

Программная реализация концепции ПОС, базирующейся на применении такого ИТ-инструмента как ЭП позволит существенно повысить качество и сократить затраты времени на выполнение организационно-технологических процедур ТОиР. Это обеспечит повышение надёжности действующего оборудования, а, значит, и рентабельности целлюлозно-бумажных производств в целом.

## Список литературы

1. Александров А.В., Гаузе А.А., Гончаров В.Н. оборудование ЦБП. Часть I. основное оборудование для производства целлюлозы / СПбГТУРП. – СПб.: 20104. – 90 с.
2. Оборудование целлюлозно-бумажного производства. В 2-х томах. Т. 1. Оборудование для производства волокнистых полуфабрикатов / В.А. Чичаев, А.А. Васильев, И.А. Васильев и др. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 368 с.
3. Оборудование целлюлозно-бумажного производства. В 2-х томах. Т. 2. Бумагоделательные машины / В.А. Чичаев, М.Л. Глезин, В.А. Екимова и др. – М., Лесная промышленность, 1981. – 264 с.
4. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. Введ. 01.01.1980. М.: Стандартиформ, 2007. – 12 с.
5. Мошев Е.Р. Информационно-эвристическо-вычислительные модели и алгоритмы принятия решений по интегрированной логистической поддержке трубопроводных систем нефтехимических предприятий: дис. ... докт. техн. наук. М., 2015. – 468 с.
6. ГОСТ Р 53394–2009. Интегрированная логистическая поддержка. Основные термины и определения. Введ. 14.09.09. М.: Стандартиформ, 2010. – 23 с.
7. Егоров А. Ф., Савицкая Т. В. Управление безопасностью химических производств на основе новых информационных технологий. М.: Химия, КолосС, 2004. – 416 с.
8. Мешалкин В.П., Дли М.И. Логистика и управление конкурентоспособностью предприятий нефтехимического комплекса. М.: Химия. 2010. – 452 с.
9. Мешалкин В.П. Логистика и электронная экономика в условиях пере-хода к устойчивому развитию. Москва-Генуя: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2004. – 573 с.
10. Мешалкин В. П., Мошев Е. Р. Режимы функционирования автоматизированной системы «Трубопровод» при интегрированной логистической поддержке трубопроводов и сосудов промышленных предприятий // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2014. – №1. – С. 64-73
11. ГОСТ Р 52292-2004. Информационная технология. Электронный обмен информацией. Термины и определения. Введ. 29.12.2004. М.: ИПК Издательство стандартов, 2005. – 15 с.
12. ГОСТ 2.052-2006. Электронная модель изделия. Общие положения. Введ. 31.08.2006. М.: Стандартиформ, 2007. – 12 с.

---

УДК 676.056.5

## ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МАССОПОДВОДЯЩИХ СИСТЕМАХ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН

**Исаков Сергей Николаевич,**

**канд. техн. наук, доцент,**

**ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,**

**г. Екатеринбург, E-mail: Sergeyisako@ya.ru**

*Ключевые слова:* бумажная масса, пульсация давления, качество бумаги.

**Аннотация.** *Динамические процессы в массоподводящей системе влияют на качество бумаги при отливе её на бумагоделательной машине. Представлен обзор работ по моделированию некоторого технологического оборудования.*

## HYDRODYNAMIC PROCESSES IN PAPER PULP SYSTEMS OF PAPER MACHINES

**Isakov Sergey Nikolaevich,**  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor  
Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, E-mail: [Sergeyisako@ya.ru](mailto:Sergeyisako@ya.ru)

**Key words:** *paper weight, pressure pulsation, paper quality.*

**Abstract.** *Dynamic processes in the mass transfer system affect the quality of paper when casting it on the paper machine. The review of works on modeling of some technological equipment is presented.*

Качество бумажной продукции закладывается на всех этапах производства бумаги: древесно-подготовительного, варочного, древесно-массного и бумагоделательного производств.

Качество бумаги определяется качественными показателями и их равномерностью: массы  $1 \text{ м}^2$ , толщины, влажности, разрывной длины, воздухопроницаемости и др. Существует множество факторов, которые влияют на эти показатели: постоянство концентрации и композиции бумажной массы, неравномерный отлив бумажной массы, пульсация давления вакуума на сеточном столе и прессовой части и др.

