

УДК 537.53

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ФОКУСАТОРОВ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН

© 2016 С.Р. Абульханов^{1,3}, Д.С. Горяинов², А.Г. Налимов^{1,3}

¹ Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

² Самарский государственный технический университет

³ Институт систем обработки изображений РАН – филиал Федерального научно-исследовательского центра «Кристаллография и фотоника» РАН, г. Самара

Статья поступила в редакцию 25.04.2016

В статье предложены и исследованы конструкции устройств, использующие фокусаторы акустических волн. Моделирование технологических процессов в программной среде ANSYS показало работоспособность и эффективность применения дифракционных акустических элементов для перемешивания частиц различных плотностей и для демпфирования высокочастотных вибраций. Предложенные конструкторские и технологические решения целесообразно использовать для перемешивания химически активных веществ различных фракций и демпфирования воздействия высокочастотных вибраций на точные измерительные приборы.

Ключевые слова: фокусаторы акустических волн, дифракционные акустические элементы, численное моделирование, системы перемешивания, системы демпфирования высокочастотных вибраций.

ВВЕДЕНИЕ

Акустические технологии широко используются в различных отраслях науки и техники. Например, при проведении изыскательских геологических работ используется акустический каротаж [1, 2].

В статье предлагается использовать задел, созданный в Институте систем обработки изображений РАН (ИСОИ РАН) [3] в области фокусировки лазерного излучения [4–6], для использования фокусаторов акустических волн.

Конструкторские и технологические наработки показали эффективность и работоспособность фокусаторов лазерного излучения при маркировке, термической обработке, резке, контроле параметров различной природы и т.д. [5–9]. За последние 35 лет исследований в области создания фокусаторов лазерного излучения разработаны асимптотические [10–11], итерационные [12–13] и численные [14–15] методы расчета, соответствующее программное обеспечение для проектирования [16–17] и моделирования [18–19], полимерные [20], плазмохимические [21–23] и механические [24] методы изготовления, а также приборная база и методики экспериментального исследования [25–29] фокусаторов.

В работе [30] была отмечена возможность применения дифракционных акустических эле-

ментов (ДАУ) для перемешивания компонент различных размеров и для демпфирования высокочастотных вибраций. Однако в работе [30] не были представлены данные, подтверждающие работоспособность предлагаемых конструкций.

Целью статьи является численное моделирование работы предложенных конструкций для подтверждения работоспособности и определения режимов эксплуатации вибросмесителя и демпфера.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задача перемешивания частиц различных фракций встречается во многих отраслях экономики: порошковая металлургия [31], барботирование и перемешивание твердых частиц в реакторах тонких химических производств [32], производство строительных материалов [33], сельское хозяйство [34] и др. Отличительной чертой процесса перемешивания является его высокая энергоёмкость и необходимость использования дорогого оборудования. По этим причинам для многих технических задач существующие технологии перемешивания являются неприемлемыми, например, для малых сельскохозяйственных хозяйств. Вместе с этим появляются новые технологические задачи, которые требуют новых решений. Перемешивание мелкодисперсных веществ, включая наночастицы, сталкивается с проблемой «слипания» частиц. В настоящее время не существует технологии эффективного перемешивания микрочастиц за экономически приемлемое время.

Демпфирование высокочастотных вибраций – проблема актуальная в точном машиностроении и приборостроении. В настоящее время

Абульханов Станислав Рафаелевич, кандидат технических наук, доцент. E-mail: abulhanov58@mail.ru

Горяинов Дмитрий Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения». E-mail: tms@samgtu.ru

Налимов Антон Геннадьевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Техническая кибернетика», научный сотрудник ИСОИ РАН. E-mail: antonsmr@mail.ru

наиболее эффективными считаются активные системы демпфирования [35–36]. Большое количество компонент таких систем делает их недостаточно надёжными. Разработка недорогой и надёжной конструкции демпфера, способного рассеивать энергию высокочастотных гармоник вибраций, окажется полезной для многих предприятий машиностроения, приборостроения, тонких химических производств и др.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

Определение возможности придания импульса движения частицам внутри резервуара через вибрации его основания осуществлялось средствами программной среды ANSYS Workbench. В качестве резервуара рассматривался осесимметричный резервуар в виде цилиндра. Внутренний диаметр основания резервуара составлял 90 мм, толщина стенок – 2,2 мм. Высота резервуара составляет – 100 мм. В качестве материала стенки резервуара был выбран чугун (ГОСТ 1412-85: Чугун с пластинчатым графитом), который обладает высоким коэффициентом поглощения колебаний и приемлемой ценой. В программной среде ANSYS в библиотеке материалов и сплавов отсутствуют стали и сплавы отечественного производства, поэтому для расчетов был выбран зарубежный аналог чугуна GG-30 (DIN 1691).

