

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Бабкина Михаила Андреевича**
«Разработка математической модели и цифрового двойника
процессов измельчения в планетарной мельнице» на соискание

ученой степени кандидата технических наук по специальности

1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и
комплексы программ.

Актуальность проведённых исследований обусловлена необходимостью повышения эффективности процессов тонкого измельчения твёрдых тел и развития методологий цифрового инжиниринга, позволяющих осуществлять оптимизацию таких процессов. Предложенная в диссертации математическая модель учитывает термодинамические закономерности процесса дробления и интегрирована в цифровой двойник с возможностью проведения экспериментов в виртуальной среде.

Работа выполнена на высоком научном уровне, имеет выраженную прикладную направленность и соответствует приоритетным направлениям в области цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности. На основе теоретического анализа и экспериментов автору удалось выявить закономерности формирования устойчивых к измельчению частиц, разработать модели, учитывающие термодинамические параметры, и предложить эффективные алгоритмы расчёта и визуализации результатов.

Математическое описание базируется на уравнении баланса числа частиц, дополненном функциями дробления и распределения, построенными на принципах механики гетерогенных сред и неравновесной термодинамики. Применение принципа минимума производства энтропии И. Пригожина для оценки устойчивого размера частиц при заданных режимах измельчения является научной новизной и представляет интерес как с теоретической, так и с прикладной точек зрения.

Разработанный программный комплекс реализован на языке Python, что делает его универсальным инструментом для обучения, а также планирования и контроля процессов измельчения. Результаты модели сопоставлены с экспериментальными данными по измельчению порошка Al_2O_3 , и получено хорошее согласование.

По автореферату имеются следующие замечания:

1. Отсутствие статистического анализа. В разделе, содержащем

экспериментальные данные (в частности, Таблица 1), не приведены статистические показатели, такие как стандартное отклонение, доверительные интервалы. Это затрудняет объективную оценку воспроизводимости результатов и достоверности приведённых средних значений.

2. Отсутствие анализа чувствительности. В автореферате не представлена информация о проведённом анализе чувствительности модели. Не исследовано, как вариации входных параметров (например, начального распределения частиц или феноменологических коэффициентов) влияют на выходные характеристики, такие как устойчивый размер частиц. Это снижает прозрачность модели и ограничивает возможности её адаптации к другим материалам или условиям.

Отмеченные недостатки не снижают значимости представленной диссертационной работы, выполненной на высоком научно-методическом уровне. Автореферат оформлен грамотно, структура работы выстроена логично, представлены все основные положения, выносимые на защиту. Полученные результаты обладают научной новизной и практической значимостью. Считаю, что Михаил Андреевич Бабкин заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Доктор физико-математических наук
(05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий),
профессор, заведующая кафедрой высшей и прикладной
математики ФГБОУ ВО «Ивановский государственный
химико-технологический университет»

«1» 02 2025 г.



Зуева Галина Альбертовна

Адрес:

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет»,
кафедра высшей и прикладной математики,
153000, Россия, г. Иваново, пр. Шереметевский, 7.

тел.: +7 910 988-27-24

e-mail: galina@isuct.ru

Подпись Зуевой Г.А. заверяю

Ученый секретарь Ученого совета
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный
химико-технологический университет»

к.э.н., доцент

«01» 09 2025 г.



Хомякова А.А.