Большое влияние на качество бумажного полотна имеет массоподводящая система (МПС), установленная перед бумагоделательной машиной, которая облагораживает и подводит бумажную массу к напорному ящику. Основные функции МПС заключается в следующем: регулирование концентрации и композиции бумажной массы; деаэрация бумажной массы; удаление из бумажной массы загрязнений и узелков; минимизация колебаний давления (пульсаций) в потоке массы; подача стабильной дисперсии массы в напорный ящик; регулирование подачи массы при изменении производительности бумагоделательной машины и др. Для обеспечения этих функций в МПС предусмотрены следующие отделы: смешивания и нагнетания, деаэрации, очистки, сортирования и гашения пульсаций. В зависимости от типа вырабатываемой продукции и объемов производства МПС могут отличаться расположением оборудования и размерами, а также объединения функций отделов в одном оборудовании. Если при производстве бумаги некоторые её свойства неважны, то из технологии могут исключаться некоторые технологические стадии, отвечающие за эти свойства.

Структуру рассмотрим на примере МПС АО «Соликамскбумпром» (рис. 1).

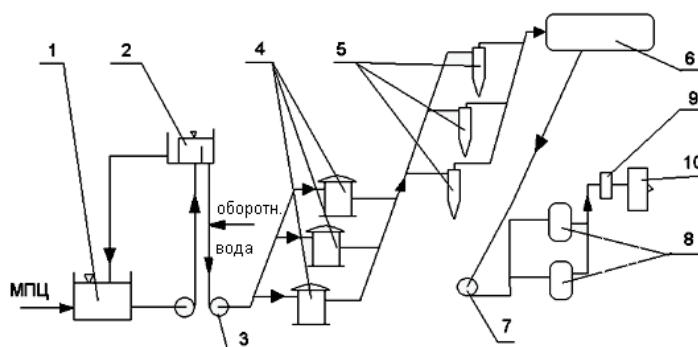


Рис. 1. Схема массоподводящей системы бумагоделательной машины №3 АО «Соликамскбумпром»

Бумажная масса из машинного бассейна 1 подается в бак постоянного уровня 2, из которого перекачивается насосом 3 (марка Z-X 70 V-2) первой ступени очистки в узлоловители 4 (типа УЗ-13). Далее масса поступает в деаэрационный бак 6, через установку вихревой очистки 5 *Твинклинер* 132. Деаэрированная масса транспортируется смесительным насосом 7 (марка Z22-700/700-65 ABS) через напорные сортировки 8 (типа *Центрискрин* 145), гаситель пульсаций 9 в напорный ящик 10.

Функции смешивания и нагнетания выполняют массные и смесительные насосы. Деаэрационный бак удаляет воздух из бумажной массы. Очистка бумажной массы от «тяжелого» мусора, плотность которого больше её плотности, производится на вихревых очистителях. Для перекачки, нагнетания и смешивания с оборотной водой используются смесительные и массные насосы. Для удаления узелков и мусора, плотность которого близка к плотности бумажной массы, установлены машинные сортировки.

Для обеспечения определенного качества бумаги требуется обеспечить равномерный отлив бумажной массы на сеточный стол из напорного ящика. Равномерность скорости струи, истекающей из напорного ящика, зависит от постоянства давления на входе, т.е. минимизации пульсации давления бумажной массы на входе в напорный ящик.

Пульсация давления возникает при работе технологического оборудования: массных и смесительных насосов, сортировок с гидродинамическими лопастями, системы автоматического регулирования массоподводящей системы. При плохом техническом состоянии оборудования пульсации резко возрастают. Но источником пульсаций может быть трубопроводная система в целом, так и отрезки трубопроводов. Причины возникновения пульсации давления могут быть связаны с изменением режима течения жидкости из-за особенностей расположения труб (резкое изменение направления течения жидкости, наличие воздушных «карманов»), погрешностями монтажа и сборки (местные сопротивления: нецентрированная стыковка труб, необработанный шов и другие поверхности), запорной арматуры и т.д.

**Гидродинамические процессы в элементах трубопровода.** Все трубопроводы имеют пространственную схему с поворотами во всех трех измерениях, переходами с одного производственного этажа на другой. Диаметры трубопроводов на различных участках МПС отличаются, что обуславливается необходимостью поддержания определенных скоростей движения бумажной массы. Для регулирования скоростей подачи массы применяются регулирующие устройства (клапаны, задвижки, краны).