При перемешивании частиц полагалось, что частицы имеют форму сферы одного внешнего радиуса ($R_{\text{сф}} = 8,25$ мм). При этом плотность и упругие характеристики могут быть двух типов. Для цельных сфер плотность соответствовала насыпной плотности гранулированного поликарбоната (700 кг/м^3), и упругие характеристики соответствовали монолитному поликарбонату (модуль упругости на сжатие $E = 2400$ МПа, коэффициент Пуассона – 0,39). Выбор значений плотности и упругих характеристик сфер был обусловлен совпадением указанных параметров с плотностью и с упругими характеристиками гранулированных комбикормов (ГОСТ Р 51899-2002 Комбикорма гранулированные). Предполагается использовать вибросмеситель для сельскохозяйственных нужд.

В процессе перемешивания участвовали не только цельные сферы, но и полые. Материал полых сфер соответствовал выбранным характеристикам поликарбоната. Вместе с этим жесткость (способность сопротивляться деформациям) полых сфер отличается от жесткости цельных сфер. Участие в моделировании процесса перемешивания сфер с различной жесткостью приближает численную модель к реальному процессу перемешивания. Толщина стенок полых сфер составляла 3,25 мм.

При моделировании процесса демпфирования использовались только цельные сферы из титана (физико-технические свойства титана соответствовали набору свойств из базы данных

материалов ANSYS). Размеры корпуса демпфера и его физико-технические характеристики соответствовали параметрам резервуара вибросмесителя.

В качестве источника вибраций на реальной конструкции вибросмесителя предполагалось использовать вибратор, обеспечивающий амплитуду 1 мм. Частота колебаний составляла 100 Гц. Симуляция колебания осуществлялась разбиением dna резервуара на сегменты, которые двигались независимо друг от друга по синусоидальному закону.

Моделировался процесс перемешивания, проводимый в течение 1,5 сек. Необходимое для этого машинное время составляло 24 часа.

ВИБРОСМЕСИТЕЛЬ

Для демонстрации преимуществ использования дифракционных акустических элементов рассмотрим конструкцию вибросмесителя [37–38].

На рис. 1 показана конструкция с вибросмесителем, предназначенная для сельскохозяйственных целей. В этом случае перемешиваются компоненты пяти различных размеров (фракций) и жесткости.

Процесс перемешивания компонент 5 происходит в результате колебаний вибратора 2, генерирующего колебания акустического спектра. Колебания через диффузор 3 передаются на рабочую поверхность ДАУ 4. Вибрационно-активная поверхность дифракционного акустического элемента 4 концентрирует отдельными своими участками в виде колец Френеля акустические волны в кольца на конической поверхности. Частицы смешиваемых компонент 5, находящиеся на конической поверхности, приобретают некоторую кинетическую энергию. В результате этого на конической поверхности формируется «сжиженный» слой частиц компонент 5. При определенном соотношении размеров частиц смешиваемых компонент 5 и расстояниях между соседними кольцами на конической поверхности частицы компонент 5 скатываются по конической поверхности вниз, а их место при этом занимают частицы из верхних слоев смешиваемых компонент 5. Для проверки эффективности работы вибросмесителя была испытана в программной среде ANSYS модель резервуара, заполненного сферами. На дно резервуара был нанесён микро-рельеф ДАУ.

На рис. 2 показана динамика перемешивания сфер различной жесткости в течение 1,5 сек. На рис. 2а представлена ситуация через $t = 0,4$ сек после начала перемешивания. На рис. 2з представлена ситуация через $t = 1,5$ сек после начала перемешивания. На рис. 2б–2ф представлены промежуточные ситуации с интервалом в 0,25 сек.

