

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **Вихарева Сергея Николаевича** на тему **«Повышение эффективности ножевых размалывающих машин в целлюлозно-бумажной промышленности на основе исследования динамики»**, представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.21.03 – «Технология и оборудование химической переработки биомассы дерева; химия древесины»

Диссертация изложена на 326 страницах, включая 120 рисунков и 24 таблицы, библиография содержит 366 наименований, включая 230 наименований российских и 136 наименований зарубежных авторов; состоит из введения; пяти глав, общих выводов и рекомендаций, списка источников, 5 приложений на 14 страницах.

По материалам диссертации опубликована 118 печатных работ, в том числе 3 монографии, 15 статей в рецензируемых изданиях, рекомендуемых ВАК, 21 в изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus. Новые технические решения отражены в 32 патентах и авторских свидетельствах. Результаты исследований докладывались и обсуждались на Всероссийских и Международных научно-технических конференциях.

Актуальность темы диссертационного исследования.

Размол является необходимым, самым важным и энергоемким процессом не только массоподготовки, но и всего производства бумаги и механической массы из щепы. На российских предприятиях бумажной промышленности парк размольного оборудования в значительной степени представлен дисковыми рафинерами. Одним из эффективных путей повышения качества готовой продукции без модернизации технологического потока и, как следствие, без заметного повышения себестоимости продукции, является совершенствование процесса размола за счет разработки и внедрение методов и средств технической диагностики и виброзащиты. Такой подход позволит повысить эффективность работы и безопасность эксплуатации ножевых размалывающих машин. Развитие современной технологии и оборудования для размола волокнистых полуфабрикатов, появление новых модификаций как самих мельниц, так и размалывающей гарнитуры для них, требуют теоретического обоснования конструктивных и технологических параметров размалывающего оборудования, что в свою очередь, приводит к необходимости уточнения моделей, описывающих процессы при контакте ножей гарнитуры с размалываемым волокном.

Целью диссертационной работы автор определил разработку решений для повышения энергоэффективности и надежности ножевых размалывающих машин.

Используя разработанную математическую модель комплексного процесса размола волокна между движущимися ножами и результаты исследования на действующих мельницах, автор теоретическим и практическим путем определил силовые и деформационные параметры ножевой гарнитуры и волокнистой прослойки позволяющими повысить энергоэффективность и безопасность эксплуатации размалывающего оборудования. При этом теоретические и моделирующие исследования подтверждены промышленными испытаниями.

В связи с этим, диссертационная работа Вихарева Сергея Николаевича, направленная на решение научно-технической проблемы в области повышения энергоэффективности технологий, применяемых в химико-лесном комплексе при получении биоразлагаемой продукции с высокой добавленной стоимостью и способной к повторной переработке, является весьма актуальной и интересной, как с теоретической, так и с технологической точки зрения.

Степень обоснованности научных положений, рекомендаций и выводов, сформулированных в диссертации.

Постановка задач исследования и путей их решения сделана автором на основе анализа литературных данных по теории и технологии размола в дисковых мельницах, современному состоянию вопроса о виброзащите, а также проблем, имеющих место при функционировании дисковых мельниц в реальных технологических потоках. Обоснованность результатов и выводов по работе базируется на применении научно-обоснованных теоретических и экспериментальных методов расчета и обработки полученных результатов. Выводы и рекомендаций получены на основании анализа разработанных адекватных математических моделей и большого массива экспериментальных данных с применением современного испытательного оборудования, а также их обработке и аргументации, широким использованием методов математического и компьютерного моделирования и статистической обработки данных.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций.

Достоверность результатов исследования обеспечена использованием апробированных теоретических положений и математических моделей процессов, репрезентативными сериями экспериментов с привлечением аттестованных средств измерения, современных приборов, использованием стандартных и новых методов анализа, использованием апробированных базовых математических моделей и современных методов решения математических задач. Достоверность численных расчетов подтверждается сходимостью с экспериментальными данными и апробацией разработанных методик расчета на действующем оборудовании в производственных условиях. Полученные автором теоретические результаты получили реализацию на нескольких промышленных предприятиях, что подтверждено актами испытаний и внедрения.

