

## ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора технических наук, профессора Богданова Василия Степановича  
на диссертационную работу Власенко Дмитрия Алексеевича  
на тему: «Разработка комплекса научно-технических решений по повышению  
эффективности процессов дробления металлургического сырья в дробильно-  
измельчительных машинах», представленную на соискание ученой степени  
доктора технических наук по специальности  
2.5.21. Машины, агрегаты и технологические процессы

### *Актуальность избранной темы*

Первоначальной etapом металлургического производства является производство железорудного агломерата, включающего в себя несколько основных технологических этапов, одними из которых являются фракционная подготовка сырьевых компонентов и дробление агломерационного пирога. Качественные показатели процесса дробления шихтовых материалов и готовой продукции существенно влияют на эффективность всего аглодоменного производства.

В агломерационном производстве широкое распространение получили различные типы дробильно-измельчительных машин, конструкторские решения которых известны и широко используются. Конструкция зубчатых роторных, валковых и молотковых дробилок в достаточной степени обеспечивает эффективность фракционной подготовки различных материалов в металлургическом производстве, однако не обеспечивает в полной мере энергоэффективность, показатели надежности рабочих узлов и механизмов, а также качественные показатели дробленого продукта. Выполненные ранее исследования по развитию научных основ процесса дробления материалов в различных типах дробилок и измельчителей не позволяют окончательно снять вопрос их совершенствования.

Обоснование силовых параметров процесса разрушения материала и конструктивно-технологических характеристик дробильно-измельчительных машин, зависящих от множества различных факторов, определяют основные задачи, решаемые в представленной диссертационной работе. Применение рабочих органов усовершенствованных конструкций требует научно обоснованных рекомендаций по выбору параметров дробильно-измельчительного оборудования. Следовательно, исследования, направленные на повышение эффективности фракционной подготовки металлургического сырья в зубчатой роторной, валковой и молотковых дробилках, снижение их энергоемкости, износа рабочих органов, а также повышение производительности и качества готовой продукции, определяют актуальность выбора темы и направления диссертационной работы.

|                                            |            |
|--------------------------------------------|------------|
| ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА |            |
| ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова»             |            |
| за №                                       |            |
| Дата регистрации                           | 02.09.2026 |
| Фамилия регистратора                       |            |

### *Структура диссертационной работы*

Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы и приложений.

Введение посвящено описанию актуальности, цели и задач исследования. В нем отображены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, сформулированы положения, выносимые на защиту, описаны методология и методы исследования, приведены данные о степени адекватности, достоверности и обоснованности результатов и выводов. Представлены результаты апробации полученных результатов, структура и объем диссертации, приведены данные о соответствии паспорту специальности и публикациях по теме исследования.

В первой главе проанализирована степень влияния гранулометрического состава материалов на эффективность аглодоменного производства. Проведен анализ зависимостей и методов определения конструктивно-технологических и энергосиловых параметров различных типов дробилок. Рассмотрена усовершенствованная классификация дробильно-измельчительных машин.

Содержание второй главы дает представление о методах и методиках лабораторных и производственных экспериментальных исследований и конечно-элементных методах, направленных на подтверждение достоверности, адекватности и верификацию результатов математических моделей и описаний процессов дробления и измельчения в дробильно-измельчительных машинах, рассматриваемых в диссертационной работе.

В третьей главе представлены результаты исследования процесса разрушения хрупких анизотропных материалов сфероидной формы, на основании которых получены значения коэффициентов характерной формы и степени анизотропии прочностных свойств шихтовых материалов, применяемых в аглодоменном производстве, позволяющие повысить точность определения силовых параметров процесса их дробления.

Четвертая, пятая и шестая главы посвящены исследованию процессов дробления в зубчатых роторных, валковых и молотковых дробильно-измельчительных машинах. Предложено аналитическое описание процессов взаимодействия рабочих органов с дробимым материалом, обоснование энергосиловых параметров процесса дробления и мощности приводов дробилок различных типов, математически обоснованы прочностные характеристики отдельных рабочих органов. Представлены результаты экспериментальных исследований процессов дробления в зубчатых роторных, валковых и молотковых дробильно-измельчительных машинах в лабораторных и производственных условиях агломерационного производства, подтверждающие адекватность разработанных математических моделей. Предложены рекомендации по усовершенствованию конструктивно-технологических и режимных параметров зубчатой роторной дробилки ДО-1300-2700-61, четырехвалковой дробилки ДЧГ 900×700 и молотковой роторной дробилки ДМРиЭ 14,5×13, применяемых в

условиях участка подготовки шихты агломерационного цеха Алчевского металлургического комбината ООО «ЮГМК».