Динамика изменения пространственного положения сфер свидетельствует об эффектив-

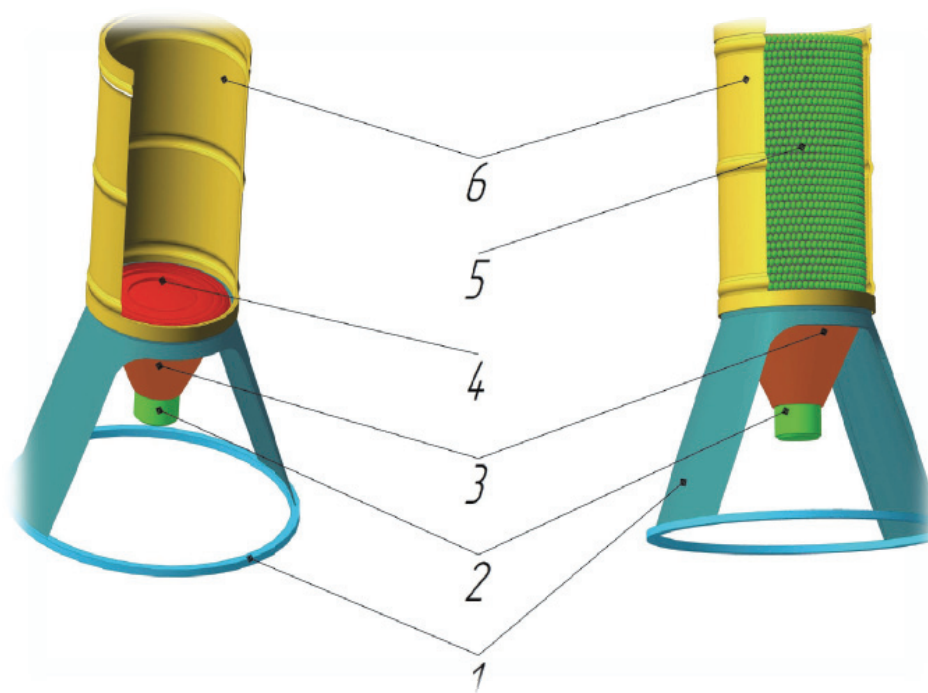


Рис. 1. Вибросмеситель (сельскохозяйственное исполнение):
1 – стойка; 2 – вибратор; 3 – диффузор; 4 – дифракционный акустический элемент;
5 – смешиваемые компоненты; 6 – резервуар

ном перемешивании. Модельные испытания показали, что эффективное перемешивание осуществляется при определенном соотношении размеров сфер (частиц 5) и длин волн продольных акустических излучений. Чем ближе длина волны колебаний к диаметру частиц 5, тем меньше время необходимо для перемешивания.

Очевидно, что для того чтобы тяжелая сфера 5 была способна опуститься на дно 4 резервуара 6 и, получив там импульс движения, была способна растолкать, как минимум две лёгких сферы сверху, длина волны акустического излучения должна быть близкой по величине к диаметру сферы. Также следует отметить, что диаметр сферы 5 не должен быть кратен диаметру резервуара 6, иначе может произойти заклинивание сфер на одной горизонтали. Это может привести к снижению эффективности процесса перемешивания. Несимметричный характер сечения горизонтальной плоскостью резервуара 6 снимает проблему заклинивания перемешиваемых сфер 5.

Следует отметить: перемешивание порошков наноразмеров возможно при реально достижимых длинах волн акустических волн. Использование акустических дифракционных элементов позволяет перемешивать частицы различных фракций в герметических резервуарах. Это условие актуально при работе с химически активными веществами.

Конструкция вибросмесителя защищена патентами [37-38]. Особенностью конструкции являются низкие энергетические затраты, технологичность, надёжность.

ДЕМПФЕР ВЫСОКИХ ЧАСТОТ

При проведении высокоточных работ сложно изолировать высокочастотные нерегулярные вибрации. Импульсные вибрационные нагрузки в станкостроении и приборостроении возникают, например, при случайном падении инструмента, в системах наведения это могут быть вибрации геологического характера или работающего оборудования.

Для снижения воздействия нерегулярных импульсов на работу высокоточных систем предложен демпфер высоких частот [39]. В разработанной конструкции демпфирование высокочастотных колебаний достигается за счёт диссипации энергии вибраций (рис. 3). Для этого в демпфере высоких частот колебания передаются от основания 1 на дифракционный акустический элемент 6 с микрорельефом, фокусирующим энергию вибраций на сферы 5. Фокус ДАЭ 6 должен находиться за границами крышки 3 демпфера. В результате воздействия вибраций на основание 1 демпфера сферы 5 начинают хаотично взаимодействовать друг с другом, происходит рассеивание энергии импульсных колебаний. При численном моделировании процесса демпфирования сферы 5 занимали не более половины объема вкладыша 2 (рис. 4). Конструкция демпфера высоких частот защищена патентом [39].

