

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы

Бабкина Михаила Андреевича «Разработка математической модели и цифрового двойника процессов измельчения в планетарной мельнице»,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Объектом исследования диссертационной работы являются процессы измельчения твёрдых материалов в планетарной мельнице, в частности, измельчение порошка оксида алюминия. Исследование направлено на создание математической модели, описывающей кинетику процесса с учётом термодинамических и механических факторов, а также разработку цифрового двойника планетарной мельницы.

Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения эффективности процессов измельчения в различных отраслях промышленности, включая производство керамики, катализаторов, наноматериалов и аккумуляторов. Использование планетарных мельниц связано с достижением высоких степеней диспергирования, однако существующие подходы к моделированию процессов измельчения имеют ограничения по точности и универсальности.

В автореферате представлены результаты комплексных экспериментальных и теоретических исследований. Особенностью работы является применение принципа минимума производства энтропии для определения устойчивого к дроблению размера частиц, что позволило предложить физически обоснованный критерий прекращения измельчения. Также разработанная математическая модель, включает функции дробления и распределения, основанные на термодинамическом подходе, и реализован программный комплекс с визуализацией процесса в VR-среде.

В работе разработаны численные схемы для решения интегро-дифференциального уравнения баланса числа частиц, построены регрессионные модели для расчёта удельной мощности, применены методы машинного обучения для уточнения параметров процесса. Проведена валидация модели на основании экспериментальных данных, полученных при измельчении Al_2O_3 , и показана высокая точность результатов.

Практическая значимость работы подтверждена внедрением программного обеспечения в учебный процесс, а также регистрацией программных продуктов. Использование цифрового двойника открывает перспективы для обучения операторов, оптимизации технологических режимов и анализа кинетики разрушения.

По автореферату имеются следующие замечания:

1. Не пояснено, каким образом был проведён подбор функции распределения дочерних

частиц (уравнение 12). Неясна чувствительность модели к выбору этой функции и её влияние на точность расчётов.

2. Недостаточное описание условий экспериментов. В автореферате описаны опыты по измельчению Al_2O_3 , однако не указаны некоторые ключевые параметры, такие как фактическая масса измельчаемого материала, масса шаров, контроль температуры и продолжительность периода семплирования. Эти данные важны для воспроизводимости и оценки экспериментальной погрешности.

Отмеченные недостатки не снижают общего положительного впечатления от проделанной диссертантом работы, выполненной на высоком научно-техническом уровне. Оформление автореферата соответствует установленным требованиям. Результаты обладают новизной и практической значимостью и могут быть использованы в образовательной и производственной деятельности.

Таким образом, Михаил Андреевич Бабкин достоин присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Главный научный сотрудник лаборатории механики многофазных систем ИМех УФИЦ РАН, доктор физико-математических наук (специальность 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы), старший научный сотрудник

e-mail: bolotnova@anrb.ru

«27» августа 2025 г.



Болотнова Раиса Хакимовна

Институт механики им. Р.Р. Мавлютова – обособленное структурное подразделение
Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального
исследовательского центра Российской академии наук (ИМех УФИЦ РАН)

450054, г. Уфа, Проспект Октября, 71

телефон: +7(347)2355255 e-mail: imran@anrb.ru

Согласна на обработку персональных данных

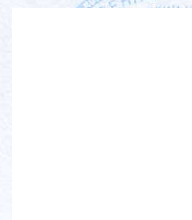
«27» августа 2025 г.



Болотнова Раиса Хакимовна

Подпись Р.Х. Болотновой заверяю:

Ученый секретарь ИМех УФИЦ РАН



Э.Ф. Гайнуллина

«27» августа 2025 г.