Седьмая глава посвящена описанию производственных испытаний и внедрения в производство усовершенствованных дробилок ДО-1300-2700-61, ДЧГ 900×700 и ДМРиЭ 14,5×13 в условиях агломерационного производства Алчевского металлургического комбината ООО «ЮГМК», на основании которых обосновано и подтверждено повышение их энергоэффективности, производительности и надежности отдельных рабочих органов, а также улучшение качества готового дробленого продукта.

#### *Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций*

Основу теоретических и экспериментальных исследований составляет использование анализа и обобщение научно-технических достижений в области дробления и измельчения различных материалов с использованием конечно-элементного метода, отдельных положений теоретической механики, физики сплошных сред, аналитической геометрии и математического анализа. В работе использованы классические подходы к определению конструктивно-технологических параметров различных типов дробилок и измельчителей, включая математическое и физическое моделирование исследуемых процессов.

Реализация отдельных решений осуществлялась с использованием системы автоматизации математических расчетов Mathcad, SOLIDWORKS Simulation и ANSYS Workbench. Адекватность предложенных теоретических зависимостей, методов расчета конструктивно-технологических параметров дробильно-измельчительных машин доказана экспериментальными исследованиями в лабораторных условиях и в условиях действующего агломерационного производства. Следует отметить системный подход в построении математических моделей и диссертационной работы в целом, а также значительный объем вычислительных экспериментов с использованием конечно-элементного метода.

Результаты проведенных опытов и промышленных испытаний обрабатывались с использованием апробированных методов теории погрешностей и математической статистики обработки данных.

Проведенные автором теоретические и экспериментальные исследования соответствуют опубликованным ранее научным результатам, являясь их развитием, а в совокупности с известным практическим опытом эксплуатации дробильно-измельчительных машин являются достаточными для обоснования полученных научных положений, выводов и практических рекомендаций.

*Научная новизна и теоретическая значимость результатов, полученных автором в диссертации, заключается в том, что в ней:*

1. С помощью усовершенствованной классификации дробильно-измельчительных машин произведена идентификация и разработаны новые

методы исследований конструктивно-технологических и энергосиловых параметров роторных зубчатых дробильно-измельчительных машин.

2. На основании косвенного метода определения момента сопротивления, усовершенствованного автором диссертации, представляется возможным экспериментально исследовать в производственных условиях энергосиловые параметры привода дробильно-измельчительных машин, не внося какие-либо изменения в их конструкцию.

3. Математическая модель деформирования хрупких материалов сфероидной формы деформацией одноосного сжатия, обладающих анизотропией прочностных свойств, позволяет аналитически определить требуемую силу, необходимую для разрушения куска материала в процессе его дробления.

4. За счет предложенного математического описания процесса взаимодействия зубьев ротора с дробимым материалом в роторной зубчатой дробилке, выполнен расчет ее конструктивно-технологических и энергосиловых параметров и обоснована эффективность использования роторов с нелинейным расположением зубьев.

5. Усовершенствование теоретического описания процессов дробления в валковых дробилках с гладкими валками, а в частности, метода определения энергосиловых параметров привода дробилки, обеспечивает повышение точности определения энергосиловых параметров привода дробилки в 1,2...3,5 раза по сравнению с ранее предложенными методами.

6. Разработанная зависимость диаметра рифли сетки рифленого вала валковой дробилки позволяет рассчитать размеры его сетки для обеспечения захвата дробимого куска в рабочем пространстве валков.

7. Впервые разработанный автором метод определения энергосиловых параметров привода валковой дробилки с рифлеными рабочими органами дает возможность аналитически определить мощность двигателя привода валков.

8. За счет усовершенствования зависимостей угла отклонения молотка при свободном ударе и в зоне колосниковой решетки разработан усовершенствованный метод определения энергосиловых параметров привода роторной молотковой дробильной машины, который дает возможность теоретически определить требуемую мощность электродвигателя.