На рис. 4 показана динамика перемешивания титановых сфер 5 с помощью акустических колебаний основания 1 демпфера в течение 1,5 сек. На рис. 4а представлена ситуация через $t = 0,4$

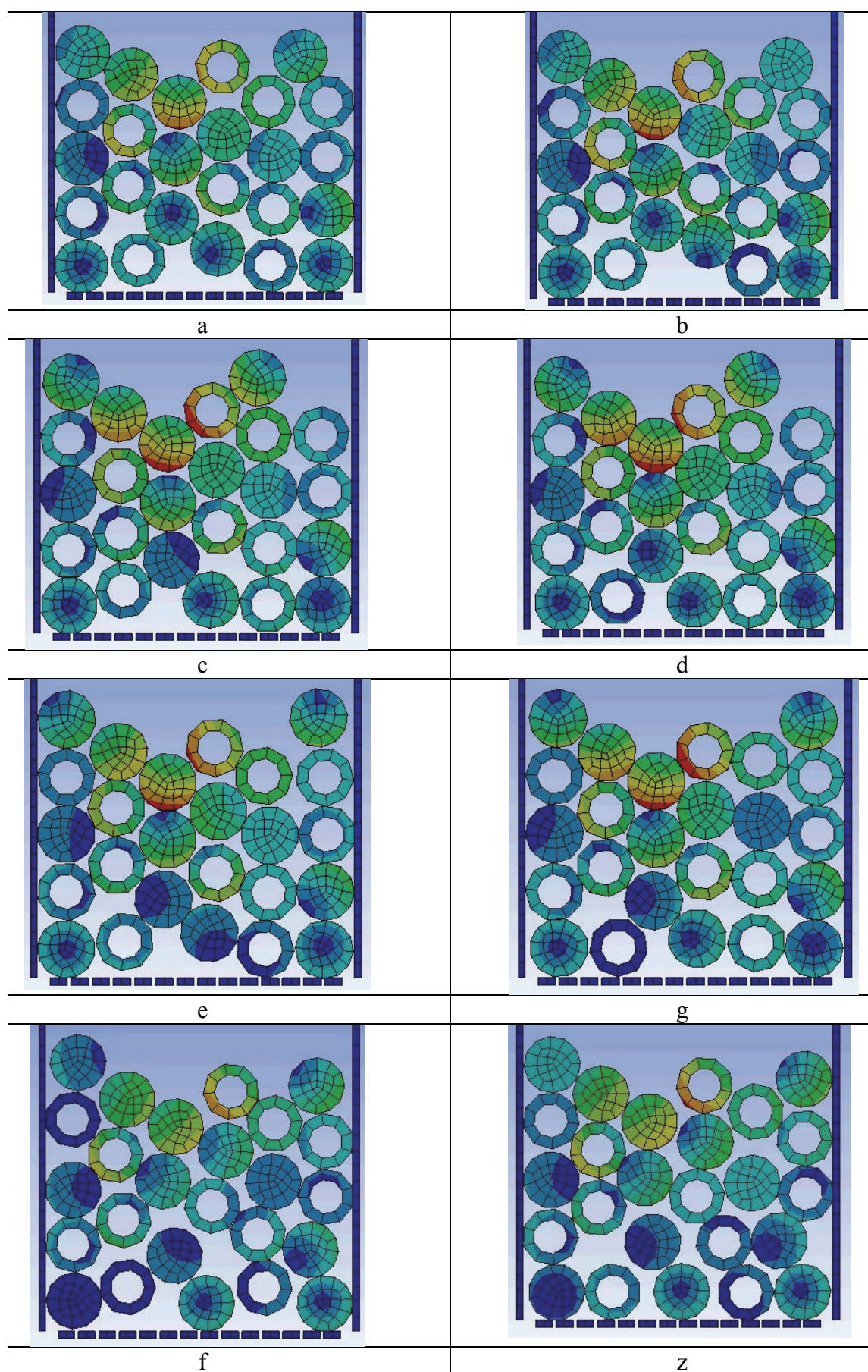


Рис. 2. Динамика перемешивания сфер одного радиуса, но разной плотности и разных упругих характеристик (начальное время $t = 0,4$ сек, временной интервал фиксации положения сфер в резервуаре – $0,25$ сек)

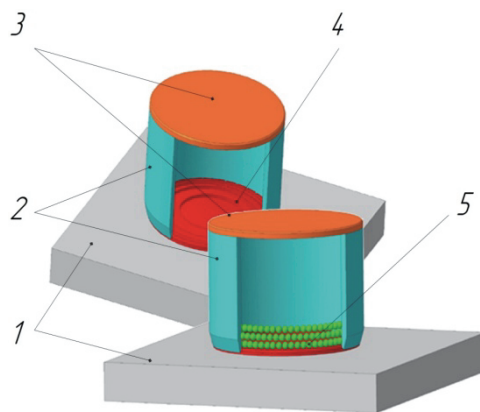


Рис. 3. Конструкция демпфера высоких частот:
1 – основание, 2 – цилиндрический вкладыш демпфера, 3 – крышка,
4 – акустический дифракционный элемент, 5 – сферы

сек после начала перемешивания. На рис. 4з представлена ситуация через $t = 1,5$ сек после начала перемешивания. На рис. 4б-4ф представлены промежуточные ситуации с интервалом в 0,25 сек.

