

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора, заместителя директора по научной работе высшей школы технологии и энергетики ФГБОУ ВО Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна **Курова Виктора Сергеевича** на диссертационную работу 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

Актуальность темы

Процесс размола определяет основные свойства бумаги и картона. В последнее время диапазон применения мельниц существенно расширился благодаря использованию в линиях производства древесной массы, ТММ, ХТММ. Ножевые размалывающие машины являются наиболее универсальным оборудованием размола.

Процесс размола в целлюлозно-бумажном производстве является очень энергоемким. Поэтому снижение энергоемкости процесса размола это важная проблема для отрасли.

Мельницы относятся к машинам с повышенной динамичностью, являются источником интенсивных колебаний поддерживающих конструкций, на которые они установлены. Одним из путей совершенствования эксплуатации ножевых размалывающих машин является разработка и внедрение методов и средств виброзащиты и технической диагностики мельниц. Разработка методов и средств технической диагностики и виброзащиты мельниц с целью повышения эффективности работы и безопасной эксплуатации является актуальной задачей.

Степень научной новизны и научных положений, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

Автор применил классическую теорию контактного взаимодействия тел к процессу размола волокнистых полуфабрикатов. Им обосновано и экспериментально подтверждено контактное взаимодействие ножей ротора и статора при размоле волокнистых полуфабрикатов. Контактное взаимодействие ножей при размоле рассмотрено с учетом тепловыделения и износа гарнитуры.

На основе проведенных исследований предложен способ управления ножевых размалывающих машин, основанный на анализе высокочастотной вибрации статора. Предлагаемый способ не менее эффективен, чем ранее известные способы управления функционированием ножевых размалывающих машин.

Автор предложил методы и средства технической диагностики состояния гарнитуры.

Предлагаемая автором теория контактного взаимодействия при размоле, способ управления ножевых размалывающих машин и методы технической диагностики состояния гарнитуры, выносимые на защиту, являются принципиально новыми.

Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Основные выводы и рекомендации, сформулированные автором в диссертации, базируются на большом экспериментальном материале. Основная часть выводов и рекомендаций подтверждена патентами и внедрена в производство.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций основывается на применении современных методов исследования, включая компьютерное моделирование.

Обоснованность и достоверность выводов результатов подтверждается также апробацией и признанием результатов работы на конференциях различного уровня в течении 30 лет.

Научная и практическая значимость результатов и научных положений диссертации

– Научная значимость исследований состоит в разработке теории контактного взаимодействия ножей при размоле волокнистых материалов, которая описывает динамические процессы в ножевых размалывающих машинах. Разработаны динамические и математические модели мельниц и способ управления их функционированием.

– Практическая значимость исследований заключается в применении теоретических основ динамических расчетов при проектировании, монтаже, эксплуатации и модернизации ножевых размалывающих машин. На основе исследований разработаны рекомендации, позволяющие обеспечить снижение энергоемкости и повышение надежности мельниц на целлюлозно-бумажных предприятиях. На основе разработанных рекомендаций проведена оптимизация работы размалывающего оборудования на АО «Соликамскбумпром», ООО «Окуловская бумажная фабрика», АОр «Туринский ЦБЗ», ООО «Сухонский КБК», ОАО «Уралворм» и других. Результаты исследований внедрены на целлюлозно-бумажных предприятиях, а также в учебный процесс. Предлагаемый способ управления функционированием мельниц внедрен в производство. Новые технические решения отражены в 32 патентах и авторских свидетельствах.

Анализ содержания и оформления работы

Представленная на отзыв диссертация изложена на 326 страницах машинописного текста, включая список литературы. Диссертация состоит из введения, 5 разделов, общих выводов и рекомендаций, библиографического списка, включающего 366 наименований.

Работа написана на высоком научно-техническом уровне, доступным языком и оформлена в соответствии с требованиями ВАК. Содержание и последовательность разделов логичны и достаточны для понимания целей и задач, поставленных автором для решения вопросов по динамике ножевых размалывающих машин.

В первой главе диссертации дан анализ состояния изучаемого вопроса на основании обзора отечественных и зарубежных источников. Автор провел анализ

работ по исследованию процесса размола волокнистых материалов и динамике ножевых размалывающих машин. Исследование процесса размола 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. Теории, описывающие силовое воздействие гарнитуры на волокнистый материал, носят полуэмпирический характер и не дают четкого представления о процессах, происходящих при силовом контактном взаимодействии ножей. В настоящее время развивается классическая теория контактного взаимодействия тел.

Существующие в литературе единичные сведения по динамике мельниц и их элементов носят частный характер и не позволяют обоснованно и комплексно подходить к решению проблем виброзащиты и технической диагностики. Не разработаны методы и средства технической диагностики ножевых размалывающих машин. Известен лишь вибрационный контроль металлического контакта гарнитуры ротора и статора. На основании изучения состояния проблемы определена цель и сформулированы задачи исследований.