Научная новизна диссертационной работы С.Н.Вихарева заключается в том, что впервые представлена разработанная обобщенная математическая модель процессов, происходящих при размолке волокнистых материалов между движущи-

мися ножами размалывающей гарнитуры. Модель имеет комплексный характер и описывает закономерности изменения нагрузок, давлений, скоростей, деформаций, температуры, и, как результаты, параметры вибрационных процессов.

Получены новые научные данные о влиянии параметров размалывающих машин на закономерности протекания вибрационных процессов, происходящих при размоле растительных волокнистых полуфабрикатов. Разработаны динамическая и математическая модели ножей размалывающей гарнитуры и предложена методика расчета ножей для вибрационного проектирования рисунка гарнитуры.

Предложены и научно обоснованы технологические решения и рекомендации по выявлению влияния на вибрацию мельницы технологических и режимных факторов размола. Расширены научные представления об особенностях виброзащиты ножевых размалывающих машин. Разработано научное обоснование нового способа управления функционированием мельниц, повышающего их эффективность.

Значимость для практики выводов и рекомендаций диссертанта.

По результатам исследования процесса взаимодействия ножей гарнитуры и волокна и математическое моделирование процесса, установлены ключевые закономерности протекающих процессов, степень влияния факторов на них и разработать и внедрить способ управления функционированием ножевых размалывающих машин.

Сформулированные автором теоретические положения, являющиеся основой динамических расчетов, необходимы при проектировании, монтаже, эксплуатации и модернизации ножевых размалывающих машин.

Разработанная и апробированная методика динамического расчета ножей гарнитуры позволяет определять резонансные режимы работы гарнитуры.

На основе исследований разработана система рекомендаций, позволяющая обеспечить снижение энергоемкости и повышение надежности мельниц на целлюлозно-бумажных предприятиях. Новые технические решения отражены в 32 патентах и авторских свидетельствах.

Результаты проведенных исследований (экспериментальные данные по вибрационному расчету дисковых мельниц как целого объекта и элементов ножевой гарнитуры) могут быть применены на предприятиях, производящих бумагу и картон для совершенствования технологии в аспекте оптимизации размола и снижения вибрационного воздействия на фундаменты мельниц, междуэтажные перекрытия и другие конструкционные элементы производственных зданий.

Соответствие диссертации и автореферата требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней. Диссертационная работа С.Н.Вихарева направлена на решение научно-технической проблемы, имеющей важное хозяйственное значение для развития целлюлозно-бумажной промышленности. Содержание диссертационной работы соответствует поставленным в ней целям и задачам. Положения, выносимые на защиту, отражены и подтверждены содержанием

диссертации. Автореферат и публикации отражают содержание работы и дают представление о вкладе автора, новизне и значимости результатов.

Личный вклад соискателя в разработку научной проблемы, репрезентативность эмпирического материала. Личное участие автора не вызывает сомнений и заключается в реализации основных идей диссертации, а также в постановке и решении задач теоретического, вычислительного и экспериментального характера. При непосредственном участии автора разработаны аналитические математические модели, определены способы их решения, выполнены инженерные и прочностные расчеты, обработаны результаты и объяснены полученные данные, сформулированы положения научной новизны, практической значимости и общие выводы, которые показали, что для поставленных задач решение найдено. Автору принадлежат основные идеи опубликованных в соавторстве и использованных в диссертации работ.

Оценка содержания диссертационной работы.