#### *Практическая значимость работы*

- Усовершенствован ротор дробилки ДО-1300-2700-61, использование которого обеспечивает снижение количества отсевов агломерата в доменном производстве на 6...7%, степени износа отдельных рабочих органов в 1,2...1,9 раза, мощности электродвигателя привода в 1,5 раза.

- Усовершенствована конструкция верхних валков дробилки ДЧГ 900×700, за счет чего обеспечивается снижение содержания мелких фракций в процессе дробления кокса в 1,2...1,8 раза и степени износа бандажей валков в 1,1...1,3 раза.

- За счет применения разработанных методов определения энергосиловых параметров процесса дробления материала в валковых дробилках с гладкими и рифлеными валками обосновано снижение номинальной мощности электродвигателей приводов верхних валков дробилки ДЧГ 900×700 в 1,5 раза, нижних – в 2,25 раза.

- Благодаря использованию модернизированной конструкции молотков дробилки ДМРиЭ 14,5×13 обеспечено снижение вероятности отказов молотков в 14,5 раз и увеличение ресурса ротора в 1,1 раза без потери ее производительности и снижения качества продукции.

- С помощью математической модели процесса дробления материала в молотковой дробилке ДМРиЭ 14,5×13 обосновано снижение мощности ее двигателя в 1,25 раза.

- Результаты исследований внедрены в технологическом процессе агломерационного производства ООО «ЮГМК» Филиал № 1 «АМК» с суммарным экономическим эффектом 98,7 млн. руб. в год, а также приняты к внедрению в агломерационном цехе ООО «Тулачермет» с ожидаемым экономическим эффектом 65,6 млн. руб. в год.

- Основные результаты диссертационной работы используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «ЛГТУ» и ФГБОУ ВО «ЛНУ им. В. Даля».

*Достоверность и адекватность научных положений, выводов и рекомендаций* подтверждается использованием результатов диссертационного исследования на участке подготовки шихты агломерационного цеха ООО «ЮГМК» Филиал № 1 «Алчевский металлургический комбинат» и принятием к внедрению в агломерационном производстве ООО «Тулачермет» в виде усовершенствованных конструкций дробильно-измельчительных машин, прошедших успешные промышленные испытания при дроблении и измельчении шихтовых материалов и готовой продукции. Результаты работы используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «ЛГТУ» и ФГБОУ ВО «ЛНУ им. В. Даля» при преподавании ряда специальных дисциплин, а также при выполнении научно-исследовательских, курсовых и квалификационных выпускных работ. Эти данные подтверждаются приведенными актами внедрения.

### *Публикации*

Основные результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на 12 международных научно-технических конференциях и форумах в период с 2019 по 2025 год. В период с 2017 по 2025 год по теме диссертации опубликовано 19 научных работ из перечня, рекомендованного ВАК, а также в рецензируемых изданиях, входящих в RSCI, и индексируемых в международных базах данных; в других изданиях – 11; получено 2 патента РФ на изобретение и 7 патентов РФ на полезную модель; издано 4 монографии. Общее количество публикаций по теме диссертации – 55.

Качество и количество опубликованных работ позволяет утверждать о том, что научные положения, выносимые на защиту, выводы и рекомендации в достаточной степени обоснованы.

#### *Соответствие диссертации паспорту научной специальности*

Диссертационная работа по своему содержанию соответствует паспорту специальности 2.5.21. Машины, агрегаты и технологические процессы по пп. 1 «Разработка научных и методологических основ, технических и технологических требований к проектированию и созданию новых машин, агрегатов и технологических процессов», 6 «Разработка научных и методологических основ повышения производительности машин, агрегатов и технологических процессов и оценки их экономической и энергетической эффективности и ресурса», 9 «Разработка научных и методологических основ проектирования и практической реализации технологических процессов и способов получения и обработки материалов, обеспечивающих экологическую безопасность, экономию материальных и энергетических ресурсов, формирующих комплекс свойств, качество и расширяющих номенклатуру изготавливаемой продукции».