Из рисунка 4 видно, что диссипация акустической энергии основания 1 (рисунок 3) через движение сфер 5 происходит достаточно эффективно. Чем больший вес имеют сферы 5, тем инертнее демпфер реагирует на вибрации, т.е. чем большая длина волны вибраций, тем больший вес должен быть у сфер 5 демпфера.

Численные испытания показали, что чем меньше вес сфер, тем динамичнее работа демпфера (меньше время начала движения сфер). Изменяя вес сфер 5, можно настраивать демпфер на фильтрацию вибраций определенной частоты.

Возможность наполнения цилиндрического вкладыша 2 сферами 5 различных форм, размеров и плотности, а также изменение количественного соотношения различных фракций таких демпфирующих элементов (сфер 5) позволит селективно демпфировать импульсные вибрации. В этом случае открываются новые технологические возможности, например, для эмульгации жидкостей и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье предложены конструкции вибросмесителя и демпфера высоких частот, предложена методика в программной среде ANSYS определения параметров рациональных конструкторских решений при проектировании вибросмесителя и демпфера высоких частот.

Конструкции, подобные вибросмесителю, могут быть использованы для эмульгации жидкости.

Моделирование в программной среде ANSYS процессов перемешивания частиц различных плотностей показало эффективность использования дифракционного акустического элемента. Применение ДАУ для демпфирования высокочастотных колебаний обнаружило приемлемую для

точного приборостроения способность демпфирования отдельных гармоник спектра вибраций.

Представляется перспективным использование задела, созданного в ИСОИ РАН в области оптического приборостроения [40–43] и дифракционной нанофотоники [44–47], для проектирования дифракционных акустических элементов с заданными свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казанский Н.Л., Серафимович П.Г., Харитонов С.И. Итеративный алгоритм расчета скорости и затухания трубных волн по данным акустического каротажа // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2001. Том 3, № 1. С. 99–103.
2. Казанский Н.Л., Серафимович П.Г., Харитонов С.И. Адаптивный итеративный алгоритм для выделения различных типов волн в данных акустического каротажа // Компьютерная оптика. 2001. № 22. С. 41–46.
3. Соколов В.О. Юбилей Института систем обработки изображений РАН // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Том 15. № 6-1. С. 7–17.
4. Голуб М.А., Карпеев С.В., Прохоров А.М., Сисакян И.Н., Сойфер В.А. Фокусировка когерентного излучения в заданную область пространства с помощью синтезированных на ЭВМ голограмм // Письма в ЖТФ. 1981. Том 7, № 10. С. 618–623.
5. Абульханов С.Р. Технологии фокусаторов лазерного излучения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Том 16, № 4–1. С. 287–294.
6. Абульханов С.Р. Технологические применения фокусаторов лазерного излучения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Том 16, № 6–1. С. 316–324.
7. Казанский Н.Л., Мурзин С.П., Трегуб В.И., Меженин А.В. Применение фокусаторов излучения при формировании нанопористых структур твердокристаллических материалов // Компьютерная оптика. 2007. Том 31, № 2. С. 48–51.
8. Казанский Н.Л., Мурзин С.П., Меженин А.В., Осетров Е.Л. Формирование лазерного излучения для создания наноразмерных пористых структур материалов // Компьютерная оптика. 2008. Том 32, № 3. С. 246–248.

