Регулярная и хаотическая динамика, 2008. – 712 с.
3. Ганиев Р.Ф., Украинский Л.Е. Динамика частиц при воздействии вибраций. – Киев: Наукова думка, 1975. – 169 с.
4. Колебательные явления в многофазных средах и их использование в технологии / Под ред. Р.Ф. Ганиева. – Киев: Техника, 1980. – 142 с.
5. Ганиев Р.Ф., Украинский Л.Е., Андреев В.Е., Котенев Ю.А. Проблемы и перспективы волновой технологии многофазных систем в нефтяной и газовой промышленности / Под ред. Р.Ф. Ганиева. – С-Пб.: ООО «Недра», 2008. – 212 с.
6. Ганиев Р.Ф., Лапчинский Г.Ф. Проблемы механики в космической технологии. – М.: Машиностроение, 1979. – 119 с.