

## УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной и  
инновационной деятельности  
Федерального государственного  
образовательного учреждения  
высшего образования «Донбасский  
государственный технический  
университет»



  
Е.С. Смекалин

« 05 » Июнь 2026 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации по диссертации Кравченко Владимира Михайловича  
на тему: «Совершенствование измельчителя вертикального типа для  
переработки в крошку резинотехнических отходов»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 2.5.21 – Машины, агрегаты и технологические процессы

**Актуальность темы выполненной работы.** С 2019 года в России введен запрет на выбрасывание старых шин и других резиновых изделий на свалки. Поэтому сейчас очень важно найти способы их переработки. Современная переработка трансформирует отходы в продукты для вторичного использования, поэтому механическая переработка с получением крошки является особенно перспективным направлением, востребованным в строительстве, горнодобывающей, дорожной, химической и других отраслях.

В настоящее время процесс получения резиновой крошки из отходов резины чаще всего осуществляется механическим путем, для чего задействуются различные типы измельчителей, включая шредеры, валковые дробилки, а также роторные и шнековые установки, к недостаткам которых относятся горизонтальная компоновка, приводящая к контактируемости измельчаемого материала лишь с ограниченным числом (2-3) режущих или разрушающих элементов, что требует наличия дополнительных стадий

обработки. Кроме того, не обеспечивается желаемое качество измельчения, поскольку в конечном продукте может присутствовать до 25% крошки, размер которой выходит за установленные пределы (более 5 мм или менее 1 мм), что является недопустимым браком.

Наиболее эффективным методом является пользование измельчителя, оснащенного вертикальным ротором, имеющим режущие элементы и регулировочные ножи с переменным числом зубьев, разделенных шайбами, расширяющими рабочую зону. При этом количество режущих ножей определяет число этапов обработки, в то время как число зубьев и толщина регулировочного ножа влияют на интенсивность взаимодействия с обрабатываемым материалом.

Актуальность диссертационной работы обусловлена тем, что улучшение процесса гранулирования резинотехнических отходов достигается путем расширения рабочей площади и внедрения поэтапного измельчения, что обеспечивает получение содержания крошки более 70% фракции 1-3 мм при наличии частиц менее 1 мм не более, чем 10-12%.

**Новизна исследования, полученных выводов, сформулированных в диссертации.** Разработано теоретическое обоснование процессов переработки резинотехнических отходов в крошку в измельчителе вертикального типа.

Предложена математическая модель описания процесса деформации и разрушения резинотехнического материала при воздействии вертикально расположенного рабочего органа с учетом различных физико-механических характеристик материала.

Разработаны аналитические выражения, позволяющие определить энергетические параметры измельчителя для различных физико-механических характеристик материала и конструктивно-технологических параметров ротора.

Выведена теоретическая зависимость производительности от конструктивно технологических и геометрических параметров измельчителя.

Получены уравнения регрессии, определяющие зависимость выходных показателей измельчителя: процентного содержания фракции 1–3 мм в готовом продукте, частиц менее 1 мм в крошке, производительности, а также мощности, затрачиваемой на измельчение, от варьируемых конструктивно-технологических параметров разработанного измельчителя.

**Значимость для науки и практики полученных автором диссертации результатов.** Разработанные математические выражения, позволяющие определить основные конструктивно-технологические параметры измельчителя, а также установлены закономерности из изменения для обеспечения рациональных режимов его работы.

На основе проведенных экспериментальных исследований разработан и запатентован вертикальный измельчитель для резинотехнических отходов, обеспечивающий стадийность измельчения, увеличенную рабочую зону и многократные контакты зубьев ножей с материалом, что позволяет получать более 70% резиновой крошки размером 1-3 мм.

В целях проверки эффективности работы вертикального измельчителя, разработанного для производства резиновой крошки, на предприятии ОАО «Машиностроитель» (с. Ливенка, Белгородская обл.) проведены опытно-промышленные испытания.