При регулировании расхода с помощью задвижек возможны образования турбулентных течений. На рис. 2 представлены поля распределения давлений скоростей при 25% закрытия задвижки. Но при закрытии её на 75 % за задвижкой образуется мощное завихрение (рис. 3).



Рис. 2. Поля распределения скоростей при 25% перекрытии

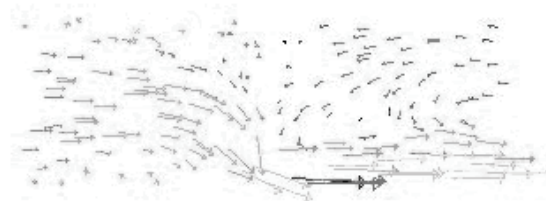


Рис. 3. Векторное распределения скоростей при 75% перекрытии

При использовании шаровых кранов для регулирования картина распределения скоростей представлена на рис. 4 для закрытия на 25% и на рис. 5 для закрытия 75%.

Также при увеличении угла закрытия, как в самом шаровом кране, так и за ним, возникают турбулентные области. В современных системах регулирование подачи осуществляется регулированием частоты вращения насоса.

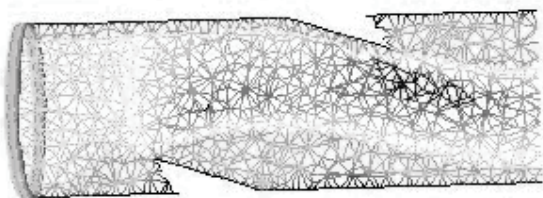


Рис. 4. Поле распределения скоростей в жидкости шарового крана при 25% закрытии



Рис. 5. Векторное представление скоростей элементарных объёмов жидкости

**Гидродинамические процессы в насосах.** Принцип работы центробежных насосов заключается во взаимодействии жидкости с лопастями рабочего колеса. При вращении крыльчатки жидкость в межлопастном пространстве отбрасывается на больший радиус и замещается жидкостью из всасывающей трубы из-за созданного пониженного давления в центральной части. Центробежные лопастные насосы являются источником пульсации, так как воздействие на перекачиваемую среду дискретно. Современные конструкции насосов минимизируют пульсацию путем шахматного расположения наклонных лопастей и полировкой лопастей и другими техническими решениями. Гидродинамика насосов хорошо изучена и представлена соответствующей литературе.

**Гидродинамические процессы в машинных сортировках.** Масса поступает под напором тангенциально внутрь ситового барабана и проходит через отверстия сита. Из аппарата выходит отсортированная масса и отходы. Вращающийся ротор имеет гидродинамические лопасти. Лопасти создают области с повышенным и пониженным давлением. Ниже представлены поле распределения давления (рис. 6) и векторное поле скоростей (рис. 7) в около лопастной области. Они являются источниками пульсации.

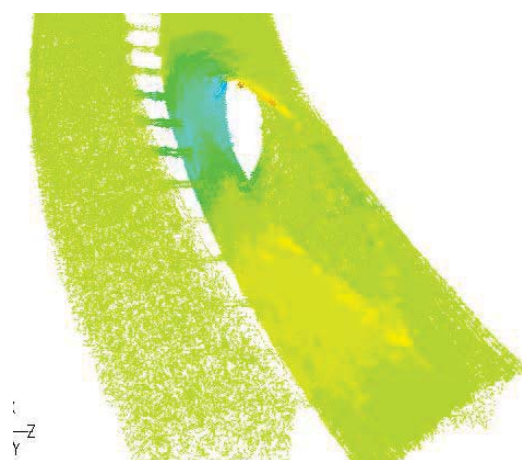


Рис. 6. Распределение давления в около лопастной области

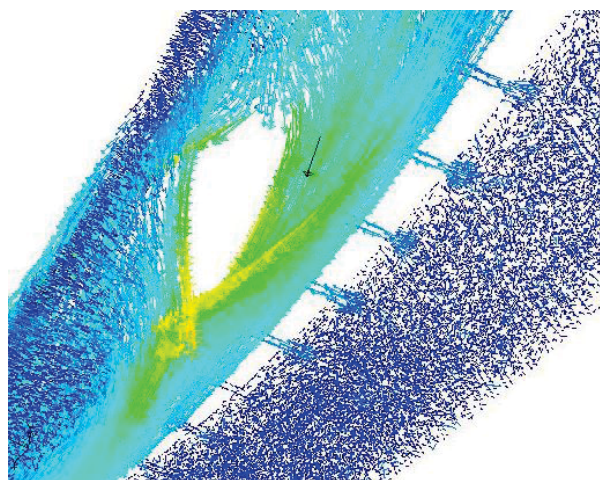


Рис. 7. Векторное распределение скоростей вокруг лопасти

Один из вариантов конструкции для понижения пульсационного воздействия – винтовые лопасти машинных сортировок [1]. А также создаются новые варианты конструкций сит [2].

