

Д.А. Макаренков, Г.Г. Приоров, А.М. Бессарабов

## СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ГРАНУЛИРОВАННЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Макаренков Дмитрий Анатольевич*, д.т.н., доцент, заместитель директора, НИЦ «Курчатовский институт» – ИРЕА, Москва, Россия, makarenkov@gmail.com

*Приоров Георгий Германович*, н.с., НИЦ «Курчатовский институт» – ИРЕА, Москва, Россия, gpriorov@muctr.ru

*Бессарабов Аркадий Маркович*, д.т.н., профессор, заместитель директора, Научный центр «Малотоннажная химия», Москва, Россия, bessarabov@nc-mtc.ru

*Ключевые слова:* системный анализ, информационная модель, CALS-технология, жизненный цикл продукта, многокомпонентные материалы, показатели качества продукта, классы гранулируемых продуктов, методы грануляции, грануляторы.

В настоящее время гранулированные многокомпонентные материалы (МКМ) нашли широкое применение в различных отраслях промышленности: химической, нефтехимической, фармацевтической и металлургической. Производство гранулированных МКМ осуществляется при компактировании на валках с гладкой поверхностью, прокаткой на роторных грануляторах с кольцевой или плоской матрицей, а также на тарельчатых и турболопастных грануляторах при скоростном окатывании. Выбор рационального метода гранулирования проводится с учетом структурно-деформационных и реологических характеристик (Макаренков и др., 2016).

На основе методов системного анализа проведена разработка автоматизированной системы научных исследований (АСНИ) процессов гранулирования многокомпонентных материалов (Макаренков и др., 2021). Работы проводились на основе информационной CALS-технологии (Continuous Acquisition and Life cycle Support – непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукта) (Барабанов, 2009). Главное, что составляет концепцию CALS и отличает ее от других – это инвариантные понятия, полностью или частично реализующиеся на протяжении жизненного цикла продукта (Гродзенский и др., 2014).

Для создания АСНИ была разработана иерархическая информационная модель (см. рисунок). На 1-м уровне проводится группировка по 8 видам среды гранулируемых материалов: идеальнотыпучая, сыпучепластичная, упругая, вязкоупругая, упруговязкая, релаксирующая, упругопластичная, упруготвердеющая, вязкопластичная. На 2-м уровне иерархии для каждого вида среды рассматриваются и ставятся в соответствие 11 классов гранулируемых продуктов: стеклообразующие и эмалевые шихты; кремнеземистые пористые материалы; порошки из пылевидных фракций глинистых масс; металлические порошки; порошки на основе ферментных препаратов; твердо-

топливные композиции; смеси из бумажно-полимерных масс; комбикорма с добавками отходов пищевой промышленности; наполнители на основе зол, шлаков и пористых отходов; минеральные удобрения, комплексные NPK удобрения (азотно-фосфорно-калийные); удобрения в виде гранулированных микроэлементов; органоминеральные удобрения.

В CALS-проекте для упруговязкой релаксирующей среды было выделено 3 класса продуктов 2-го уровня (см. рисунок): наполнители на основе зол, шлаков и пористых отходов; смеси из бумажно-полимерных масс; органоминеральные удобрения. Каждый класс продуктов на 3-м уровне иерархии характеризуется ассортиментом рассматриваемых (заносимых в информационные базы) материалов. В качестве примера (см. рисунок) для «смеси из бумажно-полимерных масс с добавками растительных и других типов отходов» анализируется «гранулируемая композиция ИРЕА» (Назаров и др., 2017).



**Рис. Структура информационной модели производства гранулированных МКМ**

Для каждого из анализируемых продуктов на 4-м уровне иерархии в CALS-проект занесены 6 основных показателей качества: коэффициент бокового давления, коэффициент внешнего трения, коэффициент сцепления, пластичная прочность, коэффициент объемной вязкости смеси и коэффициент остаточного расширения. На основе показателей качества на 5-м уровне иерархии информационной модели CALS-проекта анализируются различные методы получения гранулируемых композиций. В качестве примера (см. рисунок) для одной из смесей из бумажно-полимерных масс с добавками растительных и других типов отходов «гранулируемая композиция ИРЕА» в CALS-проект занесено 3 метода грануляции: компактирование и прокатка через фильеру,

компактирование на валковых прессах и окатывание на тарельчатом грануляторе. На 6-м уровне иерархии в качестве примера (см. рисунок) для получения «гранулируемой композиции ИРЕА» методом компактирования на валковых прессах в CALS-проект занесено 3 соответствующих вида оборудования: валковый пресс ARP-1, валковый пресс марки УКВМ-360 и валковый пресс ПБВ-19МП.

Разработанная информационная модель положена в основу CALS-системы научных исследований производства гранулированных МКМ. Заложенная в CALS-стандарт (ISO 10303) структура хранимых данных и программных интерфейсов доступа дает возможность параллельной работы с информацией из различных предметных областей, а также предусматривает интеграцию с любыми информационными системами.

Работа выполнена с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования НИЦ «Курчатовский институт» – ИРЕА при финансовой поддержке проекта Российской Федерацией в лице Минобрнауки России, Соглашение № 075-11-2021-070 от 19.08.2021, уникальный идентификатор проекта RF----2296.61321X0036.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Барабанов В.* Стратегия внедрения CALS-технологий в оборонной промышленности России // Управление качеством. 2009. № 5. С. 13–17.
- Гродзенский С.Я., Гродзенский Я.С., Калачева Е.А.* CALS-технологии – ресурс повышения качества и конкурентоспособности наукоемкой продукции // Стандарты и качество. 2014. № 5 (923). С. 90–93.
- Макаренков Д.А., Назаров В.И.* Основные принципы энергосберегающих технологий гранулирования многокомпонентных полидисперсных материалов с использованием совмещенных процессов подготовки // Вестник МГОУ. Серия: Естественные науки. 2016. № 2. С. 144–152.
- Макаренков Д.А., Назаров В.И., Ретивов В.Е., Кузнецова Н.А., Попов А.П., Приоров Г.Г., Бессарабов А.М., Стоянов О.В.* Автоматизированная CALS-система научных исследований процессов гранулирования многокомпонентных материалов // Вестник технологического университета. 2021. Т. 24. № 12. С. 133–138.
- Назаров В.И., Макаренков Д.А., Мавлюдова Я.А., Краморова С.Н.* Технологии гранулирования целевых продуктов на основе вторичных материальных ресурсов // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 2. С. 10–14.