Полученные результаты внедрены в образовательный процесс кафедры «Механическое оборудование» БГТУ им. В.Г. Шухова, что непосредственно влияет на подготовку будущих инженеров по направлениям: 15.03.02 – «Технологические машины и комплексы предприятий строительных материалов», 15.04.02 – «Технологические машины и оборудование» и 15.05.01 – «Проектирование технологических машин и комплексов».

Актуальным для промышленного (практического) использования являются:

- математическая модель, описывающая процесс деформации и разрушения резинового материала под воздействием вертикально расположенного рабочего органа, при различных физико-механических характеристиках материала;

- аналитические выражения для определения производительности и энергетических параметров измельчителя вертикального типа при изменении физико-механических характеристик материала и конструктивно-технологических параметров ротора;

- результаты теоретических и экспериментальных исследований, определяющих изменение производительности; мощности, затрачиваемой на измельчения, процентное содержания фракции 1-3 мм в готовом продукте, а также частиц менее 1 мм в крошке в зависимости от конструктивно-технологических параметров разработанного устройства.

- запатентованная конструкция измельчителя вертикального типа для эффективной переработки резиносодержащих отходов.

**Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы.** Потенциальными потребителями проведенных исследований являются предприятия резинотехнической отрасли, имеющие цеха регенерации отходов резинотехнических изделий, специализированные предприятия по переработке изношенных автопокрышек, а также мусороперерабатывающие заводы, занимающиеся утилизацией отслуживших свой срок изделий на основе каучука на территории Донбасса, России, Казахстана, Белоруссии и других стран.

Целесообразно в дальнейшем продолжить исследования для:

- адаптации полученных методов измельчения резины для условий шиномонтажных участков;

- расширения возможностей станций техобслуживания автомобилей для сферы переработки отходов изношенных резинотехнических изделий;

- интеграции разработанных методов в деятельность предприятий, задействованных на выпуске товарной продукции на основе резины с целью переработки и регенерации образующихся отходов.

**Замечания:**

1. Указывается (с. 44), что при измельчении резины рекомендуемая скорость резания составляет 15-25 м/с (900–1500 м/мин) для роторной дробилки, когда из технологии резания мягких металлов известно, что

скорость для их обработки лезвийным инструментом достигает до 320 м/мин (для латуни). Однако не указывается ссылка на источник информации с такими рекомендациями.

2. Иногда в тексте вместо общепринятого термина «частота вращения (об/мин)» встречается термин «скорость», выражаемая в об/мин, когда известно, что единица измерения скорости иная (например, м/с).

3. На с. 54 говорится, что «с повышением частоты вращения с  $2,2 \text{ с}^{-1}$  (130 об/мин) до  $4,5 \text{ с}^{-1}$  (270 об/мин), так и с увеличением объема отделяемой частицы  $V_k$  с  $5,2 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3$  (частица 1 мм) до  $6,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3$  (частица 5 мм) максимальная мощность, затрачиваемая на получение крошки размером 1–5 мм, возрастает». При этом не учитывается величина подачи материала на зуб и глубины резания, хотя по логике при небольших подаче и глубине резания энергозатраты должны снизиться, при этом уменьшится и крупность резиновой крошки.

4. В разделе 2.4 при определении производительности измельчителя проводится анализ влияния насыпной плотности измельчаемого материала в том числе и шага шнека питателя. При этом можно было бы рассмотреть аналогичные условия и с учетом использования шнека переменного шага, применительно к особенностям геометрии рабочей камеры машины в зависимости от частоты вращения вала с влиянием эффекта подпрессовки.

5. В тексте работы говорится, что при экспериментальных исследованиях измельчителя применялось рототабельное планирование. Однако не совсем понятен выбор интервалов варьирования факторов и аргументация их предельных значений.

6. Говорится, что рабочие элементы измельчителя в виде фрез изготавливались из быстрорежущей стали P5M5. Непонятно были ли они подвергнуты предварительной закалке или нет и какова твердость зубьев фрез?

7. Чем была вызвана необходимость графического отображения гранулометрического состава резиновой крошки в полулогарифмической

форме, когда обычно применяется более простая методика ситового анализа «по плюсу» или «по минусу»?