Одна из причин повышенной пульсации сортировки это неравномерный зазор между лопастями и ситом сортировки. На величину зазора влияют некачественная сборка, колебания ротора, нецилиндричность и несоосность сита и ротора и т.д. Основная причина колебаний роторов - это остаточная неуравновешенность. Модель ротора представлена на рис. 8. Траектории (формы) колебаний, вызванные дисбалансом, зависят от положения ротора в



пространстве и имеют эллипсовидные траектории вращения, причем эллипс несимметричный (рис. 9). Смещение идет в обратную сторону от действия силы натяжения ремней.

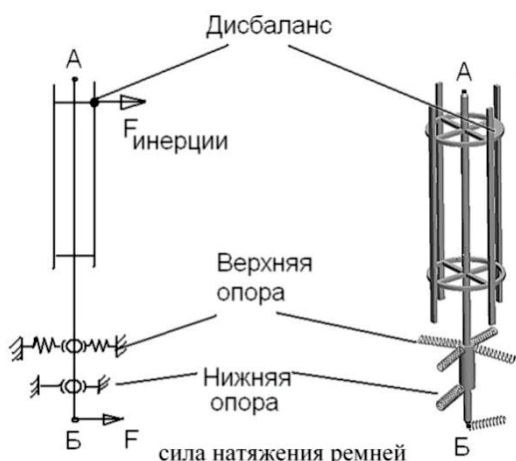


Рис. 8. Динамическая и компьютерная модель ротора

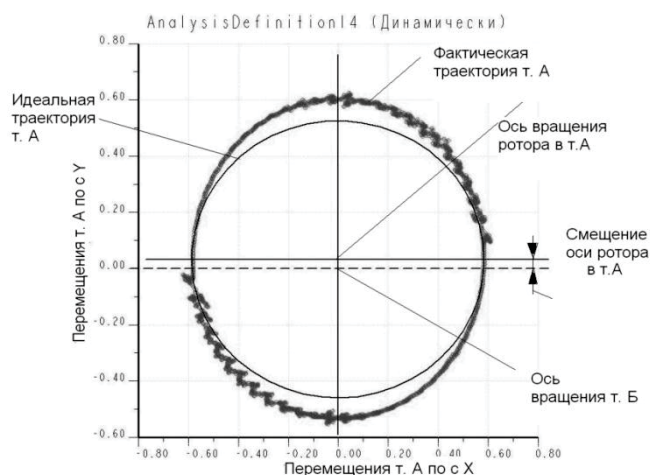


Рис. 9. Траектория ротора движения точек А и Б

**Гидродинамические процессы в вихревых очистителях.** Для тонкой очистки бумажной массы в массоподводящей системе используются блоки вихревых очистителей (ВО), которые представляют собой гидросортировки, работающие по следующему принципу. На «инородные частицы» в бумажной массе и элементарные объёмы волокнистой суспензии (волокна и жидкость) действуют силы инерции, тяжести и трения. Под действием сил инерции частицы включений с плотностью большей плотности волокна двигаются по наибольшему радиусу, а с плотностью меньшей плотности волокна, по минимальному радиусу. Под действием силы тяжести и архимедовой силы тяжелые включения опускаются вниз по винтовой линии, а легкие включения - вверх и уходят с восходящим потоком.

Силы инерции вращающегося потока, действующие на корпус циклона, оказываются несбалансированными по ряду причин (отклонение от окружности сечений циклона, трение и турбулентные воздействия на стенки цилиндра, косые удары потока волокнистой суспензии, поступающей по трубе о стенки ВО, гидродинамическая неуравновешенность системы жидкость – корпус ВО), т.е. гидродинамические воздействия являются следствием вращения волокнистой суспензии в ВО. При этом формируется широкополосная случайная нагрузка, действующая на корпус ВО. Поэтому возможно сделать вывод, что гидродинамические воздействия на корпус ВО вызывает вибрацию ВО и их поддерживающих конструкций.