Работа построена на принципах внутреннего единства. В диссертационной работе С.Н.Вихарева рассмотрены, теоретически обоснованы, усовершенствованы и предложены новые подходы и методы для описания динамических процессов в ножевых размалывающих машинах. Рассмотрен широкий спектр влияющих параметров. Особое внимание уделяется динамическому расчету ножей размалывающей гарнитуры и динамических нагрузок на ротор, статор и конструктивные элементы мельниц. Положительной чертой работы является то, что четко сформулированы теоретические положения, на основании которых разработана и применена математическая модель всего процесса, включающая в себя ряд взаимосвязанных блоков. Применены современные технологии компьютерного моделирования с применением численных методов решения математических задач. Экспериментальные данные получены с применением нового наукоемкого испытательного оборудования. Важным является практическая реализация рекомендаций для повышения эффективности исследованных процессов в производственных условиях.

В первой главе, являющейся обзором теоретических и экспериментальных исследований, автор описывает и анализирует современное состояние вопроса о в области исследования процесса размола волокнистых материалов и динамике ножевых размалывающих машин. Показано, что исследование процесса размола в настоящее время ведется в двух направлениях: технологическом, связанном с изучением структуры волокон при размоле, и механическом, связанном с определением влияния различных факторов на работу ножевых размалывающих машин.

Отмечается, что в настоящее время активно развивается теория контактного взаимодействия тел, объясняющая основные процессы при взаимодействии ножевой гарнитуры с волокном. На основании изучения состояния проблемы определена цель и сформулированы задачи исследований.

Вторая глава диссертации посвящена исследованию и анализу динамики ножевых размалывающих машин и их элементов. В главе описаны и систематизированы динамические силы, возбуждающие колебания мельниц; динамические и

математические модели мельниц совместно с поддерживающей конструкцией; модель волокнистого материала между ротором и статором при размоле; динамическая и математическая модели мельницы и её элементов. Получено условие стабильности межножевого зазора. Для выполнения условия стабильности межножевого зазора автор рекомендует устранить радиальные зазоры в подшипниковых узлах, т.е. применять подшипники с предварительным натягом.

Третья глава диссертации посвящена исследованию процессов, происходящих в межножевом зазоре работающих мельниц. Сделана попытка описать процессы в межножевом зазоре при помощи теории контактного взаимодействия тел. Получена математическая модель, описывающая контактное давление и контактные силы между ножами гарнитуры. Произведен анализ полученных моделей применительно к размолу волокнистых полуфабрикатов в ножевых размалывающих машинах. Также рассмотрены прикладные контактные задачи с учетом тепловыделения и износа гарнитуры. Рассчитаны температурные напряжения в материале гарнитуры. Исследованы силы, действующие на волокнистый материал в межножевом зазоре. Получено условие движения пара в межножевом зазоре. Описаны факторы, обуславливающие величину коэффициента трения при размоле между ротором и статором. Даны рекомендации по снижению энергоемкости ножевых размалывающих машин.

Получена и исследована математическая модель, описывающая осевую силу, действующую на ротор ножевых размалывающих машин. Исследованы гидродинамические процессы в канавках гарнитуры ротора и статора помощи пакета компьютерных программ Ansys Fluent. В работе установлены закономерности возникновения вибрации, вызванной гидродинамическими силами в ножевых размалывающих машинах.

В четвертой главе диссертации рассмотрены особенности виброзащиты ножевых размалывающих машин. По результатам исследований неуравновешенности ротора мельницы, разработана методика её расчета.

Разработана модель автоматического балансировочного устройства ротора мельницы. На основании проведенных исследований разработаны методики расчета и конструкции автобалансирующих устройств.

Разработаны и апробированы методики динамического расчета элементов ножевых размалывающих машин.

В пятой главе представлены данные по технической диагностике, которая состоит из диагностики структурных параметров технического состояния и диагностики функционирования мельниц. Исследована диагностическая модель, которая связывает параметры вибрации статора мельницы с факторами, влияющих на ход размола. Разработаны и определены критерии оценки вибрационного состояния ножевых размалывающих машин. Выявлено влияние на амплитуду гарнитурной вибрации технологических и режимных факторов размола. Разработаны и представлены методы технической диагностики технического состояния гарнитуры. Автор сделал вывод о возможности управления функционированием мельниц

по амплитуде высокочастотной гарнитурной вибрации. Разработанный способ управления внедрен в производство.