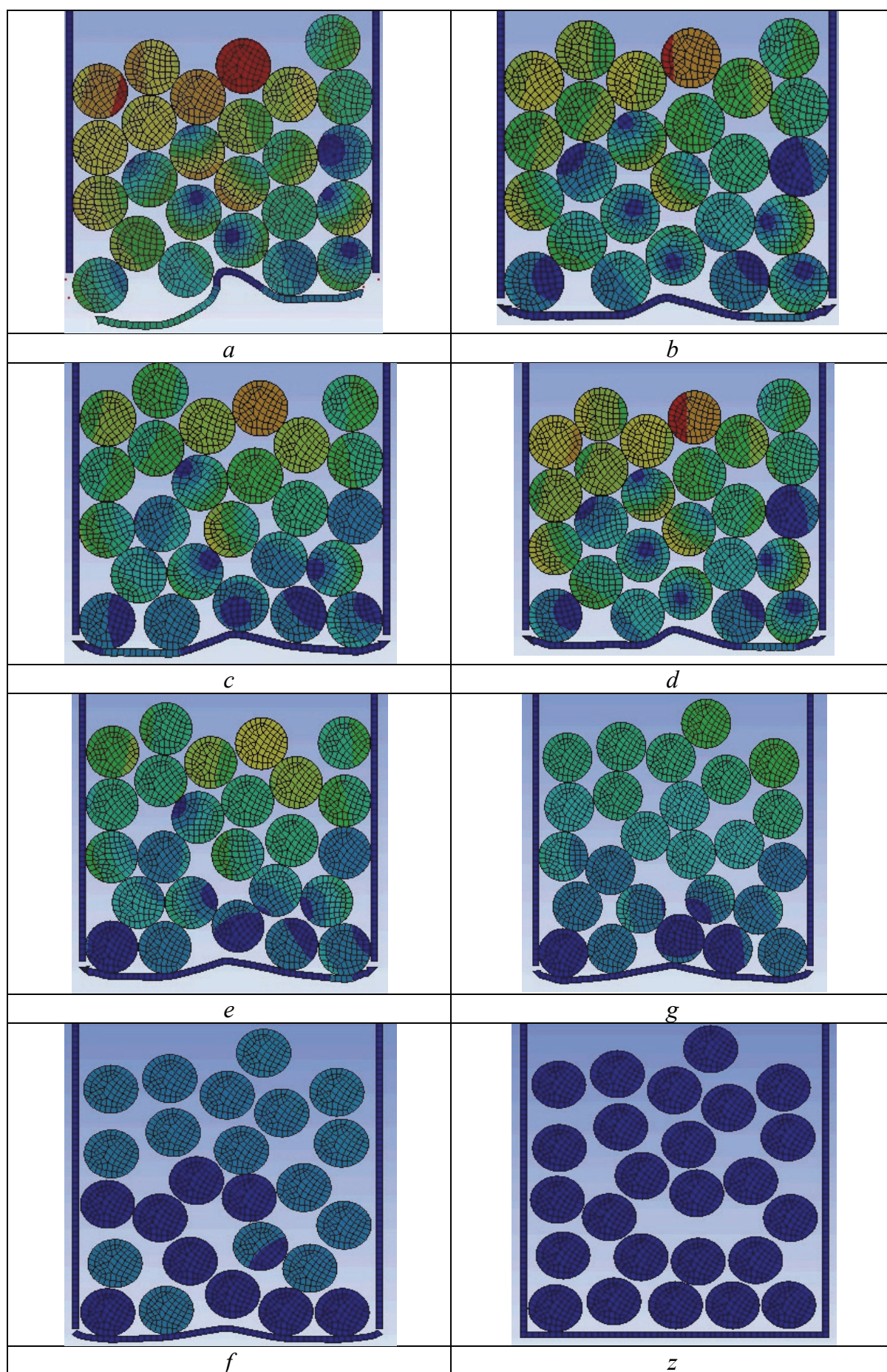


Рис. 4. Динамика перемешивания сфер одного радиуса, плотности и упругих характеристик (начальное время $t = 0,4$ сек, временной интервал фиксации положения сфер в резервуаре – $0,25$ сек)