Вторая глава работы посвящена динамике ножевых размалывающих машин и их элементов, которая включает разработку и исследование:

- динамических сил, возбуждающих колебания мельниц;
 - динамической и математической модели мельниц совместно с поддерживающей конструкцией;
 - модели волокнистого материала между ротором и статором при размоле;
 - динамической и математической модели мельницы в продольном направлении.
- Получено условие стабильности межножевого зазора;
- динамической и математической модели колебаний ротора мельниц в подшипниковых опорах. Для выполнения условия стабильности межножевого зазора автор рекомендует устранить радиальные зазоры в подшипниковых узлах, т.е. применять подшипники с предварительным натягом;
 - динамической и математической модели ножей гарнитуры аналитически и при помощи метода конечных элементов.

Третья глава посвящена исследованию процессов в межножевом зазоре мельниц.

Описаны процессы в межножевом зазоре при помощи классической 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 рассмотрена прикладная контактная задача 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.

Исследован коэффициент трения между ротором и статором. Даны рекомендации по снижению энергоемкости ножевых размалывающих машин.

Получена и исследована математическая модель осевой силы при равномерном и неравномерном распределении давления между ротором и статором.

Исследована гидродинамика потоков в канавках гарнитуры ротора и статора при

помощи пакета компьютерных программ Ansys fluent.

В работе исследована вибрация, вызванная гидродинамическими силами в ножевых размалывающих машинах.

В четвертой главе диссертации рассмотрены особенности виброзащиты ножевых размалывающих машин.

Суммарная неуравновешенность ротора мельницы состоит из механической, гидравлической и гидродинамической составляющих. В работе разработана методика расчета этих составляющих неуравновешенности.

Разработаны динамическая и математическая модели пассивного автобалансирующего устройства ротора мельницы. На основании проведенных исследований разработаны методики расчета и конструкции активных и пассивных автобалансирующих устройств.

Разработаны и апробированы методики динамического расчета элементов ножевых размалывающих машин (ротора, статора и ножей).

Пятая глава диссертации посвящена технической диагностике, которая состоит из диагностики структурных параметров технического состояния и диагностики функционирования мельниц.

Автором получена 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 методы технической диагностики технического состояния гарнитуры. Сделан вывод, что оценивая амплитуду высокочастотной гарнитурной вибрации, можно управлять функционированием мельниц.

Разработанный способ управления функционированием ножевых размалывающих машин реализован при помощи стационарной системы автоматического управления работой мельницы.

Замечания по работе:

1. Название диссертации недостаточно отражает содержание работы. Повышение эффективности работы ножевых размалывающих машин связано с повышением эффективности размола, которая определяется изменением степени помола, увеличением фибрилляции с сохранением средневзвешенной длины волокна, снижением количества мелких фрагментов волокон. Для оценки эффективности размола бумажной массы необходимо контролировать механические показатели готовой продукции, которые при достижении требуемой степени фибрилляции волокон без образования большого количества мелких фрагментов резко повышаются. Область повышения механических свойств бумаги и картона соответствует эффективному размолу. Для разных видов волокнистых полуфабрикатов она разная и определяется экспериментально. Эту часть работы автор в своей диссертации не привёл. Механические свойства бумаги и картона в работе не приводятся. Задачи направлены на изучение вибрационных процессов, которые с практической точки зрения

интересны для повышения надёжности работы размалывающих машин (срок службы подшипников, размольной гарнитуры). Предпочтительнее было бы название: «Повышение надёжности размалывающих машин...».

2. Литературный обзор основан большей частью на анализе источников информации, которые были известны по работам ведущих ученых в области размола и динамической активности ножевых размалывающих машин. В тоже время исследования современных научных групп – зарубежных производителей мельниц, таких как Андритс, Фойт, Валмет, представлены недостаточно.

3. В оценке актуальности работы автор указал, что на процесс размола в ЦБП расходуется более пятидесяти процентов энергии, потребляемой для производства бумаги и картона (стр.5 диссертации). С этим согласиться сложно, так как это не всегда так. Например, при производстве бумаги и картона из макулатуры энергозатраты на размол в мельницах не превышают 30 % от энергии, затрачиваемой только на массоподготовку. Кроме подготовки массы есть ещё бумагоделательная машина, которая также потребляет достаточно энергии. По данным предприятий ориентировочно примерное соотношение для производства бумаги из макулатуры таково: 80-120 кВт/т на размол, а на производство бумаги и картона от 0,8 до 1,2 МВт/т.