В конечном итоге решена задача управления мельницей по параметрам вибрации, потребовавшая создание адекватной математической модели, алгоритма ее решения, программного и аппаратного обеспечения.

В приложении представлены акты рекомендаций по снижению вибрации, и повышению эффективности эксплуатации размалывающего оборудования на ОАО «Соликамскбумпром», акт внедрения рекомендаций на АОр «Туринский ЦБЗ», расчет ожидаемого экономического эффекта, методика и результаты исследований параметров вибрации и факторов размола, технический ресурс гарнитуры на предприятиях отрасли.

По диссертационной работе С.Н. Вихарева имеются следующие **замечания**:

1) Задача повышения эффективности размалывающих машин автором решена (и успешно решена), главным образом, в механически-конструкционном направлении. Внимания к эффективности работы размалывающего оборудования в технологическом аспекте, связанном с изменением структуры и бумагообразующих свойств волокон при размоле, уделено значительно меньше. Как следствие, не дано ответа на ключевой вопрос по оптимальным условиям и параметрам размола различных волокнистых полуфабрикатов. Какие условия обеспечивают наибольшую эффективность размола у хвойных и лиственных, беленых и небеленых волокон, с высоким и низким содержанием лигнина и т.д. Какие автор может предложить количественные характеристики эффективности размола?

2) На стр. 172 диссертации автор приводит утверждение «... В зоне размола целесообразно использовать вместо трения скольжения трение качения». Данное утверждение требует пояснения, поскольку автор ограничился только ссылками на два своих патента на полезную модель. Целесообразность состоит в снижении расхода энергии на вращение ротора при размоле, или в повышении бумагообразующих свойств полуфабрикатов? Что в этом случае можно сказать о внешней и внутренней фибрилляции?

3) При постановке задач исследований автор многократно применяет термин «исследовать». По моему мнению, формулировки требуют уточнения, поскольку задача просто исследовать должна иметь какую-то цель, например, получение математического описания или установление закономерностей.

4) Автором не сформулированы итоговые четкие выводы. Раздел «Общие выводы и рекомендации» занимает 5 страниц в диссертации и 3,5 страницы в автореферате.

5) В обзоре литературы, и в тексте автореферата автор указывает, «...В последнее время диапазон применения мельниц существенно расширился благодаря использованию в линиях производства древесной массы из щепы». Производство механической массы из щепы реализуется уже давно, начиная с 1960-х годов, и «последним временем» эти сроки назвать нельзя.

Закключение

Диссертационная работа Вихарева С.Н. является законченной научно-квалификационной работой, обладает научной новизной, имеет важное научно-технологическое значение и содержит новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие целлюлозно-бумажной промышленности.

Перечисленные замечания не снижают научной и практической ценности работы. Представленная к защите работа соответствует требованиям п. 9 действующего «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым ВАК к докторским диссертациям, а ее автор Вихарев Сергей Николаевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.21.03 – «Технология и оборудование химической переработки биомассы дерева; химия древесины».

Официальный оппонент,
заведующий кафедрой
целлюлозно-бумажных и
лесохимических производств
ФГАОУ ВО «Северный (Арктический)
федеральный университет имени М.В. Ломоносова»,
доктор технических наук, профессор

Я.В. Казаков

Информация об оппоненте

Казаков Яков Владимирович,

Почтовый адрес 163002, г. Архангельск, Набережная Северной Двины, 17

Тел. (8182) 21 61 82; моб. тел. +7 911 564 90 41

E-mail: j.kazakov@narfu.ru

Адрес официального сайта в сети «Интернет» <http://www.narfu.ru>

ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»

доктор технических наук (специальность – 05.21.03), ученое звание – профессор,
должность – заведующий кафедрой целлюлозно-бумажных и лесохимических производств

01 марта 2021 г.