9. Казанский Н.Л., Мурзин С.П., Трегуб В.И. Оптическая система для проведения селективной лазерной сублимации компонентов металлических сплавов // Компьютерная оптика. 2010. Т. 34. № 4. С. 481–486.
10. Голуб М.А., Казанский Н.Л., Сисакян И.Н., Сойфер В.А., Харитонов С.И. Дифракционный расчет оптического элемента, фокусирующего в кольцо // Автометрия. 1987. № 6. С. 8–15.
11. Kazanskiy N.L., Kharitonov S.I., Soifer V.A. Application of a pseudogeometrical optical approach for calculation of the field formed by a focusator // Optics & Laser Technology. 1996. Vol. 28, № 4. P. 297–300.
12. Казанский Н.Л. Процедура корректировки фазовой функции фокусатора по результатам вычислительного эксперимента // Компьютерная оптика. 1987. № 1. С. 90–96.
13. Kazanskiy N.L., Soifer V.A. Diffraction investigation of geometric-optical focusators into segment // Optik – International Journal for Light and Electron Optics. 1994. Vol. 96, № 4. P. 158–162.
14. Голуб М.А., Казанский Н.Л., Сисакян И.Н., Сойфер В.А. Формирование эталонных волновых фронтов элементами компьютерной оптики // Компьютерная оптика. 1990. № 7. С. 3–26.
15. Doskolovich L.L., Kazanskiy N.L., Soifer V.A., Perlo P., Repetto P. Design of DOEs for wavelength division and focusing // Journal of Modern Optics. 2005. Vol. 52, № 6. P. 917–926.
16. Doskolovich L.L., Golub M.A., Kazanskiy N.L., Khramov A.G., Pavelyev V.S., Seraphimovich P.G., Soifer V.A., Volotovskiy S.G. Software on diffractive optics and computer generated holograms // Proceedings of SPIE. 1995. Vol. 2363. P. 278–284.
17. Golovashkin D.L., Kasanskiy N.L. Solving Diffractive Optics Problem using Graphics Processing Units // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). 2011. Vol. 20, № 2. P. 85–89.
18. Голуб М.А., Казанский Н.Л., Сисакян И.Н., Сойфер В.А. Вычислительный эксперимент с элементами плоской оптики // Автометрия. 1988. № 1. С. 70–82.
19. Казанский Н.Л. Исследование дифракционных характеристик фокусатора в кольцо методом вычислительного эксперимента // Компьютерная оптика. 1992. № 10–11. С. 128–144.
20. Волков А.В., Казанский Н.Л., Сойфер В.А., Соловьев В.С. Технология изготовления непрерывного микрорельефа дифракционных оптических элементов // Компьютерная оптика. 1997. № 17. С. 91–93.
21. Волков А.В., Казанский Н.Л., Рыбаков О.Е. Исследование технологии плазменного травления для получения многоуровневых дифракционных оптических элементов // Компьютерная оптика. 1998. № 18. С. 127–130.
22. Волков А.В., Казанский Н.Л., Рыбаков О.Е. Разработка технологии получения дифракционного оптического элемента с субмикронными размерами рельефа в кремниевой пластине // Компьютерная оптика. 1998. № 18. С. 130–133.
23. Казанский Н.Л., Колпаков В.А. Формирование оптического микрорельефа во внеэлектродной плазме газового разряда. М.: Радио и связь. 2009. 220 с.
24. Абульханов С.Р., Казанский Н.Л., Досколович Л.Л., Казакова О.Ю. Методы изготовления элементов дифракционной оптики резанием на станках с ЧПУ // СТИН. 2011. № 9. С. 22–27.
25. Волков А.В., Казанский Н.Л., Успенев Г.В. Изготовление и экспериментальное исследование фокусаторов в кольцо и в две точки // Компьютерная оптика. 1999. № 19. С. 132–136.
26. Волков А.В., Досколович Л.Л., Казанский Н.Л., Успенев Г.В., Занелли А. Создание и исследование бинарных фокусаторов для мощного ND-YAG лазера // Компьютерная оптика. 2000. № 20. С. 84–89.
27. Kazanskiy N., Skidanov R. Binary beam splitter // Applied Optics. 2012. Vol. 51, № 14. P. 2672–2677.
28. Казанский Н.Л. Исследовательско-технологический центр дифракционной оптики // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 4–1. С. 54–62.
29. Kazanskiy N.L. Research & Education Center of Diffractive Optics // Proceedings of SPIE. 2012. Vol. 8410. 84100R. DOI: 10.1117/12.923233.
30. Абульханов С.Р. Технологические применения акустических фокусаторов // Сборник трудов Международной конференции «Информационные технологии и нанотехнологии», Самара: СНЦ РАН. 2015. С. 463–467.
31. Игнатьев И.Э., Концевой Ю.В., Игнатьева Е.В., Пастухов Э.А. Перемешивание в расплаве твердых нерастворимых в расплаве твердых нерастворимых частей, при получении композиционных сплавов // Сборник трудов конференции «Строение и свойства металлических и шлаковых расплавов», Екатеринбург, 22–26 сентября 2008. С. 108–109.
32. Саломатников М.С. Разработка устройства плакирования порошков стеклянных микросфер в условиях комбинированного перемешивания частиц // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. № 11. С. 146–152.
33. Косачев А.Ф., Кузнецов И.Н., Данилов С.В., Гутарева Н.А. Технология и производство ячеистых бетонов на основе отходов кварца // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2013. № 3(13). С. 82–86.
34. Чернецкая Н.А., Кулагина Н.А., Кантор С.А., Шапошников Ю.А. Динамика взаимодействия частицы туков и лопасти в процессе перемешивания // Сибирский вестник сельскохозяйственных наук. 2012. № 2. С. 66–71.
35. Khamitov R.N., Aver'yanov G.S., Korchagin A.B. Pneumatic shock absorber with an active damping system / R.N. Khamitov, // Russian Engineering Research. 2009. Vol. 29. № 9. P. 871–873.
36. Фам А.Т., Нгуен Т.З., Као В.Л. Обзор определения коэффициента газового демпфирования в микро-электро-механических системах // Новый университет. Серия: Технические науки. 2015. № 9–10 (43–44). С. 62–66.
37. Сойфер В.А., Казанский Н.Л., Абульханов С.Р. Миксер // Патент РФ на изобретение № 2319432 от 10.05.2006.
38. Сойфер В.А., Казанский Н.Л., Стрелков Ю.С., Дмитриев А.Ю., Досколович Л.Л., Харитонов С.И. Вибросмеситель // Патент РФ на изобретение № 2422195 от 21.12.2009.
39. Абульханов С.Р., Казанский Н.Л., Сойфер В.А. Демпфер высоких частот // Патент РФ на изобретение № 2462630 от 24.12.2010.
40. Karpeev S.V., Pavelyev V.S., Khonina S.N., Kazanskiy N.L., Gavrilov A.V., Erolov V.A. Fibre sensors based on transverse mode selection // Journal of Modern Optics. 2007. Vol. 54, № 6. P. 833–844.