8. Для статического расчета ротора в сборе применялся метод конечных элементов, что описано в п.3.5, однако во вводной части диссертации, в том числе и в полученных результатах, об этом ничего не сказано, что несколько преуменьшает полученные достижения от проведенной работы.

9. Дополнительное внедрение в учебный процесс можно было бы также провести для кафедры, связанной с обеспечением экологической безопасности (экологии), т.к. переработка изношенных резиновых изделий напрямую положительно влияет на уровень экологической безопасности.

**Заключение:** диссертация Кравченко Владимира Михайловича на тему «Совершенствование измельчителя вертикального типа для переработки в крошку резинотехнических отходов», представленная на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.21 – «Машины, агрегаты и технологические процессы» является завершенной научно-исследовательской работой, в которой решена актуальная научно-прикладная задача повышения качества переработки резинотехнических отходов в крошку за счет увеличения рабочей зоны и организации стадийности измельчения путем создания вертикального измельчителя для вторичной переработки резинотехнических отходов, обеспечивающего более 70% крошки с размером частиц 1-3 мм в готовом продукте, соответствует паспорту специальности, в частности, требованиям п.1 «Разработка научных и методологических основ, технических и технологических требований к проектированию и созданию новых машин, агрегатов и технологических процессов; п.4 «Исследования параметров машин и агрегатов и их взаимосвязей при комплексной механизации основных и вспомогательных процессов и операций с использованием моделирования, численных и физических экспериментов».

Диссертация полностью соответствует требованиям п.9 - п.14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление

обработки. Кроме того, не обеспечивается желаемое качество измельчения, поскольку в конечном продукте может присутствовать до 25% крошки, размер которой выходит за установленные пределы (более 5 мм или менее 1 мм), что является недопустимым браком.

Наиболее эффективным методом является пользование измельчителя, оснащенного вертикальным ротором, имеющим режущие элементы и регулировочные ножи с переменным числом зубьев, разделенных шайбами, расширяющими рабочую зону. При этом количество режущих ножей определяет число этапов обработки, в то время как число зубьев и толщина регулировочного ножа влияют на интенсивность взаимодействия с обрабатываемым материалом.

Актуальность диссертационной работы обусловлена тем, что улучшение процесса гранулирования резинотехнических отходов достигается путем расширения рабочей площади и внедрения поэтапного измельчения, что обеспечивает получение содержания крошки более 70% фракции 1-3 мм при наличии частиц менее 1 мм не более, чем 10-12%.

**Новизна исследования, полученных выводов, сформулированных в диссертации.** Разработано теоретическое обоснование процессов переработки резинотехнических отходов в крошку в измельчителе вертикального типа.

Предложена математическая модель описания процесса деформации и разрушения резинотехнического материала при воздействии вертикально расположенного рабочего органа с учетом различных физико-механических характеристик материала.

Разработаны аналитические выражения, позволяющие определить энергетические параметры измельчителя для различных физико-механических характеристик материала и конструктивно-технологических параметров ротора.

Выведена теоретическая зависимость производительности от конструктивно технологических и геометрических параметров измельчителя.

Получены уравнения регрессии, определяющие зависимость выходных показателей измельчителя: процентного содержания фракции 1–3 мм в готовом продукте, частиц менее 1 мм в крошке, производительности, а также мощности, затрачиваемой на измельчение, от варьируемых конструктивно-технологических параметров разработанного измельчителя.

**Значимость для науки и практики полученных автором диссертации результатов.** Разработанные математические выражения, позволяющие определить основные конструктивно-технологические параметры измельчителя, а также установлены закономерности из изменения для обеспечения рациональных режимов его работы.

На основе проведенных экспериментальных исследований разработан и запатентован вертикальный измельчитель для резинотехнических отходов, обеспечивающий стадийность измельчения, увеличенную рабочую зону и многократные контакты зубьев ножей с материалом, что позволяет получать более 70% резиновой крошки размером 1-3 мм.

В целях проверки эффективности работы вертикального измельчителя, разработанного для производства резиновой крошки, на предприятии ОАО «Машиностроитель» (с. Ливенка, Белгородская обл.) проведены опытно-промышленные испытания.

