

### **План работ научного исследования**

*План работ научного исследования представляется в соответствии с заявкой, поданной на конкурс.*

Методы и подходы в данном проекте состоят в параллельном выполнении аналитических исследований методами нелинейной механики (в каких-то конкретных случаях, например, методами Пуанкаре-Ляпунова), численном моделировании поведения сред при вибрационных воздействиях методами дискретных элементов на базе специализированных, но доработанных программ и подходов. Одновременно должна реализовываться программа экспериментальных исследований, в том числе, на уникальных вибрационных стендах, разработанных и используемых исключительно в «Механобр – технике». Экспериментальные исследования будут сопровождаться высокотехнологичными способами фиксации поведения материалов в самых различных амплитудно-частотных диапазонах, нахождения оптимумов и желательных по технологическим соображениям состояний.

Будут также использованы высокотехнологичные интроскопические методы исследования внутренней структуры материалов, главным образом, рентгеновская микротомография, а также лазерно-акустическая аппаратура, что позволит связать количественные показатели дефектности и пористости внутренней структуры материалов с выбором оптимального способа их дезинтеграции, т.е. образованием новых поверхностей раздела, методически и системно использовать эту информацию при принятии технологических решений.

Планируется также аналитическое исследование динамики адаптивных колебательных систем, обеспечивающих энергоэффективные режимы эксплуатации, в том числе, за счёт усложнения динамических схем, переходам к многомассным системам и использованию автоматического управления.

В процессе выполнения исследований будут спроектированы и изготовлены макеты вибрационных устройств технологического назначения для экспериментального натурного исследования. Изготовление макетов планируется финансировать из внебюджетных источников проекта. Будут также продолжены и развиты исследования, физико-механических и минералогических свойств материалов.

Далее планируется начало работ по жидким средам и их поведению в условиях вибрационных воздействий. Отдельные задачи этой части работы планируется рассмотреть, подготовив необходимый расчётно-аналитический задел. Будет реализован значительный цикл экспериментальных исследований и численных экспериментов симуляционного характера, что позволит накопить большой объём данных для последующего проектирования реальных технологических систем мехатронного типа для работы с жидкостями.

Затем цикл работ будет посвящён формализации научных результатов, их осмыслению и обобщению, переходу к компьютерному проектированию ряда экспериментальных образцов, к их изготовлению (за привлекаемые внебюджетные средства), опытно-промышленным испытаниям, обоснованию применения в передовых интеллектуальных технологиях новых мехатронных

комплексов, созданных в рамках проекта. Будут также наработаны, переданы потребителям и проверены в последующих технологических операциях опытные партии новых материалов, полученных при переработке на созданных комплексах.

Дополнительно, конкретизируя общий план работы, отметим следующее. Несмотря на то, что вся научная проблема состоит из четырёх задач, они не будут выполняться последовательно.

Исследования, касающиеся первых трёх задач будут начаты одновременно, с первых же дней выполнения проекта, поскольку они методически и аппаратурно связаны. Будут использованы близкие аналитические методы и высокотехнологичные исследовательские комплексы.

Четвёртая задача проекта, ориентированная на жидкие и пограничные среды (суспензии), будет детально анализироваться по предлагаемой программе не с самого начала реализации проекта, но и здесь будет накапливаться информация, составляться детальный план исследований и т.д. В целом программа проекта (общий план работ) представляется следующим образом.

1 –ый год.

Аналитические исследования динамики вибрационных колебательных систем с энергетически эффективным типом возбуждения, преимущественно с механическим приводом, а также принципиальной возможностью использования резонансных (квазирезонансных) режимов, учёт технологической нагрузки, как присоединённой массы для поддержания стабильного режима колебаний, исследование возможности автоматического поддержания резонансного режима колебаний.

Определение условий и возможностей энергоэффективного селективного разрушения многокомпонентных твёрдых материалов, в том числе, полученных наномодифицированием. Комплекс рентгеновских микротомографических исследований по визуализации внутренней структуры, дефектов и пор материалов, анализ способов их количественного описания.