41. Kazanskiy N.L., Popov S.B. Machine Vision System for Singularity Detection in Monitoring the Long Process // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). 2010. Vol. 19, № 1. P. 23–30.
42. Казанский Н.Л., Харитонов С.И., Хонина С.Н., Волоотовский С.Г., Стрелков Ю.С. Моделирование гиперспектрометра на спектральных фильтрах с линейно-изменяющимися параметрами // Компьютерная оптика. 2014. Т. 38. № 2. С. 256–270.
43. Казанский Н.Л., Хонина С.Н., Скиданов Р.В., Морозов А.А., Харитонов С.И., Волоотовский С.Г. Формирование изображений дифракционной многоуровневой линзой // Компьютерная оптика. 2014. Т. 38. № 3. С. 425–434.
44. Bezus E.A., Doskolovich L.L., Kazanskiy N.L. Scattering suppression in plasmonic optics using a simple two-layer dielectric structure // Applied Physics Letters. 2011. Vol. 98, № 22. 221108.
45. Kazanskiy N.L., Serafimovich P.G., Khonina S.N. Use of photonic crystal cavities for temporal differentiation of optical signals // Optics Letters. 2013. Vol. 38, № 7. P. 1149–1151.
46. Kazanskiy N.L., Serafimovich P.G. Coupled-resonator optical waveguides for temporal integration of optical signals // Optics Express. 2014. Vol. 22, № 11. P. 14004–14013.
47. Со́йфер В.А. Дифракционная нанофотоника и перспективные информационные технологии // Вестник Российской академии наук. 2014. Т. 84. № 1. С. 11–24.

INNOVATIVE APPLICATIONS OF ACOUSTIC WAVES FOCUSATORS

© 2016 S.R. Abulkhanov^{1,3}, D.S. Goryainov², A.G. Nalimov^{1,3}

¹ Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

² Samara State Technical University

³ Image Processing Systems Institute – Branch of the Federal Research Center «Crystallography and Photonics», RAS, Samara

We have proposed and investigated the design of devices that use acoustic waves focusators. Modeling processes by use of the ANSYS software demonstrated efficiency of diffractive acoustic elements for mixing particles of different densities and to damp high-frequency vibrations. The proposed design and technological solutions should be used for mixing reactive substances of various fractions and damping effects of high-frequency vibrations on precise measuring instruments.

Keywords: focusators of acoustic waves, acoustic diffractive elements, numerical modeling, mixing system, damping system of high-frequency vibrations.

Stanislav Abulkhanov, Candidate of Technics, Associate Professor. E-mail: mom@ssau.ru

Dmitry Goryainov, Candidate of Technics, Associate Professor at the Technology of Mechanical Engineering Department. E-mail: tms@samgtu.ru

Anton Nalimov, Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor at the Technical Cybernetics Department, Research Fellow at IPSI RAS. E-mail: antonsmr@mail.ru