Полученные результаты внедрены в образовательный процесс кафедры «Механическое оборудование» БГТУ им. В.Г. Шухова, что непосредственно влияет на подготовку будущих инженеров по направлениям: 15.03.02 – «Технологические машины и комплексы предприятий строительных материалов», 15.04.02 – «Технологические машины и оборудование» и 15.05.01 – «Проектирование технологических машин и комплексов».

Актуальным для промышленного (практического) использования являются:

- математическая модель, описывающая процесс деформации и разрушения резинового материала под воздействием вертикально расположенного рабочего органа, при различных физико-механических характеристиках материала;

- аналитические выражения для определения производительности и энергетических параметров измельчителя вертикального типа при изменении физико-механических характеристик материала и конструктивно-технологических параметров ротора;

- результаты теоретических и экспериментальных исследований, определяющих изменение производительности; мощности, затрачиваемой на измельчения, процентное содержания фракции 1-3 мм в готовом продукте, а также частиц менее 1 мм в крошке в зависимости от конструктивно-технологических параметров разработанного устройства.

- запатентованная конструкция измельчителя вертикального типа для эффективной переработки резиносодержащих отходов.

**Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы.** Потенциальными потребителями проведенных исследований являются предприятия резинотехнической отрасли, имеющие цеха регенерации отходов резинотехнических изделий, специализированные предприятия по переработке изношенных автопокрышек, а также мусороперерабатывающие заводы, занимающиеся утилизацией отслуживших свой срок изделий на основе каучука на территории Донбасса, России, Казахстана, Белоруссии и других стран.

Целесообразно в дальнейшем продолжить исследования для:

- адаптации полученных методов измельчения резины для условий шиномонтажных участков;

- расширения возможностей станций техобслуживания автомобилей для сферы переработки отходов изношенных резинотехнических изделий;

- интеграции разработанных методов в деятельность предприятий, задействованных на выпуске товарной продукции на основе резины с целью переработки и регенерации образующихся отходов.

**Замечания:**

1. Указывается (с. 44), что при измельчении резины рекомендуемая скорость резания составляет 15-25 м/с (900–1500 м/мин) для роторной дробилки, когда из технологии резания мягких металлов известно, что

скорость для их обработки лезвийным инструментом достигает до 320 м/мин (для латуни). Однако не указывается ссылка на источник информации с такими рекомендациями.

2. Иногда в тексте вместо общепринятого термина «частота вращения (об/мин) встречается термин «скорость», выражаемая в об/мин, когда известно, что единица измерения скорости иная (например, м/с).

3. На с. 54 говорится, что «с повышением частоты вращения с  $2,2 \text{ с}^{-1}$  (130 об/мин) до  $4,5 \text{ с}^{-1}$  (270 об/мин), так и с увеличением объема отделяемой частицы  $V_k$  с  $5,2 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3$  (частица 1 мм) до  $6,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3$  (частица 5 мм) максимальная мощность, затрачиваемая на получение крошки размером 1–5 мм, возрастает». При этом не учитывается величина подачи материала на зуб и глубины резания, хотя по логике при небольших подаче и глубине резания энергозатраты должны снизиться, при этом уменьшится и крупность резиновой крошки.

4. В разделе 2.4 при определении производительности измельчителя проводится анализ влияния насыпной плотности измельчаемого материала в том числе и шага шнека питателя. При этом можно было бы рассмотреть аналогичные условия и с учетом использования шнека переменного шага, применительно к особенностям геометрии рабочей камеры машины в зависимости от частоты вращения вала с влиянием эффекта подпрессовки.

5. В тексте работы говорится, что при экспериментальных исследованиях измельчителя применялось рототабельное планирование. Однако не совсем понятен выбор интервалов варьирования факторов и аргументация их предельных значений.

6. Говорится, что рабочие элементы измельчителя в виде фрез изготавливались из быстрорежущей стали P5M5. Непонятно были ли они подвергнуты предварительной закалке или нет и какова твердость зубьев фрез?