#### *Замечания*

1. Для проведения ряда экспериментальных исследований в промышленных условиях применялся двухканальный переносной цифровой анализатор, коллектор данных и балансировочный прибор «Кварц 2». Однако в работе отсутствует сравнительный анализ характеристик и обоснование выбора данного прибора по сравнению с существующими методами и приборами измерения колебаний и скорости вращения.

2. При верификации математической модели процесса разрушения хрупких анизотропных материалов выбрано тело сфероидной формы. Следовало провести сравнительный анализ результатов определения силы, необходимой для разрушения образца, конечно-элементным методом с аналогичными значениями для соответствующих образцов реальных материалов, подвергающихся силовому нагружению.

3. В работе используется понятие « $L_n$  – текущая длина пирога дробимого материала». Требуется более подробно пояснить, что понимается под указанным термином. При этом нет понимания того, в процессе дробления поступает ли с ленты агломашины в рабочее пространство дробилки следующий агломерационный пирог?

4. В подразделе 5.2.2 указано, что «значения эмпирического коэффициента материала  $k_\phi$  для различных материалов при их разрушении одноосным сжатием составило 0,11...0,47». При этом непонятно, для каких именно материалов представлены данные значения, и почему такой большой диапазон указан.

5. Не указано, для каких именно физико-механических параметров вала валковой дробилки на рисунке 5.13 представлены результаты определения значений требуемого радиуса валика сетки банджа.

6. В данных на рисунке 6.5 допущена опечатка: значения угла отклонения молотка  $\gamma_2$  не могут достигать 45 рад. Необходимо указывать «град».

7. Возникает вопрос относительно усложнения операций по монтажу и, особенно, демонтажу усовершенствованных молотков в узле ротора молотковых дробилок в процессе эксплуатации и при техническом обслуживании.

8. В исследовании установлено, что при использовании в роторной зубчатой дробилке ротора с нелинейным расположением зубьев звездочек содержание возврата после классификации на грохоте увеличилось на 2...4 %. Однако в работе не сказано, как это отразилось на технико-экономических показателях самого агломерационного процесса.

9. В работе не приведены сведения о фракционном составе исходного продукта в различных диапазонах крупности, что не позволяет судить об его однородности.

Однако указанные замечания не влияют на основные результаты и выводы диссертации и не снижают ее ценности.

### *Заключение*

Диссертация и автореферат Власенко Дмитрием Алексеевичем написаны доступным научным языком. Автореферат в полной мере отражает содержание основных результатов и положений, представленных в диссертации.

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой решена актуальная научно-техническая проблема повышения эффективности процессов дробления металлургического сырья в дробильно-измельчительных машинах. Целями, задачами, содержанием, методами исследований диссертационная работа, представленная на соискание ученой степени доктора технических наук, в полной мере соответствует специальности 2.5.21. Машины, агрегаты и технологические процессы. В работе содержится решение важной, имеющей значение для различных отраслей промышленной деятельности, проблемы создания научно-технических основ совершенствования дробильно-измельчительных машин для повышения эффективности дробильно-измельчительных процессов.

Считаю, что представленная диссертационная работа «Разработка комплекса научно-технических решений по повышению эффективности процессов дробления металлургического сырья в дробильно-измельчительных машинах» в полной мере соответствует профилю специализированного совета 24.2.324.04 (24.2.324.04) и отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской

Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к докторским диссертационным работам, а ее автор Власенко Дмитрий Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.21. Машины, агрегаты и технологические процессы.

Официальный оппонент:

доктор технических наук по специальности 05.02.13 –  
Машины, агрегаты и процессы (по отраслям),  
профессор, профессор кафедры механического  
оборудования федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения высшего  
образования "Белгородский государственный  
технологический университет им. В.Г. Шухова",  
308012, Белгородская область, г. Белгород,  
ул. Костюкова, 46, БГТУ им. В.Г. Шухова,  
+7 (4722) 54-20-87; +7 (4722) 54-52-27, rector@intbel.ru.

«26» 06 2026 г.



Богданов Василий Степанович

Даю согласие на автоматизированную обработку моих персональных данных в диссертационном совете 24.2.324.04.

Богданов Василий Степанович



Подпись Богданова В.С. заверяю:

Первый проректор ФГБОУ ВО  
«БГТУ им. В.Г. Шухова»

ЕВТУШЕНКО Е.И.