Эффект несбалансированности хорошо видно при сравнении вихревых очистителей с одним входным патрубком (рис. 10) и с тремя (рис. 11) [4].

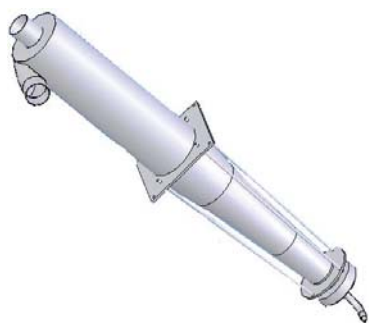


Рис. 10. Модель вихревого очистителя в стремя водными патрубками



Рис. 11. Модель вихревого очистителя в стремя водными патрубками

Несбалансированность выражается в несовпадении центра вращения бумажной массы в вихревом очистителе и оси его корпуса, которое хорошо видно на рис. 12, при трехстороннем подводе бумажной массы гидравлически очиститель более сбалансирован.

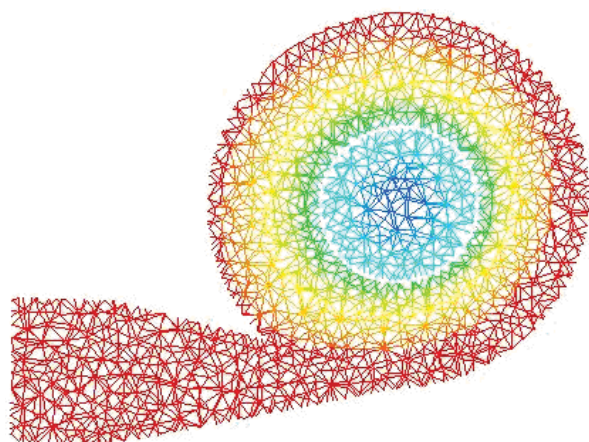


Рис. 12. Поперечное сечение вихревого очистителя по входному патрубку

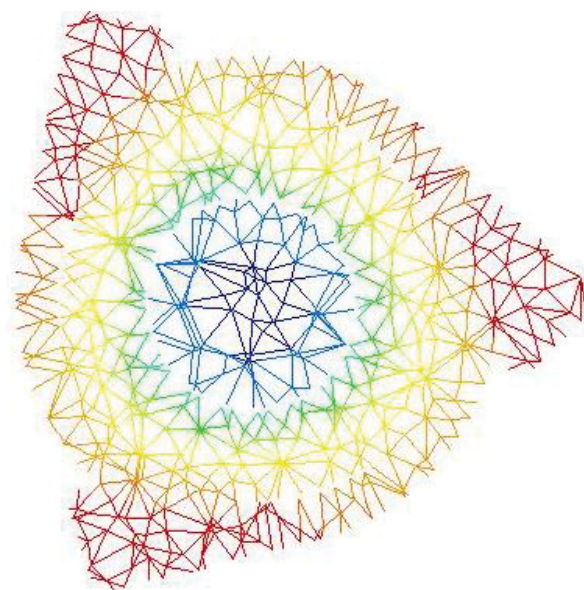


Рис. 13. Поперечное сечение вихревого очистителя по входным патрубкам

Данный эффект приводит не только к шуму и к неравномерному износу корпуса вихревого очистителя, но и к воздействию на корпус вихревого очистителя воздействия в виде «белого шума» с ограниченным частотным диапазоном. Воздействия такого рода вызывают колебания на собственных частотах конструкции. Поэтому в некоторых случаях необходимо исследование динамических характеристик блоков и опорных конструкций вихревых очистителей.