7. Чем была вызвана необходимость графического отображения гранулометрического состава резиновой крошки в полулогарифмической

форме, когда обычно применяется более простая методика ситового анализа «по плюсу» или «по минусу»?

8. Для статического расчета ротора в сборе применялся метод конечных элементов, что описано в п.3.5, однако во вводной части диссертации, в том числе и в полученных результатах, об этом ничего не сказано, что несколько преуменьшает полученные достижения от проведенной работы.

9. Дополнительное внедрение в учебный процесс можно было бы также провести для кафедры, связанной с обеспечением экологической безопасности (экологии), т.к. переработка изношенных резиновых изделий напрямую положительно влияет на уровень экологической безопасности.

**Заключение:** диссертация Кравченко Владимира Михайловича на тему «Совершенствование измельчителя вертикального типа для переработки в крошку резинотехнических отходов», представленная на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.21 – «Машины, агрегаты и технологические процессы» является завершенной научно-исследовательской работой, в которой решена актуальная научно-прикладная задача повышения качества переработки резинотехнических отходов в крошку за счет увеличения рабочей зоны и организации стадийности измельчения путем создания вертикального измельчителя для вторичной переработки резинотехнических отходов, обеспечивающего более 70% крошки с размером частиц 1-3 мм в готовом продукте, соответствует паспорту специальности, в частности, требованиям п.1 «Разработка научных и методологических основ, технических и технологических требований к проектированию и созданию новых машин, агрегатов и технологических процессов; п.4 «Исследования параметров машин и агрегатов и их взаимосвязей при комплексной механизации основных и вспомогательных процессов и операций с использованием моделирования, численных и физических экспериментов».

Диссертация полностью соответствует требованиям п.9 - п.14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление

Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, ред. 25.01.2024), предъявляемым к кандидатским диссертациям и содержанию паспорта специальности 2.5.21, а ее автор, Кравченко Владимир Михайлович, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.5.21 – «Машины, агрегаты и технологические процессы».

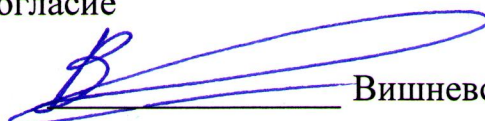
Отзыв обсужден и одобрен на открытом заседании кафедры «Технология и организация машиностроительного производства» ФГБОУ ВО «Донбасский государственный технический университет» 03.06.2026, протокол №12.

Доктор технических наук по специальности 05.02.13 – «Машины, агрегаты, процессы (по отраслям)», профессор, ректор ФГБОУ ВО «ДонГТУ», профессор кафедры «Машины металлургического комплекса»  
тел.: +7 (85742) 2-60-43  
E-mail: [rector@dontu.ru](mailto:rector@dontu.ru)



Вишневский Дмитрий Александрович

На автоматизированную обработку данных в диссертационном совете 24.2.276.03 даю согласие



Вишневский Дмитрий Александрович

Подпись Вишневского Д.А. удостоверяю.  
Начальник ОКид



М.С. Бутковская

Кандидат технических наук по специальности 05.05.11 – «Машины и средства механизации сельскохозяйственного производства», доцент, доцент кафедры «Технология и организация машиностроительного производства» ФГБОУ ВО «ДонГТУ»  
тел.: +7 (85742) 2-59-30  
E-mail: [levchenckoeduard@yandex.com](mailto:levchenckoeduard@yandex.com)



Левченко Эдуард Петрович

На автоматизированную обработку данных в диссертационном совете  
24.2.276.03 даю согласие



Левченко Эдуард Петрович

Подпись Левченко Э.П. удостоверяю.  
Начальник ОКД



М.С. Бутковская

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Донбасский государственный технический  
университет» (ФГБОУ ВО «ДонГТУ»),  
294204, РФ, г. Алчевск, пр-т. Ленина, д. 16,  
тел. +7 (85742) 2-60-43, +7 (85742) 2-68-87  
e-mail: [info@dontu.ru](mailto:info@dontu.ru)  
<https://www.dontu.ru>