4. Соискатель в своей работе представил большое количество теоретических зависимостей, что является несомненным достоинством, так как демонстрируется глубокая фундаментальная проработка объекта исследования. Однако громоздкость зависимостей затрудняет их практическое применение. Автор ссылается на программы, с помощью которых осуществляется расчёт по теоретическим зависимостям. Следовало бы привести методику работы с программой, которая позволяет вводить широкий ряд параметров мельниц (диаметр ротора, частоту вращения, рисунок гарнитуры), параметры среды (природа, вязкость, плотность, допустимая степень помола, морфологические характеристики на выходе и т.д.), что повысило бы практическую значимость работы. Не хватает «принтскринов» диалоговых окон программ с пояснениями, которые показывали бы куда и что вводить для проводимых расчетов.

5. Автор исследует гидродинамику в канавках гарнитуры. Такие исследования достаточно подробно были поведены проф. Ю.Д. Алашкевичем. Следовало бы акцентировать внимание, что нового внес соискатель, и в чем принципиальное отличие от работы проф. Ю.Д. Алашкевича.

6. В пункте 3.2.3 приводится контактная задача при размоле волокнистых материалов с учётом тепловыделения. Тепловые расчёты правильнее было бы разделить на две части. Выполнить отдельно тепловые расчёты при размоле щепы и при размоле целлюлозы или макулатуры. В первом случае тепло в мельницу подводится со средой (с пропаренным волокнистым материалом), а во втором волокнистая суспензия может отводить тепло от ножей ротора и статора, так как её температура на входе равна температуре окружающей среды. В обоих случаях имеем дело с потоками в несколько тонн в час, поэтому при тепловых расчётах следует использовать также конвективную составляющую. Автор же основывается на передаче тепла теплопроводностью, судя по коэффициентам теплопроводности. В расчётах следовало использовать также коэффициенты теплоотдачи (влияние конвективной составляющей, которая учитывает и гидродинамику потока). В расчёте не учитывается коэффициент

температуропроводности, который показывает, насколько быстро материал способен отдавать или принимать тепло.

7. Известно, что практически все технологические показатели мельницы (энергоёмкость и эффективность размола, производительность и стоимость мельницы, надёжность и др.) в большей степени зависят от диаметра размольной гарнитуры. Автор использует различные диаметры ротора для размола щепы, макулатуры, целлюлозы (табл.2.6). Следовало бы подробнее отнестись к этому показателю и определить влияние диаметра гарнитуры в широком диапазоне типоразмеров при определённом виде сырья. Например, установить изменение уровня вибрации мельницы при различных диаметрах с целлюлозой, с макулатурой. В таблице 2.6 приводится 14 разных видов мельниц. Некоторые из них с одинаковым диаметром (3 мельницы с диаметром 1000 мм, 3 мельницы с диаметром 800 мм и т.д.). Указанные мельницы работают с разными средами (размол щепы, целлюлозы или макулатуры). Таким образом, в работе нет экспериментально полученных данных, которые бы подтвердили справедливость разработанных зависимостей в широком диапазоне диаметров ротора мельницы, работающей с определенной средой.

8. В первом пункте общих выводов автор пишет, что предел текучести волокнистого материала зависит от следующих факторов (перечислены в порядке значимости): вид полуфабриката, степень помола и средняя длина волокна, концентрация и расход волокнистого материала. Не могу согласиться с этим, так как считаю, что предел текучести зависит в большей степени от концентрации и вида волокнистого материала. Для этого достаточно было проанализировать многочисленные реологические характеристики, представленные в работах проф. О.А. Терентьева и его учеников.

9. В списке печатных работ, рекомендованных ВАК для опубликования результатов исследований по специальности 05.21.03, включен ряд работ, являющихся «ваковскими», но не по специальности по которой защищается работа. Автору стоило обратить на это внимание, тем более, что требуемых работ более чем достаточно. Не ясно почему в список работ, рекомендованных ВАК, включен только один патент (поз.29 автореферата). Поз.37 автореферата приведена кандидатская диссертация автора, которая не может быть печатным трудом, хотя автор ссылается (стр.6 автореферата) на 118 печатных работ, включая ее.

Заключение

В целом структура работы отражает логическую связь глав диссертации, имеет внутреннее единство, ее оформление соответствует требованиям ВАК.

Диссертация Вихарева С.Н. обладает новизной и вносит весомый вклад в повышение эффективности ножевых размалывающих машин. Указанные замечания не снижают общей высокой оценки работы.

На основании изложенного выше считаю, что диссертационная работа Вихарева С.Н. является самостоятельной, законченной научно-исследовательской работой, в которой с достаточной глубиной обоснованы результаты выполненных теоретических и экспериментальных исследований.

В работе решена актуальная научно-техническая проблема повышения эффективности ножевых размалывающих машин.