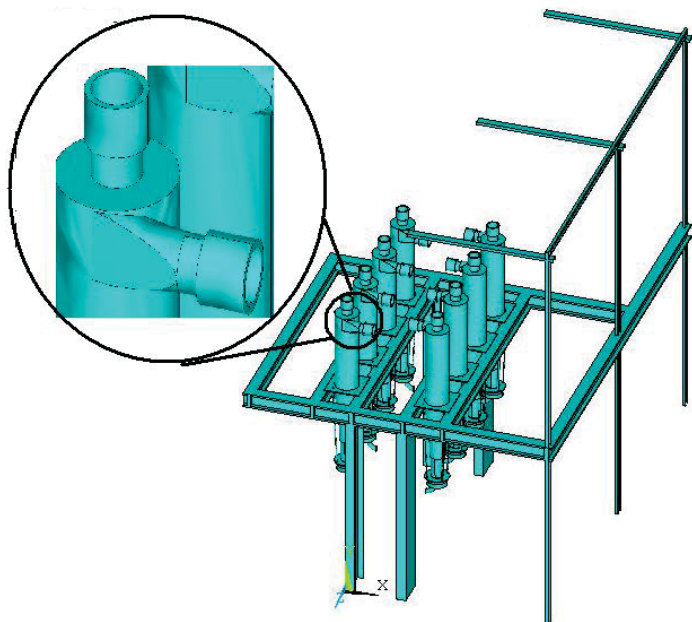


Рис. 14. Модель блока вихревых очистителей для модального анализа

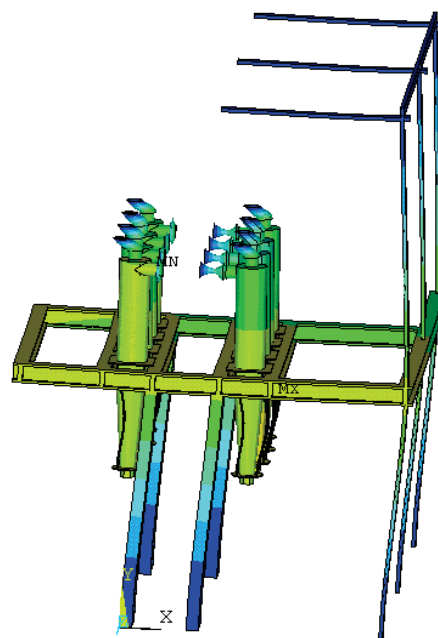


Рис. 15. Первая форма колебания блока вихревых очистителей ( $f_{01} = 28.4 \text{Гц}$ ).

Для модального анализа необходимо построить твердотельную модель батареи вихревых очистителей с учетом массы жидкости в вихревых очистителях и жесткости элементов конструкции, в том числе присоединительных муфт (рис. 14).

Результаты модального анализа определяют формы и частоты собственных колебаний конструкции, по которым можно определить окolorезонансные интервалы частот. Для примера представлена первая форма колебания на частоте 28,4 Гц (рис. 15).

Исследование гидродинамики вихревого очистителя с одним входом и опорных конструкций подробно представлены автором в [5].

## Список литературы

1. Пат. 86260 РФ, МПК F16F 13/26, D21F 1/00. Ротор гидродинамической сортировки для бумажной массы / Исаков С.Н., Маркин А.А. – 2012109452/12; Заявлено 12.03.2012; Оpubл. 10.09.2012.

2. Пат. 134937 РФ, МПК D21D 5/02. Регулируемое щелевое сито / Исаков С.Н., Сокотов В.А., Меньшиков А.А.. – 2013119945/12; Заявлено 24.04.2013; Оpubл. 27.11.2013.

3. Исаков С.Н.. Колебания вертикальных роторов сортировок бумажной массы / Исаков С.Н., Сокотов В.А. // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке [Электронный ресурс] : электронное научное издание : Сборник трудов II Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием. «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова». – 2013 С. 220-224.

4. Пат. 106903 РФ, МПК D21D 5/24, B04C 3/00. Регулируемое щелевое сито / Исаков С.Н., Куцубина Н.В., Ложкин И.В.. – 2011100228/12; Заявлено 11.01.2011; Оpubл. 27.07.2011.

5. Исаков С.Н. Разработка методов диагностики конструктивных элементов массоподводящих систем бумагоделательных машин: дисс. на соиск. учен. степ. кандидата техн. наук 05.21.03. – Екатеринбург, 2010. – 145 с.

---

УДК 676.021

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «САЛЬНИК-ВАЛ»

**Гончаров Александр Алексеевич,**  
студент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [gonchar.mex\\_66@mail.ru](mailto:gonchar.mex_66@mail.ru)

**Исаков Сергей Николаевич,**  
канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [Sergevisako@ya.ru](mailto:Sergevisako@ya.ru)

**Ключевые слова:** центробежный насос, уплотнение, износ, ресурс.

**Аннотация.** При эксплуатации центробежных насосов сальниковые уплотнения необходимо поджимать, подтягивая нажимную втулку сальниковой камеры. Для увеличения интервала между протяжками сальники перетягивают, что приводит к ускоренному износу уплотнений и вала. Для увеличения срока службы сальников и вала необходимо оптимизировать усилие затяжки нажимной втулки.