Проектирование макетов динамических колебательных систем нового типа, предложенных на основе исследований данного этапа.

Разработка подходов к численному моделированию сыпучих сред, проведению численных симуляционных исследований их поведения в комбинированных силовых полях при наличии вибраций.

По сути, выше представлены результаты первого года выполнения проекта, кроме того, по ним будет опубликовано не менее 10-ти работ в специализированных журналах, индексируемых в системах «Сеть науки» (Web of Science Core Collection) или «Скопус» (Scopus).

2-ой год.

Исследование возможностей электростатической и электродинамической сепарации материалов различного происхождения, в том числе искусственного, в вибрационных полях, обеспечивающих переход материалов в состояние квазиоживления. Подготовка технологических предложений по использованию новых эффектов и возможностей.

Исследование возможностей применения вибрационных воздействий при разделении материалов по магнитным свойствам, главным образом, в интенсивных магнитных полях с магнитной индукцией не менее 0,4 Тесла.

Изготовление макетов и устройств для проведения лабораторных экспериментальных исследований на различных материалах - по крупности, форме, электрическим и магнитным свойствам. Частичное выполнение объёма соответствующих исследований для материалов с минимальной крупностью частиц до 100 мкм. Получение необходимой и достаточной информации – исходных требований для проектирования опытно-промышленных устройств высокой производительности для различных технологий переработки тонкоизмельчённых материалов.

Продолжение исследований по численному моделированию поведения сыпучих сред в условиях вибраций, аналитическое описание и выводы о изменении в технологиях явления диффузной сегрегации материалов.

Разработка рекомендаций по выбору и применению вибрационных технологий и их промышленной реализации в передовых интеллектуальных производствах.

На основе полученных выполненных работ и полученных результатов будет также опубликовано не менее 10 статей «Сеть науки» (Web of Science Core Collection) или «Скопус» (Scopus). Предполагается также в течение первых двух лет работы получение не менее 3-х документов о защите разработанной интеллектуальной собственности (патентов).

3-ий год.

Проведение и полное завершение исследований структуры и структурно-текстурных свойств материалов методиками рентгеновской микротомографии, а также лазерно-аналитической технологией.

Разработка и верификация метода количественного описания дефектности микроструктуры материалов, методики его учёта при выборе технологии селективной дезинтеграции, построение соответствующих мехатронных комплексов и выбор оптимальных режимных параметров их работы.

Завершение полного объёма исследований на макетах и моделях устройств, отработка основных параметров для опытно-промышленных и промышленных технологических комплексов с цифровым управлением для разделения материалов различного происхождения по электрическим и магнитным свойствам, а также по крупности в вибрационных полях.

Проектирование ряда экспериментальных и опытно-промышленных устройств для переработки материалов с учётом требований конкретных технологий и определённых участников проекта – потребителей, заинтересованных в результатах работы и обеспечивающих внебюджетное финансирование проекта.

Публикация не менее 10 статей «Сеть науки» (Web of Science Core Collection) или «Скопус» (Scopus).

4-ый год.

Полное завершение теоретических исследований, их обобщение и подготовка монографии.

Завершение экспериментальных исследований на макетах и моделях всех возможных технологических приёмов, в том числе, на жидкостях и структурированных суспензиях.

Обобщение методик и компьютерных программ расчёта и проектирования мехатронных комплексов для вибрационных технологий и разработка рекомендаций по выбору промышленной реализации в передовых интеллектуальных производствах.

Изготовление и испытание опытно-промышленных образцов мехатронных комплексов совместно с заинтересованными участниками проекта, обеспечивающему его внебюджетное софинансирование, используемое в частности, для изготовления указанных образцов. Нарботка опытных партий продуктов переработки для дальнейших технологий, получение сертифицированных документов.

Составление общего отчёта по проекту, публикация не менее 10 статей «Сеть науки» (Web of Science Core Collection) или «Скопус» (Scopus) (общее количество за 4 года – не менее 40 публикаций).